

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA
GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**



*Aplicación de Voladuras Controladas
en Minería Subterránea y Tunelería*

TESIS

*Para Optar El Título Profesional De
INGENIERO DE MINAS*

Johnny Eduardo Orihuela Avila

LIMA - PERU

1992

Dedicado a mis queridos
padres.

Pedro y Clarisa

INTRODUCCION

El empleo de Voladuras Controladas en excavaciones de túneles y cámaras subterráneas, se hace cada vez mas generalizado, debido a las múltiples ventajas que ofrece.

Dentro de estas ventajas, dos son fundamentales: el autosostenimiento y la mínima sobreexcavación; que se reflejan en el menor costo de operación y mayor seguridad en las operaciones.

El uso de las voladuras convencionales se traduce en grandes daños a la estructura rocosa que inciden en altos costos de sostenimiento, mayor material disparado que lo planificado, mayor dilución, mayor costo de extracción, mayor tiempo de desatado de rocas, etc.

A través de estos años, he aplicado en forma permanente la técnica de Voladuras Controladas, tanto en minería así como en tunelería, experiencia que me permite elaborar esta Tesis, que estoy seguro será de mucha utilidad para mis compañeros en su pronta vida profesional.

El trabajo lo resumo en dos partes específicamente, la primera de ellas es el sustento teórico de esta técnica y la segunda es la aplicación y evaluación de los diferentes trabajos realizados.

Finalmente, deseo dirigirme a mis compañeros estudiantes para hacerles ver la necesidad de aprender y aplicar técnicas que nos permita maximizar todos los recursos posibles en bien de la minería, para orgullo de nuestra alma mater.

Muchas Gracias

Johny Orihuela Avila

AGRADECIMIENTO

 Mi agradecimiento en forma especial a mis asesores, Dr. Carlos Agreda e Ing. Julio Hidalgo, quienes me brindaron todo su apoyo incondicional para que este trabajo se elabore de la mejor forma posible.

 A ellos, muchas gracias.

APLICACION DE VOLADURAS CONTROLADAS EN MINERIA SUBTERRANEA Y TUNELERIA

I N D I C E

CAPITULO I

INTRODUCCION

- 1.1 Desarrollo de las Voladuras Controladas 1
- 1.2 fundamento teórico de las Voladuras Controladas 3

CAPITULO II

METODOS DE VOLADURAS CONTROLADAS

- 2.1 Precorte 5
- 2.2 Recorte 8
- 2.3 Voladuras Amortiguadas 10

CAPITULO III

EXPLOSIVOS

- 3.1 Propiedades 12
- 3.2 Tipos de explosivos
 - 3.2.1 Para Voladuras Controladas 15
 - 3.2.2 Para Voladuras de producción 16
- 3.3 Tipos de Accesorios para Voladuras Controladas 19

CAPITULO IV

APLICACIONES DE VOLADURAS CONTROLADAS

- 4.1 Voladuras Controladas en Cámaras Subterráneas 23
- 4.2 Voladuras Controladas en Túneles 27

CAPITULO V

VOLADURAS DE PRODUCCION

- 5.1 Voladuras de Producción en Cámaras Subterráneas 32
- 5.2 Voladuras de Producción en Túneles 38

CAPITULO VI

TECNICAS DE DISPARO PARA VOLADURAS CONTROLADAS

- 6.1 Voladuras Controladas empleando Fanel 48
- 6.2 Voladuras Controladas empleando Fulminante:
Eléctricos 53

CAPITULO VII

EVALUACION DE VOLADURAS CONTROLADAS MEDIANTE APLICACIONES PRACTICAS

- 7.1 Voladuras Controladas en Recuperación de
Pilares en Mina Juanita. Perubar S.Á. 62
- 7.2 Voladuras Controladas en Preparación de
Estación de Carga. Compañía Minera
Milpo S.Á. 77
- 7.3 Voladuras Controladas en Túnel de Proyecto
Chavimochic 89

CAPITULO VIII

ASPECTOS ECONOMICOS EN LA APLICACION DE VOLADURAS CONTROLADAS

- 8.1 Comparación de costos de voladura
en Tunel de 4 x 4 m. 95
- 8.2 Costo de voladura en taladros
perimetrales. 101
- 8.3 Comparación de alternativas de
Precorte en Límite de paneles
para recuperación de pilares en
Mina Juanita. 105

CAPITULO IX

- CONCLUSIONES 111

CAPITULO X

- RECOMENDACIONES 113

CAPITULO IX

- BIBLIOGRAFIA 116

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 DESARROLLO DE LAS VOLADURAS CONTROLADAS

Desde el primer uso de los explosivos en la Minería, se efectuaron intentos para desarrollar métodos para controlar la sobreexcavación de la roca.

En las voladuras convencionales, el explosivo se ha venido utilizando de forma tal, que la estructura de la roca residual resulta muy afectada, esto origina perfiles de contorno desiguales, grietas creadas por el explosivo al penetrar en la roca y una gran sobreexcavación. Los efectos producidos por dichas voladuras se traducían en altos costos de sostenimiento, mayor material disparado que lo planificado, mayor dilución, mayor costo de limpieza, etc.

la técnica de **Voladuras Controladas** fué desarrollándose a través del tiempo como una alternativa para evitar los efectos negativos antes señalados producto de las voladuras convencionales.

Por muchos años, la **Perforación en Línea** era la única técnica utilizada para controlar la sobrerotura. La Perforación en Línea se define como una línea sencilla de taladros sin cargar muy próximos entre sí, perforados a lo largo de la línea de excavación neta para proporcionar un plano de debilidad contra el cuál van a chocar las ondas de choque producidos por la voladura.

Posteriormente se introdujeron modificaciones a la técnica de Perforación en Línea, como son el Precorte, Recorte. Estas técnicas difieren básicamente del principio original de Perforación en Línea en que algunos o todos los taladros se cargan con cantidades de explosivo relativamente ligeras y bien distribuidas. El hecho que al disparar estas cargas ligeras tienden a cortar la roca entre los taladros, permitiendo un espaciamiento mayor que el que se tiene con la Perforación en Línea. Consecuentemente los costos de perforación se reducen y en muchos casos se obtiene un mejor control del terreno.

En Europa, se considera a la **Voladura Controlada** como el método más barato para sostener la roca. Otros métodos de sostenimiento se usan solamente cuando el disparo controlado no es suficiente, pero aún así; la roca circundante mantiene parte o la totalidad de sus propiedades de autosostenimiento.

1.2 FUNDAMENTO TEORICO DE LAS VOLADURAS CONTROLADAS

El principio de la Voladura Controlada es así: Las ondas de choque generados por la detonación del explosivo en los taladros de contorno, colisionan creando fuertes zonas de tensión. Ahora, como la resistencia de la roca a la tensión es mucho menor que la resistencia a la compresión, se puede alcanzar fracturas entre los taladros con cargas débiles. Se aumenta el efecto si el encendido es simultáneo, pues la fuerza máxima de las ondas de tensión llegan a las líneas de contorno simultáneamente y se ayudan entre ellas para producir el corte requerido.

La aplicación de esta técnica se fundamenta en cuatro parámetros principales:

1. Del buen estudio de la distancia entre taladros y la línea de resistencia (burden), para estos casos la distancia de los taladros es ligeramente menor que la línea de resistencia.
2. La carga de los explosivos en los taladros de contorno debe ser débil.
3. Los taladros de contorno deben ser disparados simultáneamente.
4. Los taladros de contorno deberán perforarse en forma paralela y encontrarse en el mismo plano.

El éxito de estas técnicas, los cuales se utilizan tanto en trabajos subterráneos como en operaciones de superficie, depende principalmente de la geología de la formación rocosa que se está explotando.

En roca dura y masiva las técnicas de Voladuras Controladas son generalmente exitosas; pero en formaciones poco consolidadas y sueltas que no se sostendrán por si mismas, el grado de éxito es menor.

Al utilizar cualquiera de los métodos apropiados se recomienda efectuar pruebas conservadoras para determinar si el método puede aplicarse exitosamente y de ser así establecer los espaciamientos óptimos entre taladros.

CAPITULO II

METODOS DE VOLADURAS CONTROLADAS

2.1 PRECORTE

Involucra una fila de taladros perforados a lo largo de la línea de excavación neta, que serán disparados antes que la voladura principal. Los taladros son generalmente de diámetros iguales o mayores a dos pulgadas y cargados con explosivos de diametro menor para que el espacio vacío dentro del taladro amortigue la onda de choque y evite el rompimiento radial de la roca alrededor del taladro.

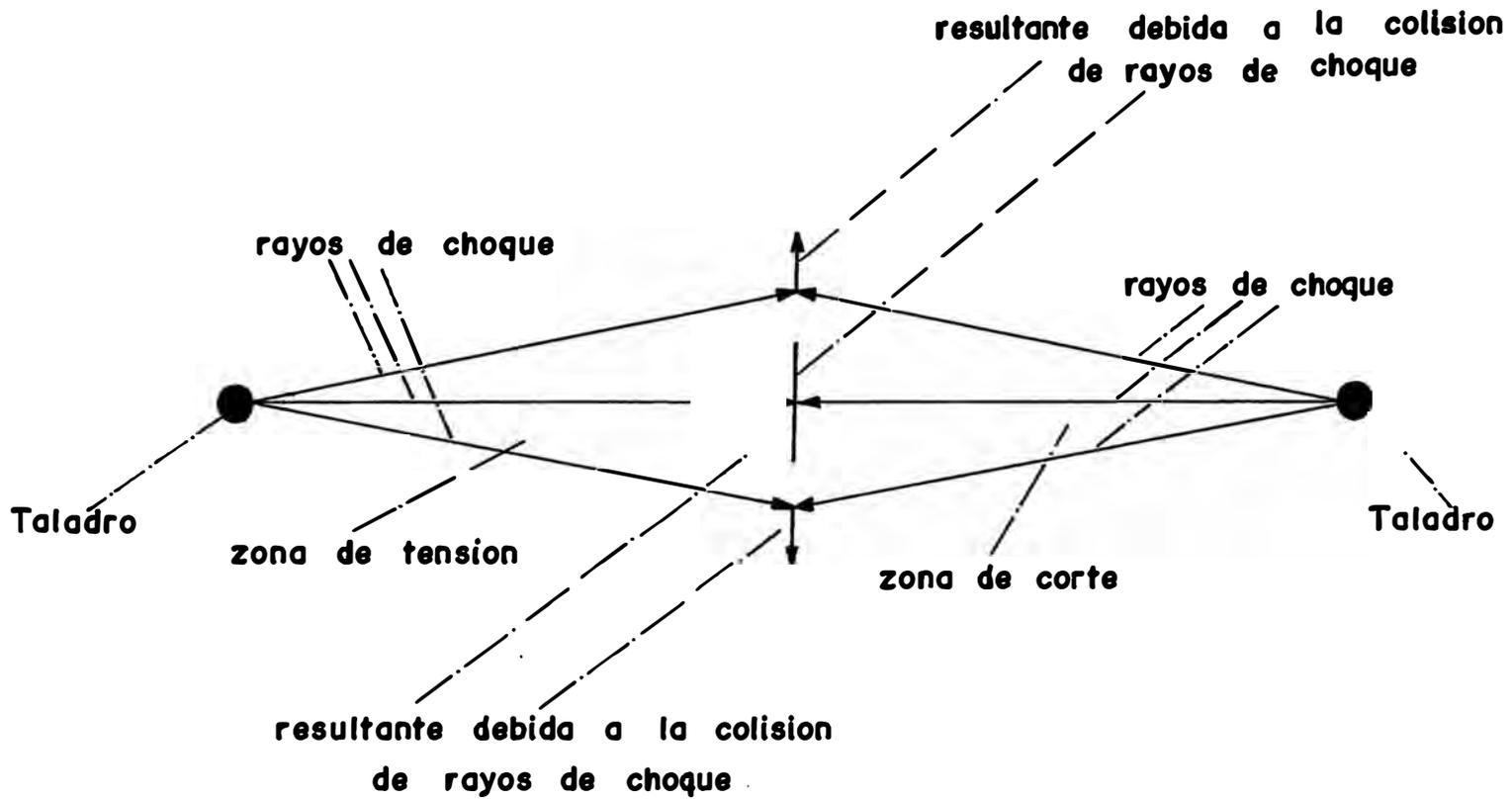
Este método es generalmente usado en Cámaras Subterráneas y tajeos de Corte y Relleno.

La carga de los taladros deberá ser tal que produzca la zona de corte entre ellos, pero a la vez que genere la menor vibración posible para evitar daños en las zonas cercanas, ya que al detonar estos taladros sin cara libre, la vibración producida es mucho mayor que en caso de un Recorte. esto significa que la inclusión de taladros vacíos entre los cargados pueden hacer mejorar los resultados cuando sea preciso.

-- Es extremadamente importante en el Precorte emplear los espaciamientos y cargas correctas para el tipo de roca a tratar. Las características de la roca tienen una mayor influencia sobre los resultados que en la mayoría de los demás métodos de voladura.

Según el gráfico siguiente, en la teoría del Precorte cuando dos cargas se disparan simultáneamente en taladros adyacentes, la colisión de las ondas de choque entre los taladros, coloca a la zona en tensión y causa fracturas que crean la zona de corte entre ellos.

TEORIA DEL PRECORTE



2.2 RECORTE

Al igual que el Precorte, el objetivo es que permita superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo evitar la rotura radial de la roca, a diferencia del Precorte, los taladros se disparan después de la voladura principal logrando como hemos indicado una menor vibración del terreno ya que las propiedades del explosivo se emplean tanto para el corte de la roca como para el volteo debido a la cara libre. Su uso es casi generalizado en voladura de túneles.

Este método se aplica mediante el uso de explosivos que poseen reducida concentración de carga lineal y otras características que se traducen en un efecto mas suave.

En las zonas de roca en las que se va a efectuar el Recorte, el esquema de perforación es mas denso de lo normal.

Ingenieros de Voladuras de Rocas, Mecánica de Rocas y Geólogos se muestran de acuerdo en que el Recorte constituye una contribución muy importante de cara a la posibilidad de conseguir estructuras de rocas con buenas características resistentes. Para minimizar toda operación posterior de sostenimiento. En el caso de voladuras subterráneas, es extremadamente importante que la roca circundante no sufra daño, pues caso contrario pierde la totalidad o parte de sus propiedades de autosostenimiento.

Cuanto mas deficiente sea la calidad de la roca, mas necesario es el Recorte, debe entenderse que, trabajando en roca de mala calidad donde se obtenga un resultado en el que quizás no pueda apreciarse ni la traza de una perforación, se puede llegar a resultados exitósos, como por ejemplo la menor sobrexcaación.

En resúmen, puede afirmarse que el Recorte hace que se obtengan siempre mejores resultados en lo que concierne al contorno y a la roca circundante, aún cuando pueda seguir siendo necesario sostener la roca en las proximidades de falla, diaclasas y zonas de debilidad.

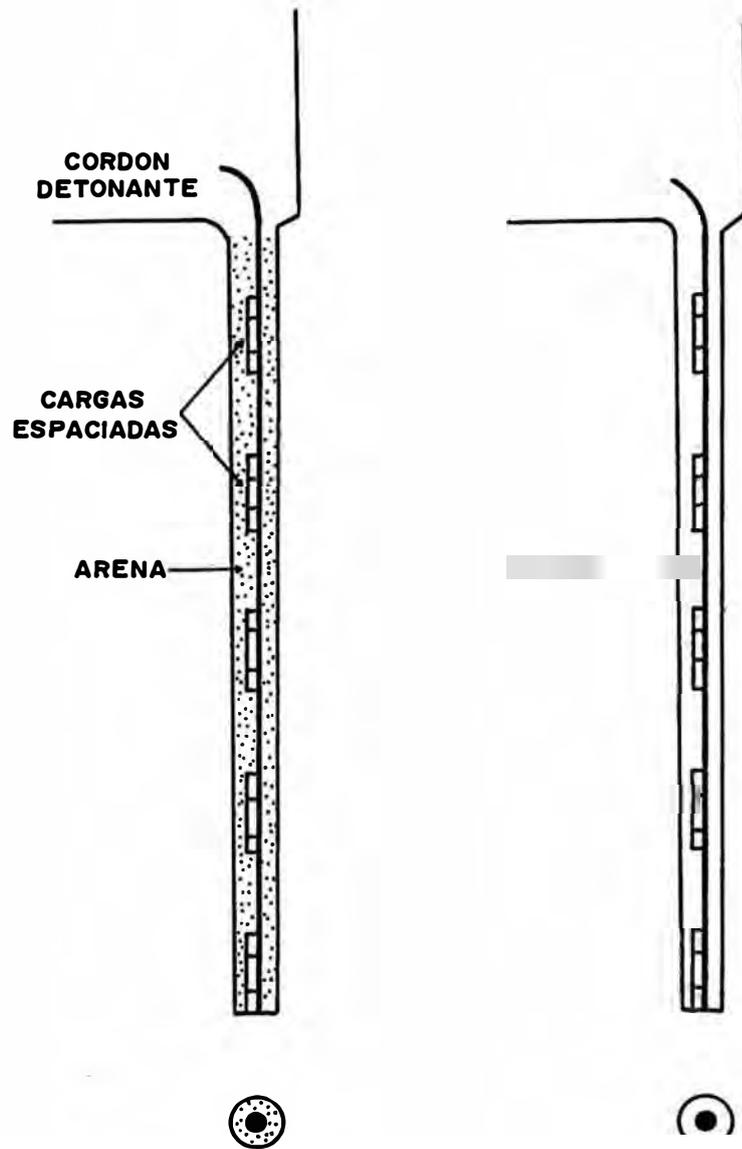
2.3 VOLADURAS AMORTIGUADAS

Consiste en una forma de Recorte, utilizable en casos en que los taladros del contorno tienen rotura libre; los taladros se cargan con cartuchos de dinamita conectados a una línea de cordón detonante, manteniendo los cartuchos distanciados para obtener una ligera carga lineal. Como en el Recorte se requiere una cierta carga de fondo en los taladros.

Además, se llena el taladro con arena fina para evitar que los gases producto de la detonación puedan entrar en fracturas o grietas pre-existentes y malograr la cara que se desea preservar. La arena sirve para amortiguar la onda de la detonación.

Cuando el material a dispararse es compacto y homogéneo se sigue la misma técnica anterior, pero no llenamos arena, de tal forma que el taladro queda vacío únicamente con las cargas.

TALADROS DE VOLADURA AMORTIGUADA



CAPITULO III

EXPLOSIVOS

3.1 PROPIEDADES

Las materias explosivas son compuestos o mezclas de sustancias al estado sólido, líquido o gaseoso, que son capaces de transformarse por medio de reacciones químicas de Oxidación-Reducción en un tiempo muy breve del orden de milésima de segundo en productos gaseosos y condensados. El volúmen inicial ocupado por el explosivo se convierte en una masa mayormente gaseosa que llega a alcanzar altas temperaturas y en consecuencias muy altas presiones. Estos fenómenos son aprovechados para realizar trabajos mecánicos aplicados en la rotura de materiales pétreos.

La determinación de las características teóricas de un explosivo es un tanto complicada si se tiene en cuenta la variedad de los productos en descomposición que realmente se forman, que dependen no solamente de la pureza de las primeras materias empleadas en la preparación sino de las condiciones en que se utilice el explosivo, cebado perfecto o incompleto, confinamiento adecuado, composición del terreno donde se aplique, etc., por lo tanto, toda esa serie de circunstancias impedirían valorar con exactitud las características teóricas que debemos proporcionar a un explosivo en estudio

Propiedades Físicas de los explosivos.-

Son propiedades físicas aquellas que identifican a cada explosivo y que se emplean para seleccionar el más adecuado para una voladura determinada, entre las más importantes mencionamos a:

Presión de taladro.

Se refiere a la fuerza de empuje que ejercen los gases producto de la detonación sobre las paredes del taladro antes de iniciarse su deformación y rotura, y se expresa en kg/cm² ó en kilobares. Esta presión es directamente proporcional a la densidad de carguío, para una densidad de carguío baja como el que se dá en taladro de Voladura Controlada, se tendrá baja presión de taladro.

Velocidad de detonación.

Es la medida de la velocidad con la que viaja la onda de detonación a lo largo de la masa o columna de explosivo, sea al aire libre o dentro de un taladro (en confinamiento).

A mayor velocidad el efecto de brisance se incrementa, lo que es importante tener en cuenta cuando se trata de romper roca de alta frecuencia sísmica, donde la velocidad del explosivo deberá ser igual o mayor que dicha frecuencia.

Resistencia al agua.

Es la habilidad del explosivo para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus propiedades. Varía de acuerdo a la composición del explosivo y generalmente está vinculada a la mayor proporción de nitroglicerina o aditivos que contengan, así en el grupo de dinamitas las mas resistentes son las gelatinas. Para trabajos en lugares secos ésta resistencia no tiene importancia, pero donde existe agua es necesario emplear un explosivo adecuado.

Simpatía.

Al ser detonado un cartucho, éste puede inducir la detonación de otro vecino por "simpatía". En las dinamitas sensibles esta transmisión de la detonación puede sobrepasar una distancia de varios centímetros.

Una buena transmisión es la garantía para la completa detonación de una columna explosiva. El método para medir esta capacidad de detonación por simpatía consiste en colocar alineados varios cartuchos del mismo tipo y diámetro sobre una capa de arena, espaciados entre sí a diferentes distancias. Detonando el primero se busca determinar la máxima distancia hasta la cuál es transmitida la detonación de un cartucho a otro, lo que se denomina "grado de simpatía".

3.2 TIPOS DE EXPLOSIVOS

3.2.1 Para Voladuras Controladas.-

Los explosivos fabricados especialmente para Voladuras Controladas, se presentan en tubos de polietileno de 16mm. (5/8") de diámetro x 500mm. (20") de longitud, acoplables mediante uniones para formar bastones de longitud requerida por el taladro.

Las propiedades de este explosivo son semejantes a la dinamita de 65%, es decir; en su forma concentrada, ya que por su aplicación especial en que la densidad de carga dentro del volumen total de taladro será solo de una fracción (50% o menos), los efectos sobre la roca serán menores, que es justamente lo deseado.

En el Perú, se fabrican el Exsacorte y la Maconita, como explosivos ad hoc para este tipo de voladuras.

Es importante reiterar, que el uso de cartuchos de dinamita espaciados y conectados a línea de cordón detonante, presentan ligera carga lineal y produce efectos similares a los explosivos antes señalados, con la ventaja fundamental de tener menor costo.

3.2.2. Para voladura de Produccion.-

Dinamita.-

La dinamita está compuesta generalmente por tres elementos principales, sensibilizantes como la Nitroglicerina, proveedores de Oxígeno como el Nitrato de Amonio o Sodio y Combustibles como el Aserrín.

Por su consistencia, se puede clasificar en gelatinosa, semigelatinosa y pulverulenta.

La dinamita gelatinosa como su nombre lo indica, tiene plasticidad, muy buena resistencia al agua y una adecuada dureza que posibilita el relleno de la carga en los taladros y aumenta la eficiencia de la voladura.

La dinamita semigelatinosa y pulverulenta tienen menos resistencia al agua y solo se utilizan para frentes con poca y sin presencia de agua respectivamente.

Considerando la dinamita consistencia gelatinosa, semigelatinosa y pulverulenta, estas van, en orden consecutivo, disminuyendo en su velocidad de detonación, densidad, etc.

AN/FO.-

Es un agente de voladura, insensible al fulminante N°8, genera alta presión de detonación, son de costo relativamente bajos, no son resistentes al agua, tienen baja densidad a granel.

Las manchas de aceite particularmente en el fondo del saco, permiten apreciar la migración del combustible por efecto de la gravedad, esto indicará que la parte superior carecerá de petróleo, produciéndose grandes cantidades de Monóxido de Carbono.

Velocidad de detonación.

La velocidad de detonación del Anfo cargado, depende del diámetro de taladro y del grado de confinamiento en el cuál se inicia.

Densidad.

0.85 gr/cc. Dependiendo del tamaño de partícula (prills) del Nitrato de Amonio y del método de empaçado, la máxima densidad práctica de las mezclas AN/FO es de cerca de 1.10 gr/cc., en densidades superiores a 1.20 gr/cc. la sensibilidad del Anfo decrece rápidamente.

Cebado.

La presión de detonación del cebo, deberá ser mayor que la presión de detonación del Anfo. La eficiencia de un cebo se mejorará cuando su diámetro se aproxime al diámetro del taladro.

3.3 TIPOS DE ACCESORIOS PARA VOLADURA CONTROLADA

a. Cordón detonante

Son accesorios no eléctricos para voladura de rocas, con propiedades importantes como alta velocidad de detonación, facilidad de manipuleo y gran seguridad.

Están constituidos por un núcleo de Pentrita (PETN) de alto poder explosivo que está cubierto de papel y tejido con hilos de algodón y fibras sintéticas. La cobertura exterior es de plástico en unos tipos y en otros tiene además, un tejido de hilos de algodón y baño de Elvax, lo que le dá mayor resistencia a la abrasión, Tracción e impermeabilidad.

En minería subterránea se usa el cordón detonante 3P y/o 5P. tres o cinco gramos de pentrita por metro lineal respectivamente. Es sensible al fulminante Nro.6 y tiene una velocidad de detonación promedio de 7,000 mt/seg.

b. Fulminante Eléctrico Instantáneo

Consiste en una cápsula de Aluminio que contiene en su interior una parte de explosivo brisante y otra de explosivo primario; ésta se encuentra en contacto con la gota eléctrica, la que a su vez está fijada a los alambres conductores de energía. El fulminante es activado por acción de la corriente eléctrica, la que se transmite por los alambres hasta iniciar la carga primaria.

Está diseñado para detonar inmediatamente después que se la haya aplicado suficiente intensidad de corriente, permitiendo la iniciación simultánea de un buen número de cargas explosivas, teniendo en consideración la capacidad del explosor.

c. Fulminante Eléctrico de Retardo

Los fulminantes eléctricos de retardo están conformados por una cápsula de aluminio conteniendo explosivo brisante, la carga primaria, el elemento de retardo y la gota eléctrica, la que se encuentra unida a los alambres conductores de energía.

Al paso de la energía eléctrica, la gota eléctrica es inflamada a tal punto que activa el elemento de retardo y éste a las cargas primaria y secundaria, las cuales convenientemente dispuestas activan a las cargas explosivas.

Existen fulminantes en serie de medio segundo y milisegundo con los intervalos y longitudes de cable deseados, este ha substituido a la mecha de seguridad.

La potencia del fulminante eléctrico de retardo sobrepasa a la del N°8, sus componentes son los siguientes: cable de cobre estañado, casquillo de Aluminio, Azida de plomo, gota pirotécnica, explosivo brisante, masa pirotecnica para los retardos.

d. FANEL (Fulminante Antiestático no eléctrico)

Es un accesorio de voladura que consiste en un sistema integrado que usa las ventajas de los sistemas tradicionales y ha desarrollado otros conceptos modernos creando un producto eficiente.

El Fanel trabaja eficientemente en agua, usando el Fanel garantiza las secuencias de salida de acuerdo a la caras libres planeadas, además no existe problemas por iniciación eléctrica.

Consta básicamente de tres componentes principales.

Manquera Fanel.

Está fabricada de un material termoplástico de alta resistencia mecánica e interiormente cubierta en toda su longitud con una sustancia explosiva uniforme, que al ser activada conduce una onda de choque cuya presión y temperatura son suficientes para iniciar al detonador a través del elemento de retardo. Posee un carga explosiva de 40 mlgr/mt.

Fulminante de retardo.

Este dispone de un elemento de retardo que permite detonar en diferentes intervalos de tiempo. Las escalas disponibles son dos series completas, una de periodo corto (manguera color rojo) y otra de periodo largo (manguera color blanco), con las cuales se puede cubrir necesidades de formación de caras libres adecuadas según los casos específicos.

Etiqueta.

Indica el número de serie del retardo cuyos tiempos y series están dados por las escalas respectivas.

CAPITULO IV

APLICACIONES DE VOLADURAS CONTROLADAS

4.1 VOLADURAS CONTROLADAS EN CAMARAS SUBTERRANEAS

Es frecuente que las demandas de Voladura Controlada y de sostenimiento en cámaras sean mayores que en galerías de secciones ordinarias. Al proyectar Cámaras Subterráneas, sin embargo, existe la posibilidad de escoger un área de roca adecuada, lo que en cambio puede ser difícil de conseguir en el caso de un túnel o galería, estructura larga y estrecha, con posibilidad que algunos de sus tramos sea cruzado por roca de mala calidad.

En los últimos años se ha convertido en algo cada vez más frecuente en las cámaras subterráneas que se opere en bancos con taladros horizontales. Esto implica que los taladros de Recorte son asimismo horizontales, para ello no tiene por que ser un inconveniente si se adoptan unos valores adecuados para el espaciamiento y la concentración de carga.

Las Voladuras Controladas deben cumplir ciertas condiciones importantes como una baja densidad de carga por taladro, una relación de acople proporcional entre el diámetro del explosivo y el diámetro del taladro, y una relación de distancias entre taladros acorde con el diámetro de perforación, que vamos a analizar a continuación.

a. Distancias entre taladros segun el diámetro de perforación.-

En general, para los diámetros menores de 2 pulgadas como los que se emplearon en Milpo, se recomienda aprovechar mayormente las voladuras de recorte y/o voladuras amortiguadas, disparando el contorno luego de haber creado la cara libre correspondiente.

Las voladuras de Precorte suelen recomendarse en taladros de diámetro no menores de 2 pulgadas en los cuales se puede obtener una buena relación de acople y una fisura lo suficientemente amplia para amortiguar el efecto de los taladros de la voladura principal. Otro factor importante es que al detonar sin cara libre el golpe de aire y las vibraciones son mucho mayores que las producidas por cantidades similares de explosivo en una voladura de Recorte, llegando en algunos casos a magnitudes que pueden causar daños en las zonas cercanas. El disminuir la cantidad de carga para evitar este efecto puede provocar en muchos casos que no se llegue a obtener una potencia necesaria y el disparo sople por la boca del taladro sin llegar a formar la fisura de contorno.

Los parámetros bases para los lugares a excavar están condicionados a las características propias del terreno.

b. Relación de Acople.-

Esta relación de vacío entre el diámetro de perforación y el diámetro del explosivo debe ser mayor de 2.1. Con el empleo de explosivos de 5/8" de diámetro para taladros de 1 1/2" obtenemos una relación de acople que está dentro de lo recomendado.

c. Carga lineal por taladro perimetral.-

De acuerdo a los diámetros de perforación en los taladros de contorno, debemos tener una carga promedio cercana a los 0.25 kg. de explosivo por metro perforado, para taladros que tengan diámetro entre 30 y 50 mm.

En el caso de taladros de 5 pies de longitud, con diámetro de 1 1/2", la recomendación de utilizar 1 cartucho de dinamita de 1 1/8"x7" como carga de fondo y 2 tubos de Maconita o Exsacorte como columna de carga, lo cual nos permite una densidad de carga de 0.25 kg/mt.

d. Uso de los accesorios de Voladura.-

En los taladros perimetrales debe emplearse un mismo número de retardo para lograr que la simultaneidad de las detonaciones formen las fisuras deseadas. Sin embargo en la técnica del Precorte se han hecho diseños de voladura considerando dos o tres tiempos mínimos diferentes de retardo en intervalos de milisegundos, para minimizar el efecto de vibración.

VOLADURAS CONTROLADAS

DIAMETRO DE TALADRO	ESPACIAMIENTO	LINEA DE RESISTENCIA
(mm)	E (mts)	BURDEN V (mts)
25 - 32	0.25 - 0.35	0.30 - 0.45
32 - 43	0.50 - 0.60	0.70 - 0.80
45 - 51	0.60 - 0.70	0.80 - 0.90
51	0.80	1.00
64	0.80 - 0.90	1.00 - 1.10

4.2 VOLADURAS CONTROLADAS EN TUNELES.

En el curso de los últimos años, el Recorte es un método estandarizado para las voladuras en túneles, proporcionando las ventajas anteriormente señaladas.

En el caso de roca de baja resistencia, el Recorte tiene gran importancia de cara al resultado final, y ejerce una influencia favorable en el aspecto económico de la voladura.

En trabajos de túneles, es preciso prestar bastante atención a la alineación de taladros en el contorno, estos deben ser paralelos y evitar que la sección del túnel vaya haciéndose progresivamente mayor o menor con los sucesivos avances.

Los explosivos para Voladuras Controladas han supuesto mucho en el desarrollo de esta técnica, y se emplean solo en los taladros del perímetro y su mayor éxito depende, de estudiar bien la distancia entre taladros y la línea de resistencia, que varía según el tipo de roca.

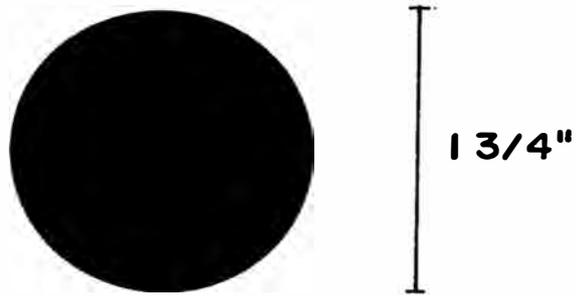
El esquema de encendido debe proyectarse de tal forma que los taladros de recorte tengan rotura libre en el momento de su detonación.

El empleo de unas cargas potentes en los taladros subperimetrales inmediatos a la zona de Recorte puede ejercer una influencia desfavorable sobre el resultado de dicho recorte. En el caso de roca de mala calidad puede ser especialmente recomendable reajustar la perforación y carga de estos taladros subperimetrales de modo que pueda minimizarse el daño al terreno.

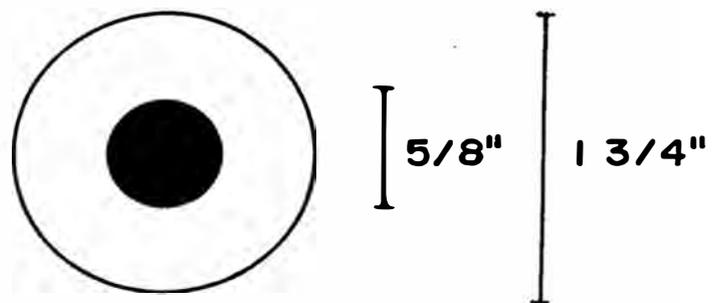
La secuencia del disparo se proyectará de tal modo que los taladros del piso tengan pronto rotura libre, disminuyendo así la carga necesaria para levantar la roca desprendida que hay sobre ellos, debe hacerse notar que el control de la voladura se consigue en este caso disminuyendo la carga concentrada en el fondo y la concentración de carga en la columna, el espaciado denso contribuye también a regular la formación de grietas en la dirección deseada.

El siguiente gráfico, nos muestra dos taladros de 1 3/4" de diámetro, uno cargado completamente para voladura convencional y otro cargado ligeramente para voladura controlada. El primero creará un fuerte efecto radial que dañará el contorno del túnel como se aprecia en el gráfico correspondiente, mientras el segundo creará zona de corte a lo largo del contorno del túnel, manteniendo las dimensiones del túnel de acuerdo a lo diseñado.

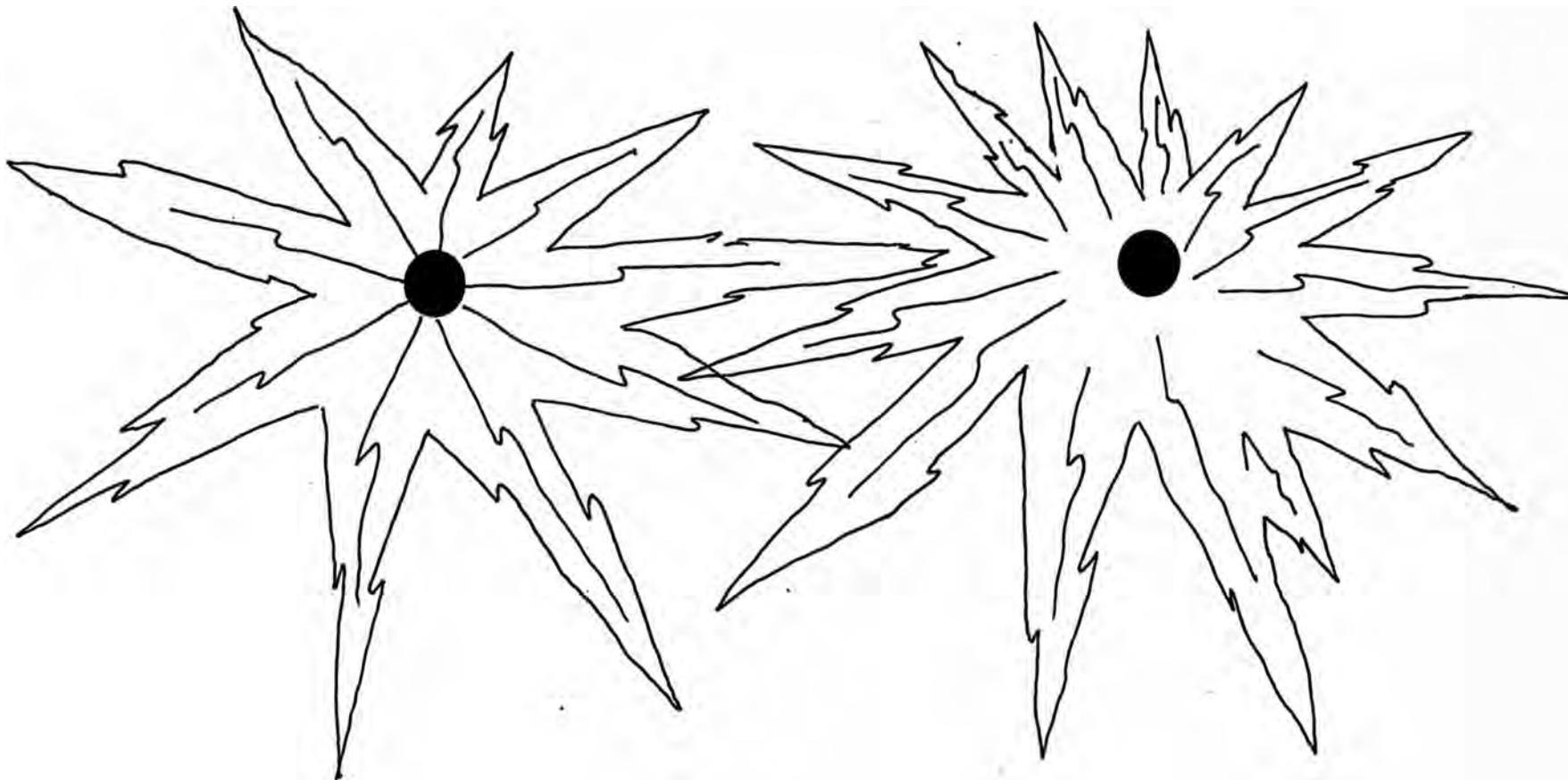
CARGUIO PARA VOLADURA CONVENCIONAL



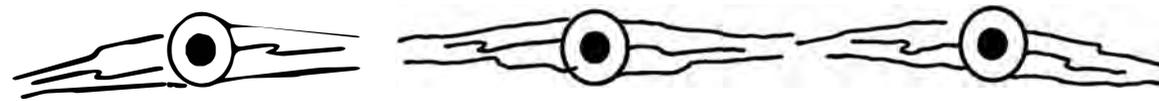
CARGUIO PARA VOLADURA CONTROLADA



EFFECTO DE TALADRO EN VOLADURA CONVENCIONAL



EFFECTO DE TALADRO EN VOLADURA CONTROLADA



CAPITULO V

VOLADURAS DE PRODUCCION

5.1 VOLADURAS DE PRODUCCION EN CAMARAS SUBTERRANEAS

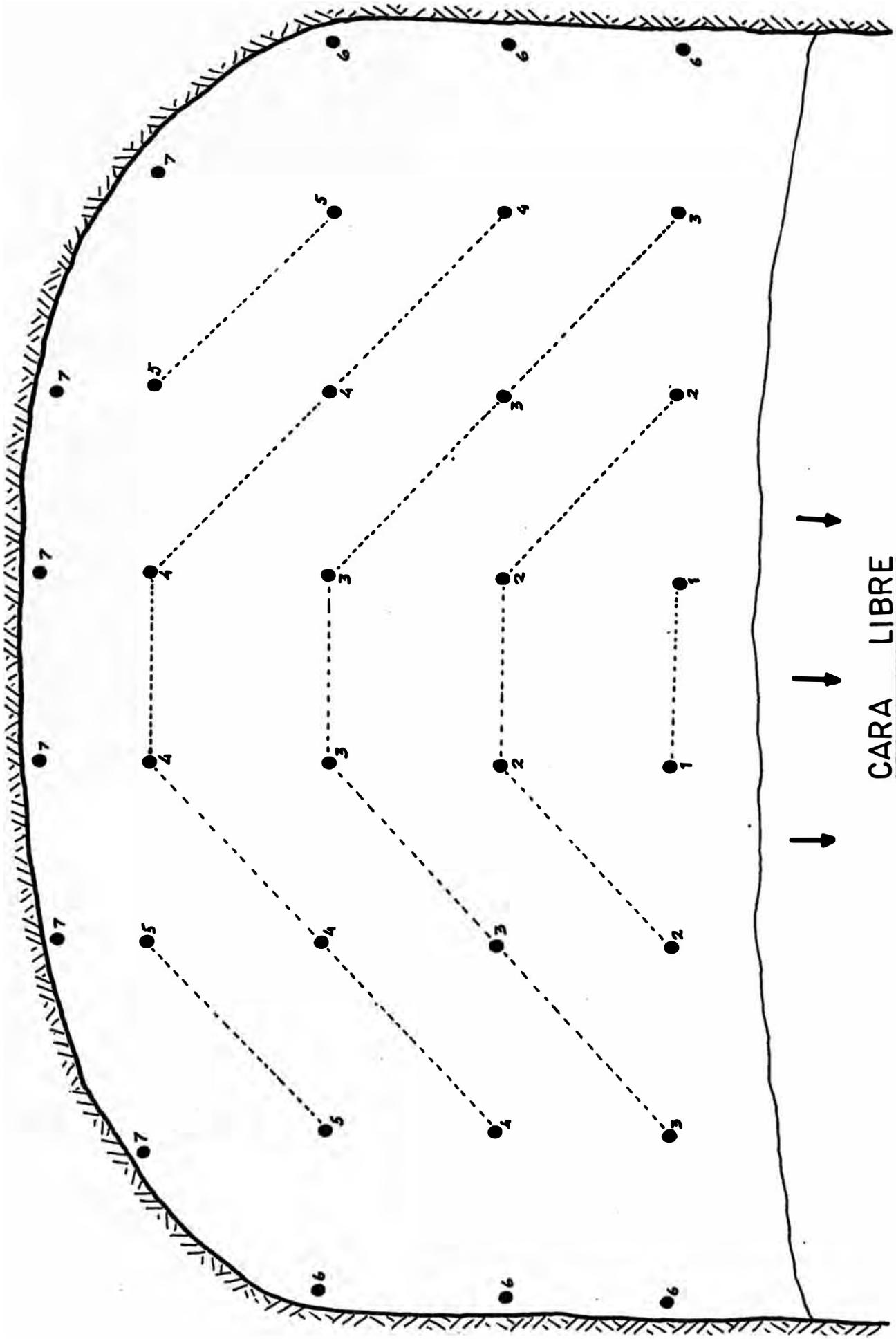
La situación de las cámaras subterráneas con relación a las condiciones geológicas de la roca es naturalmente un factor importante. En obras de gran envergadura se realizan primero reconocimientos y estudios geológicos completos que proporcionan la base para determinar el emplazamiento de las cámaras subterráneas y también en muchos casos su diseño. En los últimos años se ha perfeccionado los métodos empleados para la inspección del medio rocoso, pero un estudio preliminar aún más detallado, con la colaboración de geólogos e ingenieros de voladura, puede proporcionar una mejor base para las decisiones concernientes al método de voladura a utilizarse.

La inclinación de taladros es de mucha importancia, para el efecto que el disparo pueda producir a la roca, tenemos perforaciones horizontales que es una práctica de utilización cada vez más frecuente en los últimos años, al tiempo que se consiguen otras ventajas, como una mejor fragmentación y menores vibraciones del terreno.

Un cuidadoso procedimiento de voladura es un factor de máxima importancia de cara al resultado final; una roca extremadamente agrietada por la voladura y posteriormente reforzada es mucho más deficiente que una roca menos dañada y con un refuerzo de menor magnitud.

los diseños de voladura de producción, en cámaras subterráneas son diversos, estando principalmente en función del tipo de roca, diámetro del taladro, longitud de taladro, etc.

Los siguientes diseños, son dos ejemplos de voladura de producción en cámaras subterráneas aplicados en la Compañía Minera Raura, en los cuales hago notar la diferencia en los esquemas de voladura de acuerdo al diseño de perforación; así como las ventajas respectivas.



Observaciones

Diseño 1:

Mayor perforación
Mayor fragmentación (salida triangular)
Mayor consumo de explosivo
Malla mas menuda.

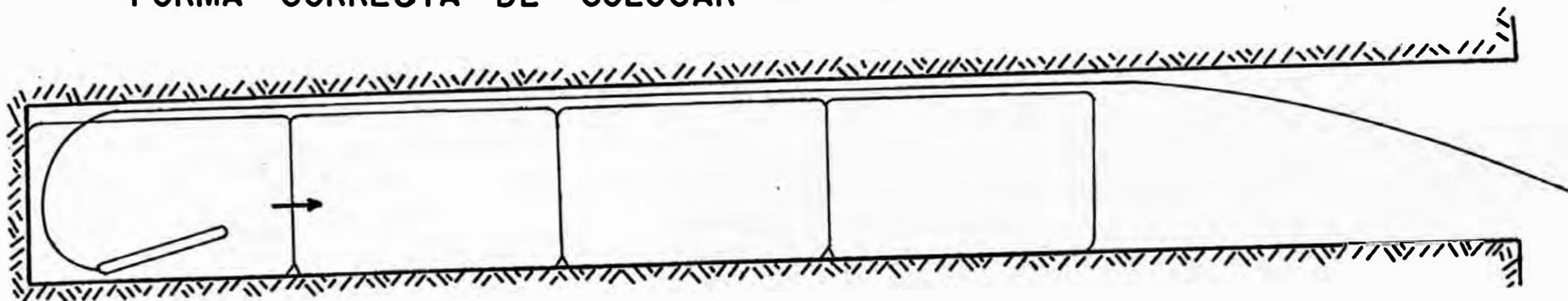
Diseño 2:

Menor fragmentación
Fragmentacion mas menuda (salida trapezoidal)
Menor consumo de explosivos
Ampliación de malla con respecto al diseño 1.
Disminución del factor de carga.

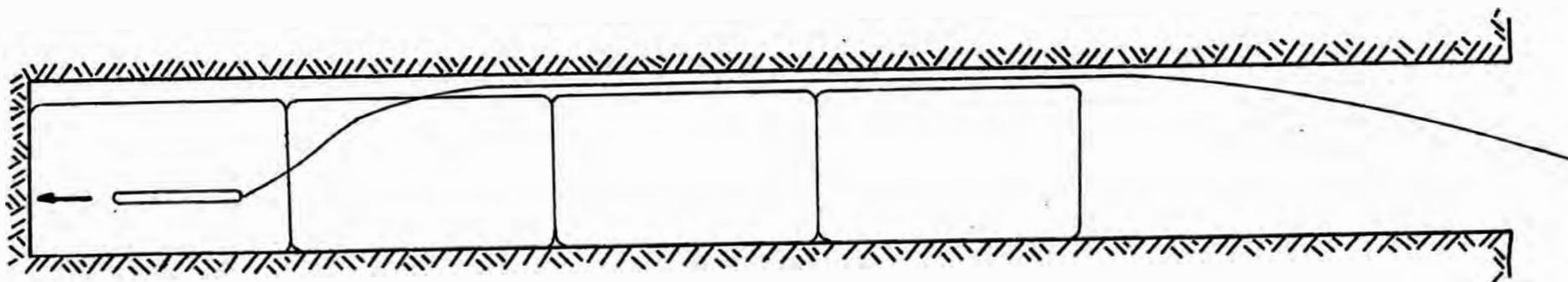
Es necesario obtener una apropiada distribución de carga lineal para evitar sobrefragmentación en el fondo del taladro y la presencia de bancos en la boca del taladro, de igual forma nos permitiría controlar mejor la acción del explosivo, es decir, evitaríamos las irregularidades en las cajas.

Para aprovechar al máximo la potencia del fulminante al momento de su detonación es necesario dirigir la dirección de detonación hacia la columna explosiva, a esto llamamos iniciación directa que es la forma correcta de colocar el fulminante.

FORMA CORRECTA DE COLOCAR EL FULMINANTE



FORMA INCORRECTA DE COLOCAR EL FULMINANTE



5.2 VOLADURAS DE PRODUCCION EN TUNELES

Los túneles son operaciones altamente especializadas dentro de la industria de la construcción. Requieren de supervisores con amplia experiencia y mineros bien entrenados. El avance del túnel con la mayor velocidad posible, compatible con la seguridad y eficiencia son los aspectos mas importantes del tuneleo.

Los túneles con una sección transversal menor de 10 m² se llevan a cabo con las mismas técnicas de perforación y voladura usados en la minería. Para túneles grandes, se utilizan Jumbos equipado con un número variable de perforadoras.

a. Cuñas y perforaciones

La única superficie libre en estas voladuras es el frente de ataque del túnel, lo que significa que los disparos se efectuan en condiciones de gran confinamiento. Cuanto mas pequeño sea el frente, mas confinada esta la roca, y esto implica que la carga específica aumenta al disminuir el area.

El principio de las voladuras en túneles, reside en la apertura de una cavidad inicial mediante un corte, y la subsiguiente rotura de la totalidad de la sección rompiendo hacia dicha cavidad.

Con el transcurso de los años se han ido desarrollando un gran número de cortes de diferentes tipos. Dado que los cálculos utilizados para los diferentes cortes varían considerablemente por la diversidad total de sus configuraciones.

b. Tipo de Cortes

b.1 Corte Quemado

En el corte quemado, los taladros son paralelos, pero en el centro se utiliza el taladro de igual diámetro que los demás. Este taladro se deja vacío mientras que los otros que forman el corte se cargan. Generalmente son disparados en el centro del frente para producir una abertura cilíndrica a toda la profundidad de la perforación. Aunque por medidas de seguridad es recomendable que se relocalice en voladuras alternadas.

El diseño de la cuña dependerá de la formación que se está explotando, el tipo de explosivo usado, el diámetro de taladro. Toda roca al quebrarse tiene un factor de esponjamiento que varía con el tamaño de partículas del material quebrado. El diseño del corte quemado debe permitir espacio suficiente para este factor de esponjamiento. Generalmente un mínimo de 15% del área dentro del corte que se verá influenciada por los primeros taladros que se disparan, es fundamental para quebrar y limpiar el corte. El porcentaje variará dependiendo de la formación de la roca, sin embargo, el mayor espacio que se pueda proporcionar para la expansión de la roca resultará en el mayor éxito que se tendrá en el disparo para sacar la profundidad completa de los taladros.

Si una cuna quemada en cuatro se perfora usando un diametro de 1 5/8" en un espaciamento de 6". El área de influencia para el primer taladro a disparar es de 36 pulg². Si un taladro central del mismo diametro tal como muestra la figura (a) se deja sin cargar proporcionará 2.07 pulg² para la expansión, que es aproximadamente 5.7%.

Si la misma cuña quemada se perfora usando tres taladros sin cargar tal como mostramos en la figura (b) el area de influencia permanecerá en 36 pulg²., pero la expansión será de 6.22 pulg²., aproximadamente 17.3%. Considero que la necesidad de espacio de expansión no debe menospreciarse pues es el factor esencial en el éxito de disparar cortes quemados. El tiempo y costo en perforar taladros adicionales para expansión de la roca quebrada estará mas que compensado por el incremento en profundidad que pueda obtenerse en el avance.

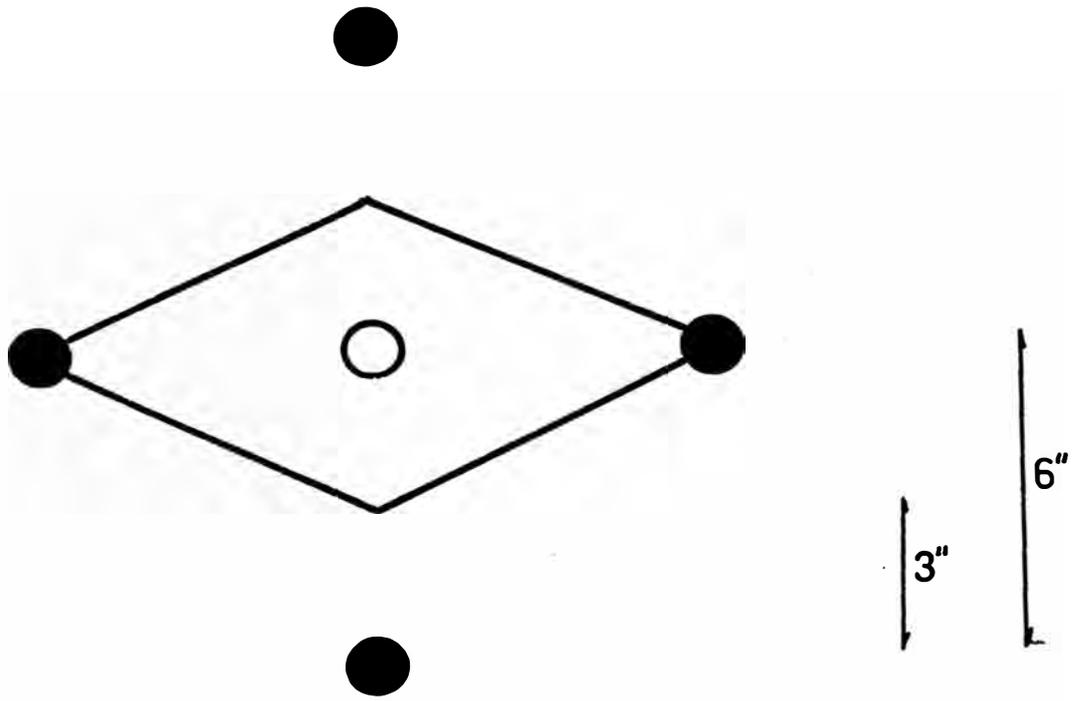


FIG A

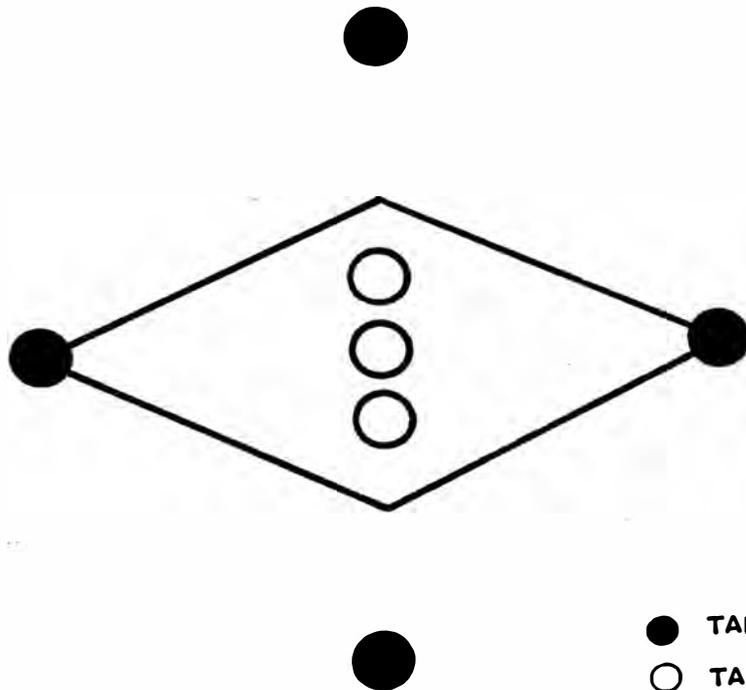


FIG B

LEYENDA

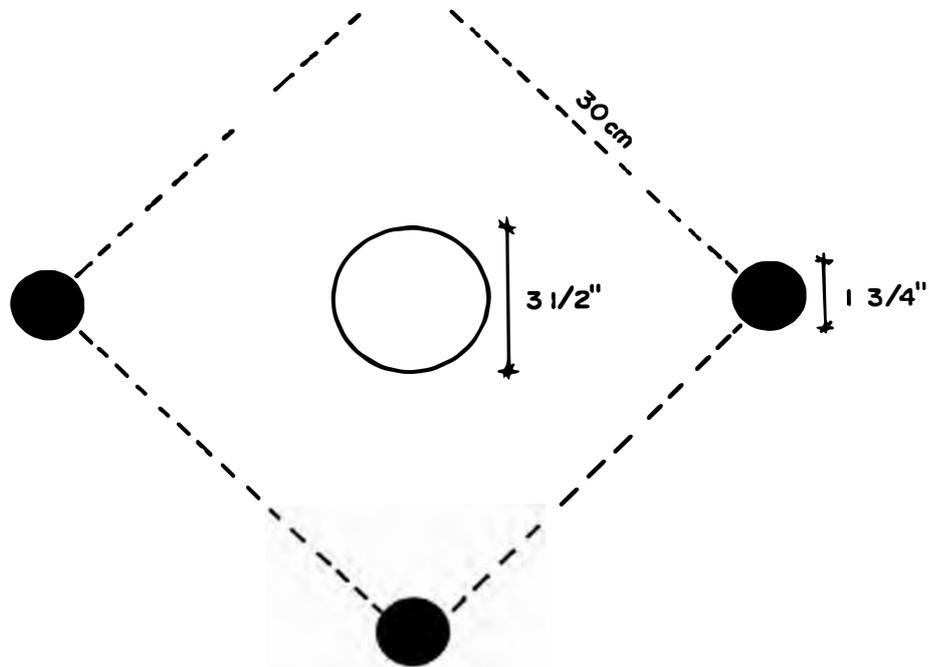
- TALADRO CARGADO
- TALADRO SIN CARGAR

b.2 Corte de taladros Paralelos

Como ya lo indica su propio nombre, en este tipo de corte todos los taladros son paralelos entre sí, la rotura tiene lugar en dirección a un taladro sin carga que sirve de abertura final. Los primeros taladros adyacentes al taladro vacío requieren una gran precisión en la perforación y en la carga.

Como el taladro vacío es normalmente de un diámetro mayor que los del resto, los cortes de taladros paralelos son denominados algunas veces como cortes de gran diámetro. Para diferentes valores de estos diámetros se requiere también diferentes espaciamientos, las características de la roca también hará precisar un reajuste en los espaciamientos y cargas a fin de obtener una satisfactoria rotura. Si la carga empleada fuera demasiado pequeña, el corte no rompería correctamente, y si fuera demasiado grande, la roca podría sinterizarse y el corte se malograría.

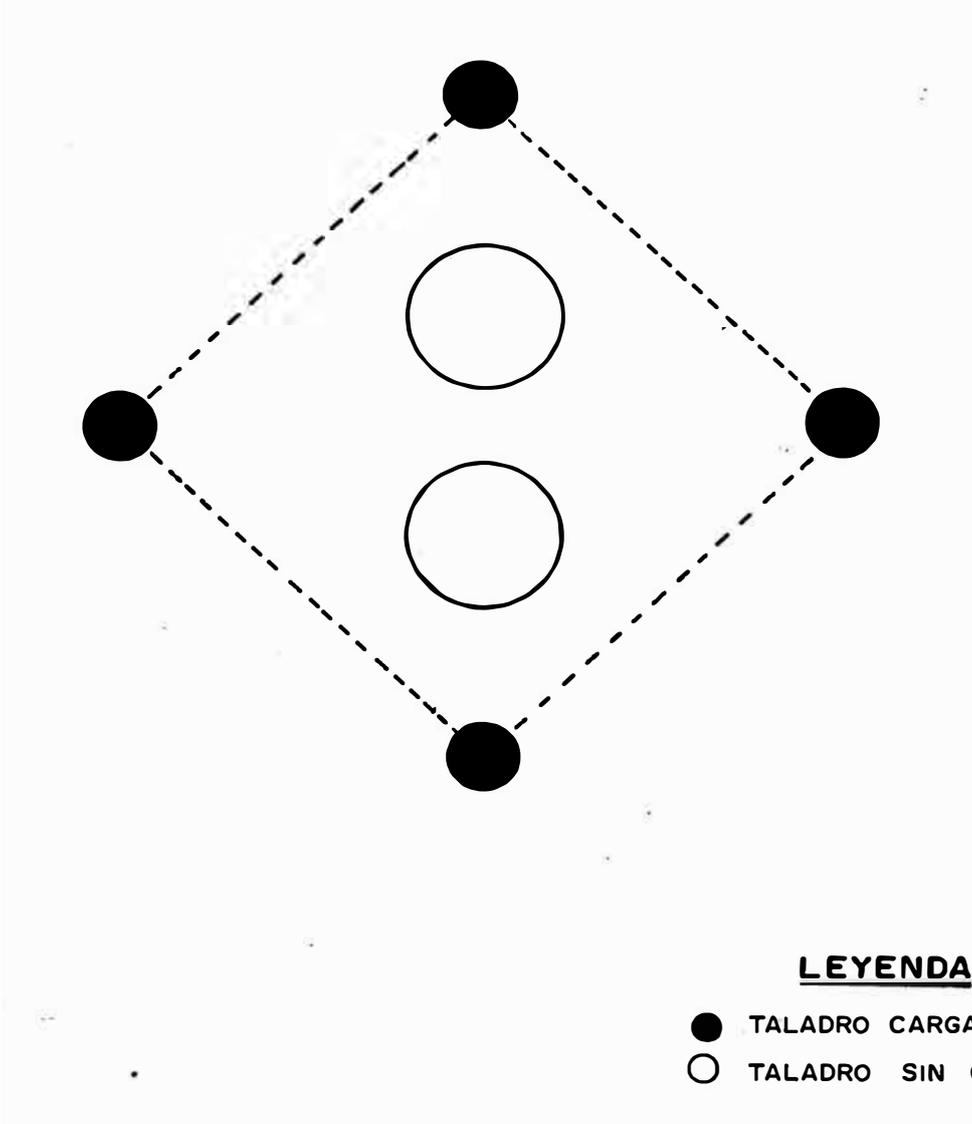
CORTE CON UN TALADRO NO CARGADO



LEYENDA

- TALADRO CARGADO
- TALADRO SIN CARGAR

CORTE CON DOS TALADROS NO CARGADO



LEYENDA

- TALADRO CARGADO
- TALADRO SIN CARGAR

b.3 Corte en V

El corte en "V" se usa frecuentemente donde la sección transversal del túnel es grande y cuando la roca es poca competente. Al usar el corte en "V" la proyección de la roca generalmente quedará exparcida sobre un área mayor. Sin embargo, en túneles grandes el corte en "V" resultará generalmente con un mayor avance por perforación necesitando menos taladros que los métodos anteriores.

El corte en "V" consiste en una de las cuñas mas viejas en angulos. Cada "V" consiste en dos taladros perforados desde dos puntos en la cara para encontrarse, o casi hacerlo en el fondo de los taladros. Consistente con el máximo avance por perforación.

La cuña puede tener una "V" o varias perforadas en forma paralela una a otra, el número de "V" necesarias depende principalmente de la estructura de la roca. En perforaciones mas profundas o rocas muy difícil de quebrar, las cuñas pueden consistir en una "V" doble o triple. Taladros vacios se usan algunas veces para ayudar a quebrar cuñas mas profundas.

c. Densidad de Carga

La densidad de carga, depende de la dureza de la roca, de la dimensión de secciones, número y longitudes de taladros, sistema de disparo, Clase de explosivos, etc., pero aquí describiremos solo dos factores importantes, estos son, la dureza de la roca y las dimensiones de las secciones.

Siempre la cantidad de explosivo por mt^3 va disminuyendo, mientras mas grande sea la sección y, al contrario, va en aumento mientras sea mas dura la roca.

El cálculo de la densidad de carga adecuada ha sido elaborado en base a experiencias, pero este no tiene aplicacion generalizada y por consiguiente, presentamos una tabla que deberá ajustarse a cada caso particular.

DENSIDAD DE CARGA (Kg/M³)

Sección (m²)	1.0-5.0	5.0-10.0	10.0-20.0	20.0-40.0
Roca				
Dura	3.0-2.5	2.5-2.0	2.0-1.7	1.7-1.4
Semidura	2.2-1.8	1.8-1.4	1.4-1.0	1.0-0.8
Suave	1.5-1.0	1.0-0.8	0.8-0.5	0.5-0.4

CAPITULO VI

TECNICA DE DISPAROS PARA VOLADURAS CONTROLADAS

6.1 VOLADURAS CONTROLADAS EMPLEANDO FANEL

Tal como señalamos anteriormente, para obtener el efecto de corte en los taladros de contorno, en una Voladura Controlada, debemos emplear fulminantes de retardo para lograr que la simultaneidad de las detonaciones formen el contorno deseado.

Tanto el uso de fulminantes no eléctricos de retardos así como el de fulminantes eléctricos de retardo nos conducen al mismo objetivo, diferenciándose ambos en su manipuleo.

En las voladuras realizadas tanto en tunelería como en cámaras subterráneas he utilizado estos dos tipos de accesorios. Es importante comprender que el uso de fulminantes de retardo nos brinda otras ventajas con respecto al uso de fulminantes para voladuras convencionales.

Veamos porqué, haremos una breve explicación de lo que sucede cuando se detona un explosivo.

El proceso de encendido de un explosivo causa centros de onda de choque en cada uno de los taladros perforados en la roca a ser volada. Estos frentes de onda de choque se van expandiendo en forma cúbica y producen un fracturamiento intenso al cruzarse entre sí, en cantidades casi ilimitadas dentro de la zona de la voladura. Estos puntos de arranque abren la roca en forma óptima para que la presión de los gases formados en la fase de reacción, empujen al material que circunda al explosivo por efecto de la expansión de los gases comprimidos.

Comparando con los sistemas tradicionales de voladura, opinamos que en todos los casos es posible ampliar la malla de perforación, siempre y cuando se complementen adecuadamente con los factores de potencia a utilizar. El porcentaje de reducción de taladros perforados ha sido muy importante, hay casos en que las mallas empleando fulminantes de retardo pueden duplicarse incluso con respecto al uso de fulminantes simples.

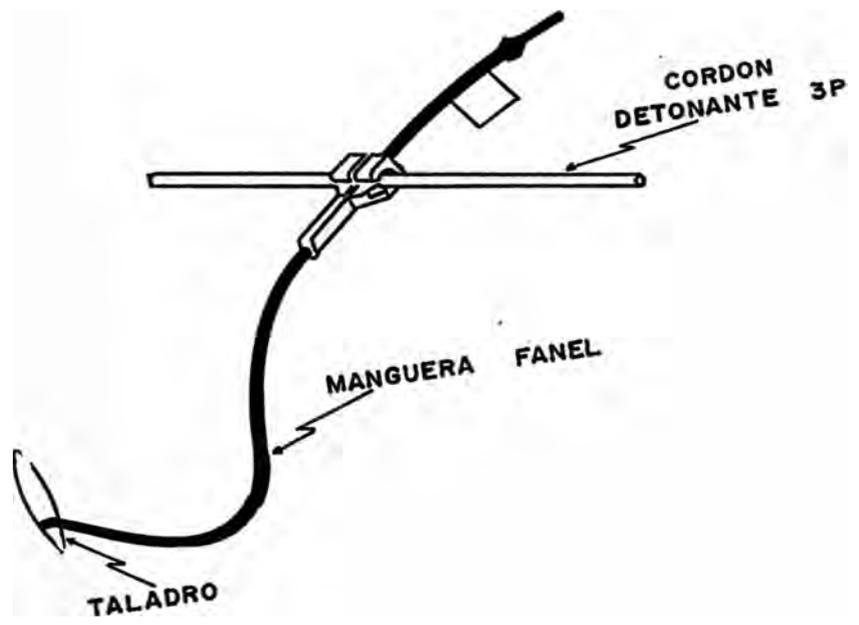
Resumiendo, la detonación de un explosivo con retardo de milisegundo causa centros de onda de choque en secuencias exactas que producen un fracturamiento intenso al cruzarse entre sí, y una segunda interacción, cuando el material proyectado en intervalos precisos de tiempo por acción de los gases comprimidos, choca en el aire, aumentando el grado de fragmentación del material disparado.

La manguera Fanel para ser iniciada necesita una onda explosiva, la cual debe ser proporcionada por un agente externo y la continuación de la propagación de la referida onda deberá tener la misma dirección, el agente externo empleado es el cordón detonante, que esta constituido por un núcleo de pentrita de alto poder explosivo con una velocidad de detonación promedio de 7,000 mt/sq., éste a su vez, es iniciado por el fulminante común N°6.

Una vez producido la detonación del cordón detonante, la iniciación de todas las mangueras conectadas es practicamente instantánea, controlándose la secuencia de salida mediante los retardos que están dentro de los fulminantes, lo cual permite segun su numeración la formación de caras libres del macizo rocoso a ser volado.

Para la aplicación de Voladuras Controladas, segun sea la técnica a emplear, se deberá seleccionar los números de retardos adecuados. Este detalle lo vemos mas adelante.

INICIACION DEL FANEL



Es necesario hacer la observación en el sentido de que la velocidad de la onda explosiva dentro de la manguera Fanel es de 1,500 mt/sg., lo cuál significa un retardo específico de 0.7 ms/mt de manguera. Dicho retardo específico cuando se trata de taladros adyacentes en una serie, carece prácticamente de importancia debido a que el tiempo adicional es despreciable.

Es recomendable prestar atención a los sistemas de conexión y asegurarse de que el tiempo de recorrido de la onda explosiva dentro de la manguera sea adecuada e inferior al fanel con menos tiempo de retardo usado y para los cálculos deberá tomarse un retardo específico de 0.7 ms/mt de manguera.

Para evitar riesgos de falla a causa de corte en la manguera Fanel, es necesario que todos los fulminantes del circuito reciban el impulso de explosión antes de que comiencen los movimientos de roca, sobretodo en trabajos subterráneos donde la roca se desprende en espacios limitados.

Selección de retardos Fanel para Voladuras Controladas en Túneles.

Quando se diseña una voladura controlada en Túnel, se seleccionará el cuadro de distribución de retardos de acuerdo al diseño de perforación. Para el caso de túneles y galerías en general, se deberán emplear fulminantes de periodo largo para permitirle tiempo suficiente al desplazamiento de la roca, generalmente los fulminantes de retardos usados en el arranque son de periodo corto, siendo iniciado el resto de taladros con fulminantes de periodo largo.

Quando se aplica el Recorte en un Túnel, caso Chavimochic, todos los taladros perimetrales a excepción de los arrastres, llevarán el número de serie mayor.

El tiempo de desplazamiento que tendrá la roca limitada por el arranque esta dado por el retardo de las ayudas de arranque menos el retardo del mismo arranque, debe haber tiempo suficiente para formar cara libre antes de comenzar el desplazamiento de la roca producido por los taladros de ayuda, así sucesivamente se va abriendo la cavidad deseada.

En el Recorte, los últimos taladros en detonar y producir el corte requerido, son los taladros perimetrales, estos taladros como son disparados simultáneamente, la colision de las ondas de choque entre los taladros adyacentes coloca a la zona en tensión y causa fracturas que crean la zona de corte entre ellos.

6.2 VOLADURAS CONTROLADAS EMPLEANDO FULMINANTES ELECTRICOS

El éxito de una voladura eléctrica depende de cuatro principios generales:

1. Selección y trazado apropiados del circuito de voladura.
2. Una fuente adecuada de energía compatible con el tipo de circuito de voladura seleccionado.
3. El reconocimiento y la eliminación de todos los riesgos eléctricos.
4. Balanceo del circuito, buenas conexiones eléctricas y prueba del circuito terminado.

La selección del circuito dependerá del número de fulminantes eléctricos a dispararse y el tipo de operación. En general un circuito en serie simple es usado en voladuras pequeñas consistentes de menos de 50 fulminantes. Un circuito de serie en paralelo es usado cuando un gran número de fulminantes está implicado.

Cuando se trata de voladuras rutinarias o pequeñas en las que de antemano sabemos que la capacidad de la fuente de energía a utilizar es mayor que la necesaria para iniciar la voladura, no es necesario hacer el cálculo de los circuitos. Bajo otras circunstancias, es decir cuando la voladura es grande o cuando el trabajo a efectuar no es usual, se hace necesario hacer los cálculos, con la finalidad de garantizar suficiente energía (corriente, amperaje), para iniciar en forma correcta todo el circuito.

La resistencia (ohmiaje) total del circuito será: igual a la resistencia total de los fulminantes que intervienen en el circuito, mas la resistencia del cable que transporta la corriente del explosor a los fulminantes (línea de disparo), mas la resistencia de cualquier alambre de conexión empleado para unir uno o mas fulminantes entre sí.

Como dijimos, se utilizan tres tipos de circuitos eléctricos, esto es circuitos en serie, circuitos en paralelo y circuitos en serie-paralelo.

Los dos primeros circuitos son los mas usados en nuestro medio, el circuito serie-paralelo es usado cuando se detonan un buen número de fulminantes o taladros.

Referente al explosor, actualmente en Mina Juanita usamos el tipo condensador, este tipo de máquinas están diseñadas para entregar suficiente energía para detonar un número determinado de fulminantes.

Es absolutamente necesario un cuidado extremo al alambrar y probar el circuito para evitar fallas de disparos.

a. Requerimientos de corriente.-

El éxito de la iniciación simultánea de un gran número de fulminantes eléctricos requiere la entrada de suficiente corriente a todos los fulminantes en unos pocos milisegundos. El tiempo requerido para calentar el alambre- puente en un fulminante eléctrico a la temperatura que provoque la combustión de la carga de ignición está en función de la intensidad de corriente.

La importancia de transmitir suficiente corriente a todos los fulminantes eléctricos del circuito en pocos milisegundos no puede ser menospreciada. A niveles de corriente baja marginal, las ligeras diferencias de un fulminante a otro puede resultar en variaciones en cuanto a tiempos de iniciación. En una serie esto puede resultar en la detonación de un fulminante con anterioridad a la iniciación de todos los demás. Este disparo rápido de un fulminante interrumpe el flujo de corriente antes de que todos los demás hayan sido iniciados y da como resultado el que fallen uno o mas.

b. Probando el circuito.-

Una vez elegido el mejor circuito, acorde con la capacidad de la maquina explosora se deberá proceder a chequear la resistencia total y la continuidad del circuito. De igual forma se deberá evitar el contacto directo de cualquier alambre o conexión con tierra, mas aún si existe presencia de agua o si la tierra está húmeda, esto facilita la pérdida de corriente a tierra, pudiendo permitir que estas fugas causen tiros cortados.

c. Líneas Guías.-

Las líneas guías o líneas de encendido, son una parte esencial del circuito de voladura y deberan ser inspeccionadas, probadas y conservadas en buen estado para asegurar un voladura exitosa.

Se recomienda alambre de Cu de núcleo sólido, bien aislado de calibre 10 a calibre 14 para circuito de serie y de serie en paralelo de tamaño normal.

d. Precauciones.-

Se deberá tener especial cuidado con corrientes eléctricas extrañas que podrían iniciar prematuramente la voladura, al respecto debo hacer incapié con el personal de voladura, para que mantenga hasta el último momento de la voladura ambos alambres entorchados (unidos entre sí), ya sea de los fulminantes, circuito eléctrico o del propio alambre del disparo.

e. Electricidad extraña.-

Presentamos algunas de las condiciones que podrían presentar un peligro de electricidad extraña y las precauciones que deberan tomarse para mantener condiciones seguras.

Los peligros de electricidad extraña incluyen:

Corrientes erráticas desviadas debido a equipo eléctrico deficientemente aislado.

Rayos y electricidad estática de tormentas eléctricas.

Corrientes inducidas presentes en campos electromagnéticos alternantes, tales como aquellas encontradas cerca de líneas de transmisión de alto voltaje.

Corrientes galvánicas generadas por metales diferentes haciendo contacto o separados por un material conductivo.

Se ha establecido que la máxima corriente segura permitida para que fluya a través de un fulminante eléctrico sin peligro de iniciación en 50 miliamperios. En otras palabras, las voladuras eléctricas no deben efectuarse en áreas donde la corrientes extrañas sean mayores de 0.05 amperios. Los niveles estáticos extremadamente altos también pueden alcanzarse por la carga neumática del Anfo y otros productos granulares.

f. Peligros estáticos en sistemas de cargas neumáticas.-

La electricidad estática puede generarse al transportar sólidos neumáticamente. Este peligro debe ser controlado si se cargan mezclas de Anfo neumáticamente para evitar el encendido prematuro del fulminante por electricidad estática.

Las corrientes eléctricas generadas por sistemas convencionales de carga neumáticas son generalmente insignificantes. La generación misma de la corriente no constituye el peligro básico. El peligro ocurre si se permite que las cargas se acumulen en un condensador que esté aislado de tierra. Si existe esta situación, puede formarse suficiente energía en un sistema neumático no conductivo para encender un fulminante eléctrico. Esto debe controlarse mediante el uso de un sistema de carga semiconductor que sangrará la carga estática a medida que se genera. Las mangueras de carga semiconductoras proveen el medio para que las cargas se vayan a tierra a todo lo largo de la manguera y a través del sistema de carga neumática. No deberá utilizarse una manguera completamente conductiva debido a que puede proporcionar un medio de baja resistencia por el cual pueda introducirse niveles peligrosos de corrientes erráticas al sistema de voladura.

g. Corrientes erráticas

La corriente errática que fluye a través de líneas de energía a equipo eléctrico de una batería, un generador, o un transformador siempre regresará a esa fuente por todos los caminos disponibles. Estos caminos incluyen:

1. Conductores adicionales aislados de tierra, tales como cables eléctricos.
2. Conductores no aislados de la tierra para remolque eléctrico, tales como las rieles.
3. La tierra misma.

Si el conductor de cambio entre la carga y la fuente se interrumpe, la corriente encontrará otro camino y podrán resultar peligrosísimas altas corrientes de tierra. Este peligro puede ser reducido al mínimo si los objetos de metal continuos se mantienen lejos de los circuitos eléctricos de voladuras.

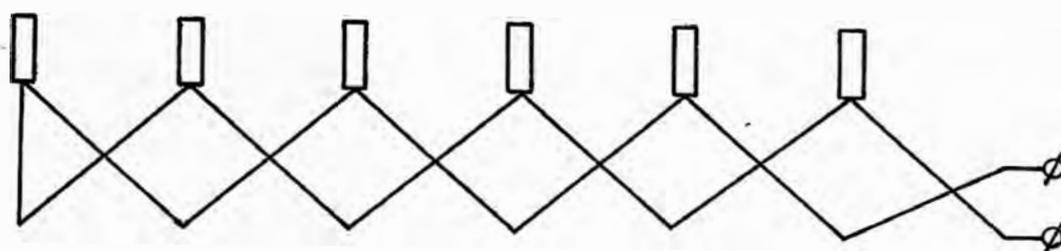
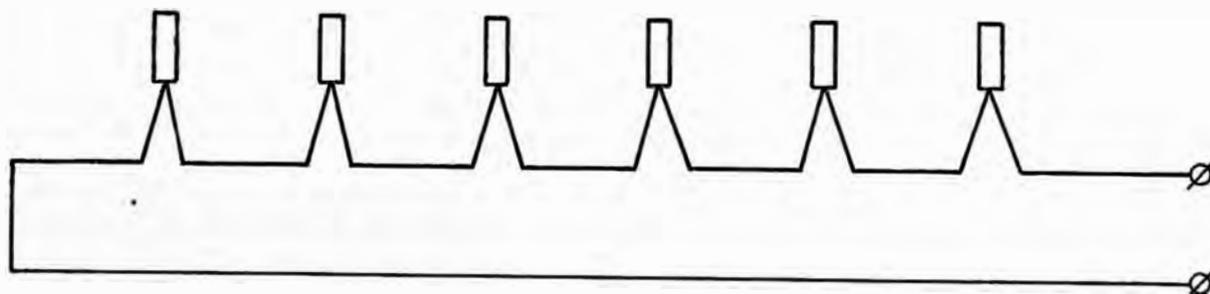
Corrientes peligrosas, mayores de 50 miliamperios, también pueden alcanzar a los fulminantes eléctricos si los alambres de fulminante hacen contacto con rieles, tuberías o ductos de ventilación.

Hay tres puntos en una operación de carga neumática en los cuales se puede acumular la energía eléctrica:

1. En el operador
2. En el cargador del agente de voladura
3. En el taladro y los alambres del fulminante.

Si se mantiene un medio semiconductor entre estos puntos y tierra, la energía se disipa antes de que pueda llegar a niveles peligrosos.

CONEXION EN SERIE



$$R_a = R_z \times N + R_s + R_v$$

R_a : RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO A SER VOLADO

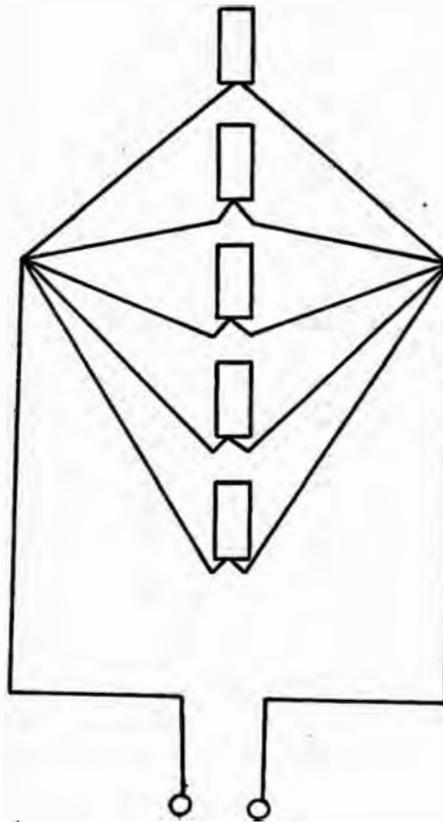
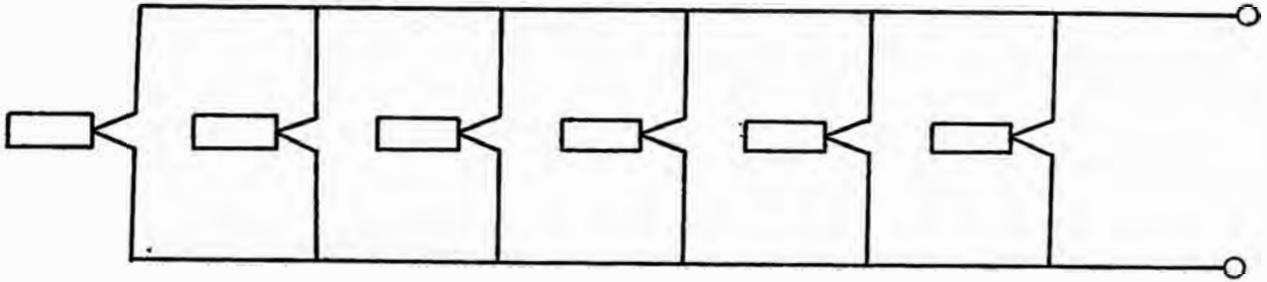
R_z : RESISTENCIA DE UN SOLO FULMINANTE

N : NUMERO DE FULMINANTES

R_s : RESISTENCIA DEL CABLE DE DISPARO

R_v : RESISTENCIA DEL CABLE DE CONEXION

CONEXION EN PARALELO



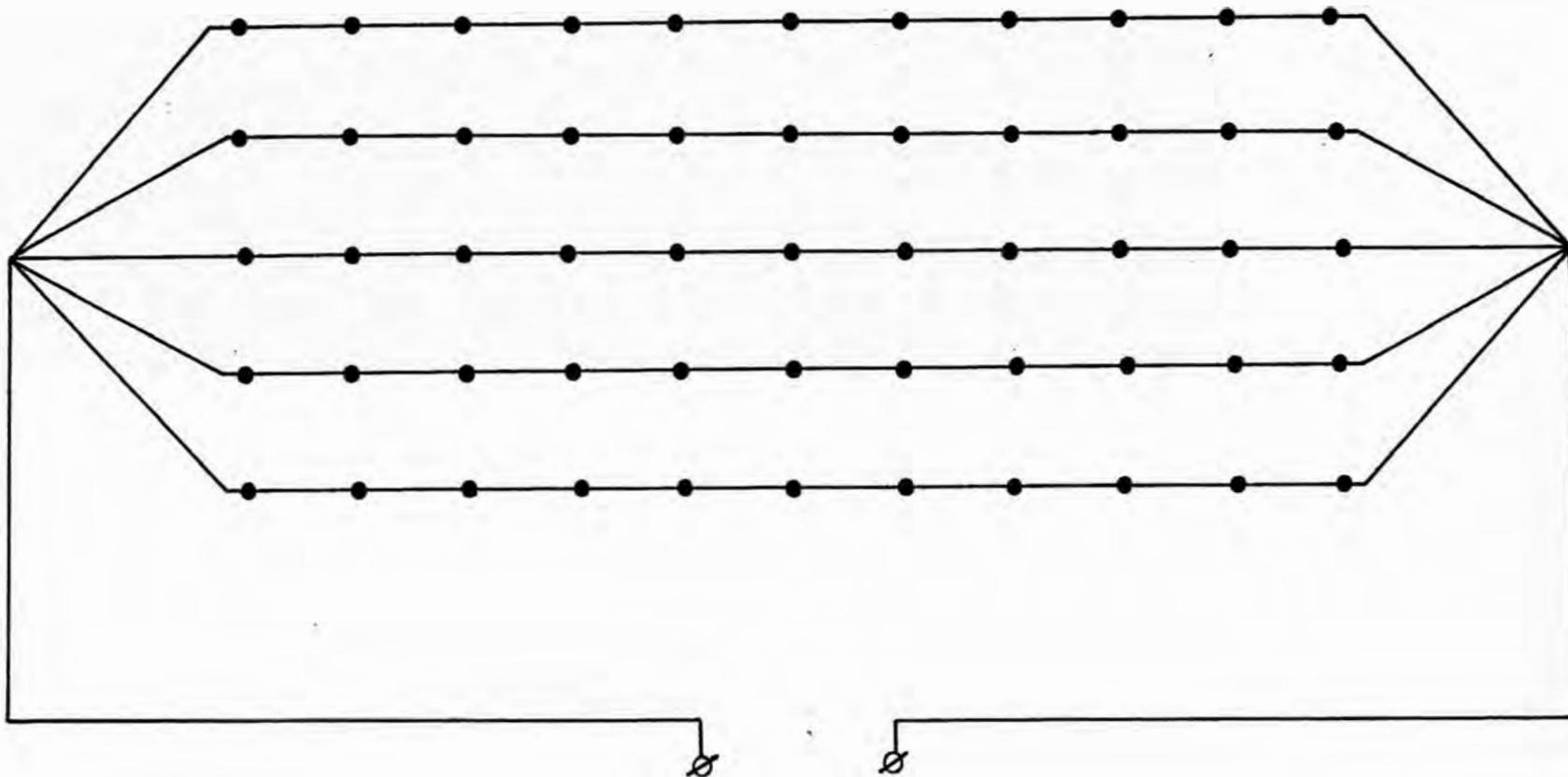
$$R_p = R_z / n + R_s + R_v$$

R_p : RESISTENCIA DEL CIRCUITO

R_z : RESISTENCIA DE UN FULMINANTE

n : NUMERO DE FULMINANTES

CONEXION SERIE EN PARALELO



$$R_f = R_z \times n_i$$

$$R_0 = R_f \times n + R_s + R_v$$

R_0 : RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO

R_z : RESISTENCIA DE UN FULMINANTE

R_f : RESISTENCIA DE UNA FILA

n_i : NUMERO DE FULMINANTE

n : NUMERO DE FILAS

CAPITULO VII

APLICACIONES DE VOLADURAS CONTROLADAS

7.1 VOLADURAS CONTROLADAS EN RECUPERACION DE PILARES MINA JUANITA.

UBICACION.-

La Mina Juanita se localiza en el Paraje Corcona, distrito de Santa Cruz de Cocachacra, Provincia de Huarochirí, Departamento de Lima.

También como punto de referencia, se utiliza el hito del km. 49.5 de la Carretera Central y el hito del Km. 68.0 del Ferrocarril Central.

METODO DE MINADO.-

El cuerpo de Juanita viene trabajándose en forma subterránea mediante subniveles y tajeos abiertos con relleno hidraulico cementado (RHC). Actualmente se están recuperando los pilares para lo cual los tajeos primarios han sido rellenos con RHC para hacer el trabajo de nuevos pilares, es decir, las paredes de los pilares estan en contacto con paredes de RHC. A la vez estos pilares se dividen en paneles cuyas dimensiones están en función a la producción requerida, a las condiciones geomecánicas y de seguridad.

La mineralogía del yacimiento es bastante simple, existe Baritina con abundante presencia de Marmatita, acompañado de Pirita y, en menor cantidad se encuentra algo de Galena.

Puedo decir que se trata de una masa mineralizada muy sólida y homogénea que se autosoporta o autosostiene perfectamente, es decir bastante favorable desde el punto de vista de perforación y voladura.

En pilares donde no existe cavidad superior preparada (corona) se procederá a cortar el techo mediante técnica de Voladura Controlada, con la finalidad de crear un buen techo que permitirá la extracción y limpieza del mineral en forma segura tanto para el personal así como para el equipo.

Con la finalidad de hacer que la voladura sea eficiente y que cause el mínimo de efectos perjudiciales (vibraciones, rompimiento hacia atrás, ruido, etc.), previamente se estudia y planifica la voladura, con el fin de efectuarla bajo las condiciones mas favorables posibles, es decir se diseña una malla apropiada concordante con la longitud y diámetro de los taladros, la cantidad y distribución de explosivo a colocarse dentro de los taladros, al igual que la secuencia de encendido son cuidadosamente estudiados antes de efectuar la voladura.

Para la recuperación de estos pilares se aperturan cruceros de acceso de tal modo que permita la perforación del pilar, el tipo de perforación es mediante anillos o abanicos de taladros cada uno con un grado de inclinación apropiado y todos ellos sobre un mismo plano, las dimensiones de cada taladro serán variables dependiendo del arreglo del abanico, teniendo en consideración del pilar a recuperar. Para ello se usa un "Stope Wagon", marca Tamrock, modelo SOLO A404M, capaz de perforar en un rango de 360° hasta 40 mts. de longitud con barras acoplables.

La voladura de los abanicos de taladros se hará teniendo en consideración las necesidades de producción y las condiciones de seguridad.

Considerando la experiencia ganada en voladuras realizadas, se recomienda los siguientes parámetros:

Para voladuras principales:

$$S = 2.8 - 3.2 \text{ mts.}$$

$$B = 1.6 - 1.8 \text{ mts.}$$

Para voladuras controladas:

$$S = 0.8 - 1.0 \text{ mts.}$$

$$B = 1.0 - 1.2 \text{ mts.}$$

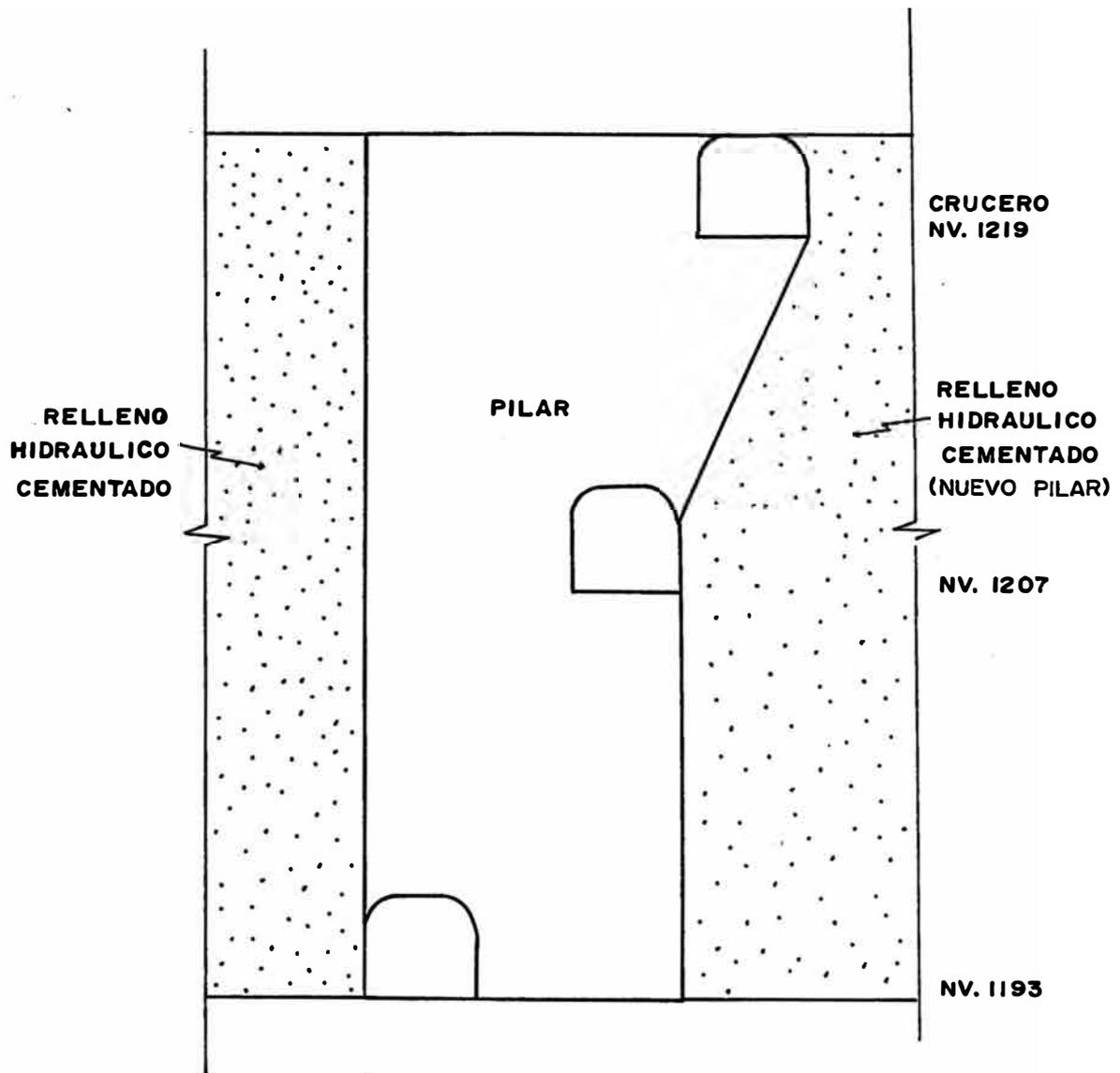
Donde:

S = Espaciamiento entre taladros

B = burden (distancia entre filas)

Las voladuras se efectúan disparando 2 o más filas, mediante la utilización de fulminantes eléctricos antiestáticos tipo milisegundos (ms), de tal forma que cada taladro sale en forma independiente. Los taladros de la última fila son disparados utilizando la técnica del Precorte, para permitir buena cara libre para la recuperación del siguiente panel del pilar.

RECUPERACION DE PILARES

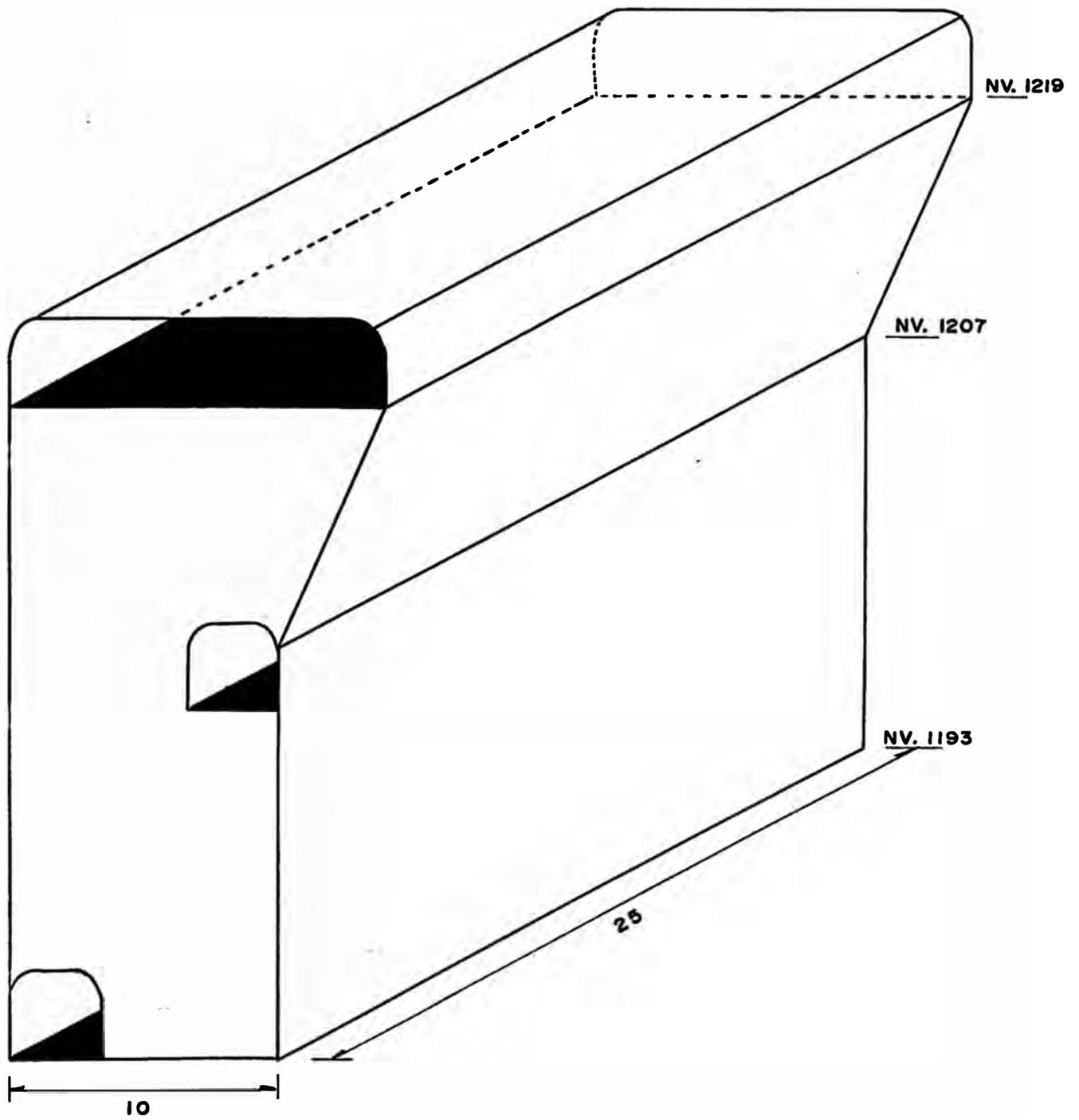


CORTE TRANSVERSAL
AL PILAR

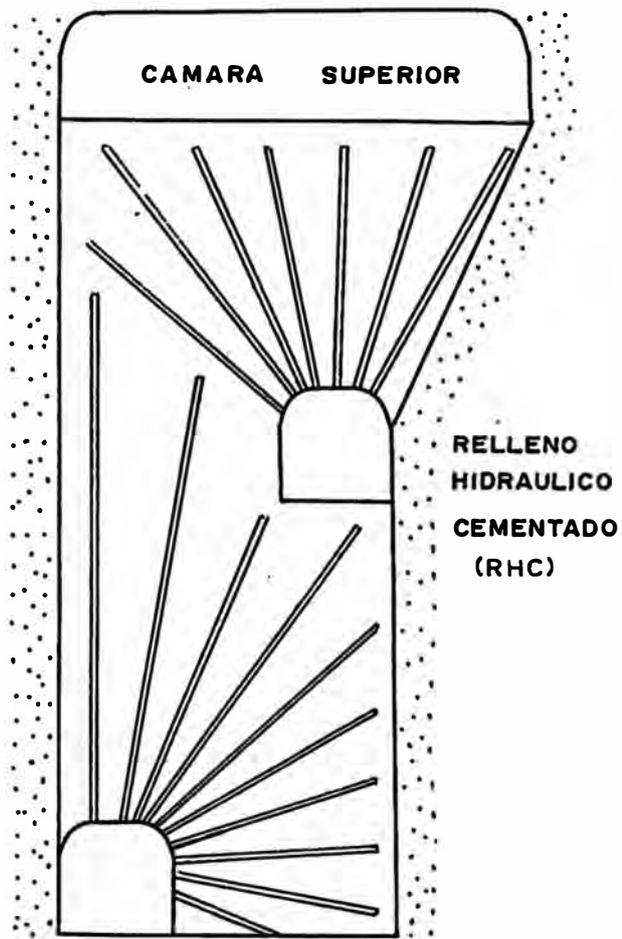
Pilar con Cámara Superior

Para la preparación de la corona ó cámara superior, se desquincha mediante perforadoras manuales, antes es necesario aperturar un crucero transversal al crucero de acceso, dicho crucero servirá de cara libre para todos los disparos necesarios, este trabajo lleva de bastante tiempo y costo relativamente alto, pero es necesario en pilares donde el techo no es consistente, pues se tendrá que sostener para asegurar una explotación segura y confiable, la perforación de los abanicos se realiza desde el nivel inferior tal como se muestra en el gráfico.

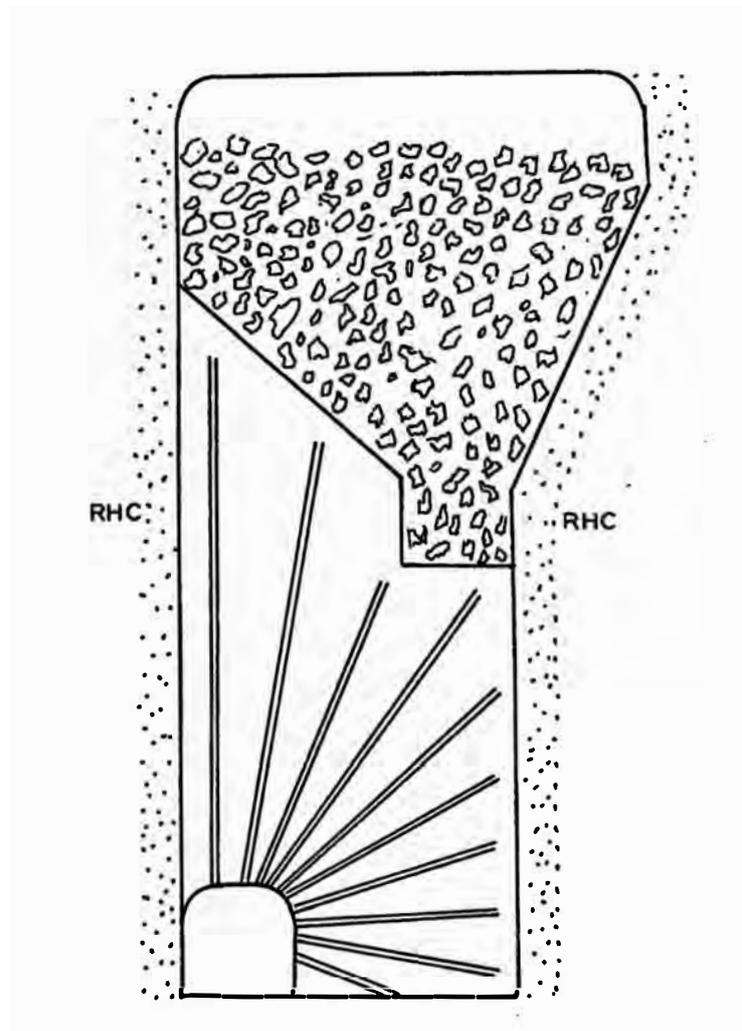
PILAR CON CAMARA SUPERIOR



DISTRIBUCION DE TALADROS



VOLADURA EN RECUPERACION DE PILARES



Pilar sin Cámara Superior

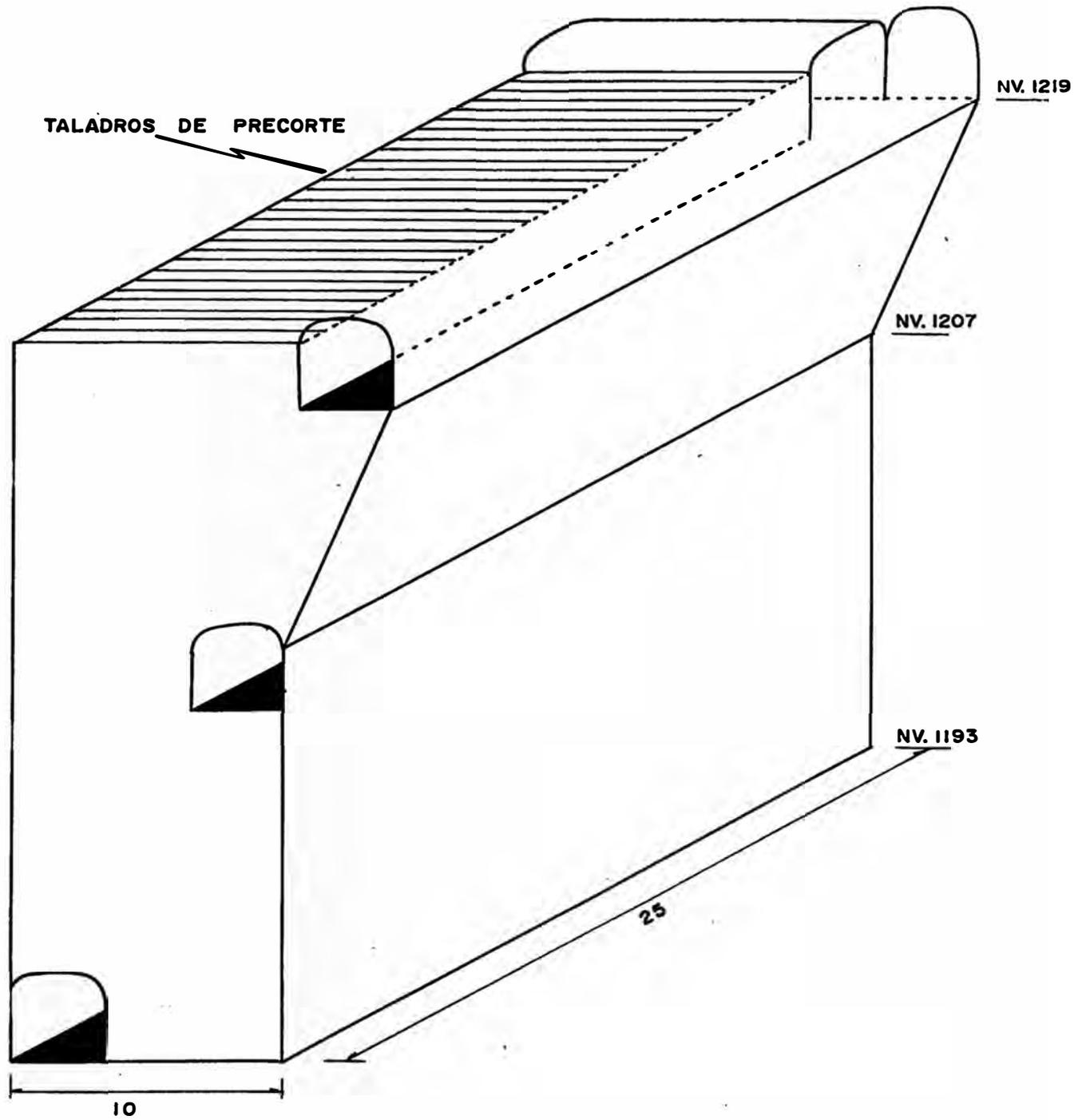
Cuando el techo es bueno y consistente, no es necesario preparar cámara superior. Se aplica la técnica del precorte. Es decir, se perforan taladros paralelos desde el nivel superior que limitará el techo del pilar. Estos taladros son perforados desde el crucero de acceso (longitudinal al pilar), tal como muestra el gráfico.

Para minimizar el efecto de vibración se perfora taladros intermedios, que no serán cargados, generando de esa forma mayor espacio vacío a los taladros a disparar. El espaciamiento de los taladros a disparar es de 0.80 mts.

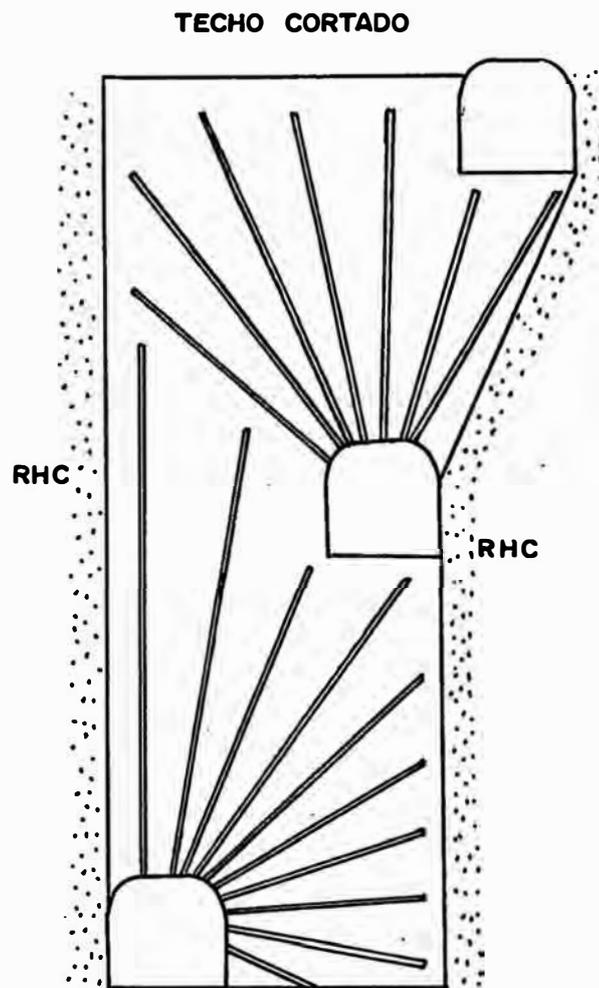
Este trabajo lleva de menos tiempo que el anterior y costo menor. Una vez terminado la perforación se procede al disparo. Como los taladros son largos, los cartuchos espaciados se conectan dentro de tubos PVC de 1 1/4"x3 mt. de longitud, éstos a su vez se acoplan en cantidades según la longitud del taladro.

Posteriormente la perforación de los abanicos se realiza de tal modo que el extremo de los taladros quede 1 mt. debajo del techo producido por el precorte.

PILAR SIN CAMARA SUPERIOR

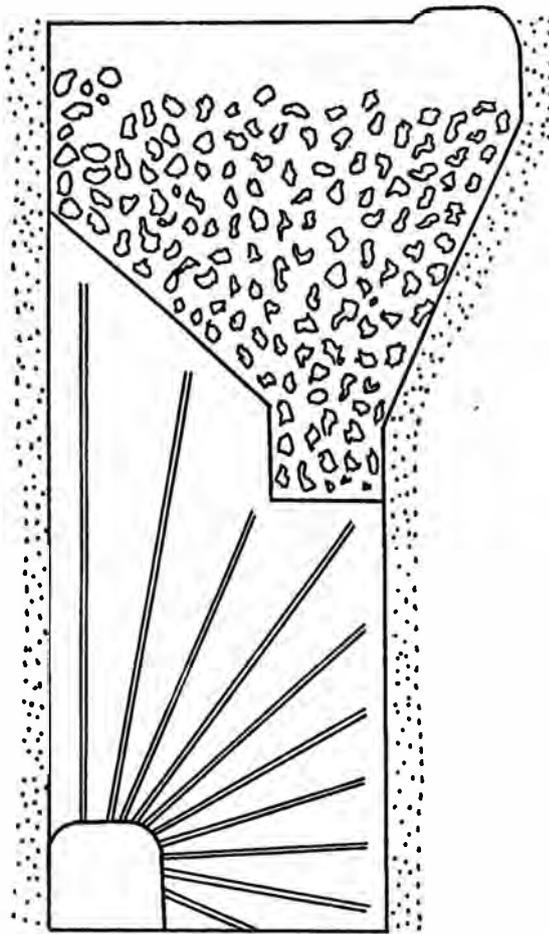


DISTRIBUCION DE TALADROS EN PILAR SIN
CAMARA SUPERIOR



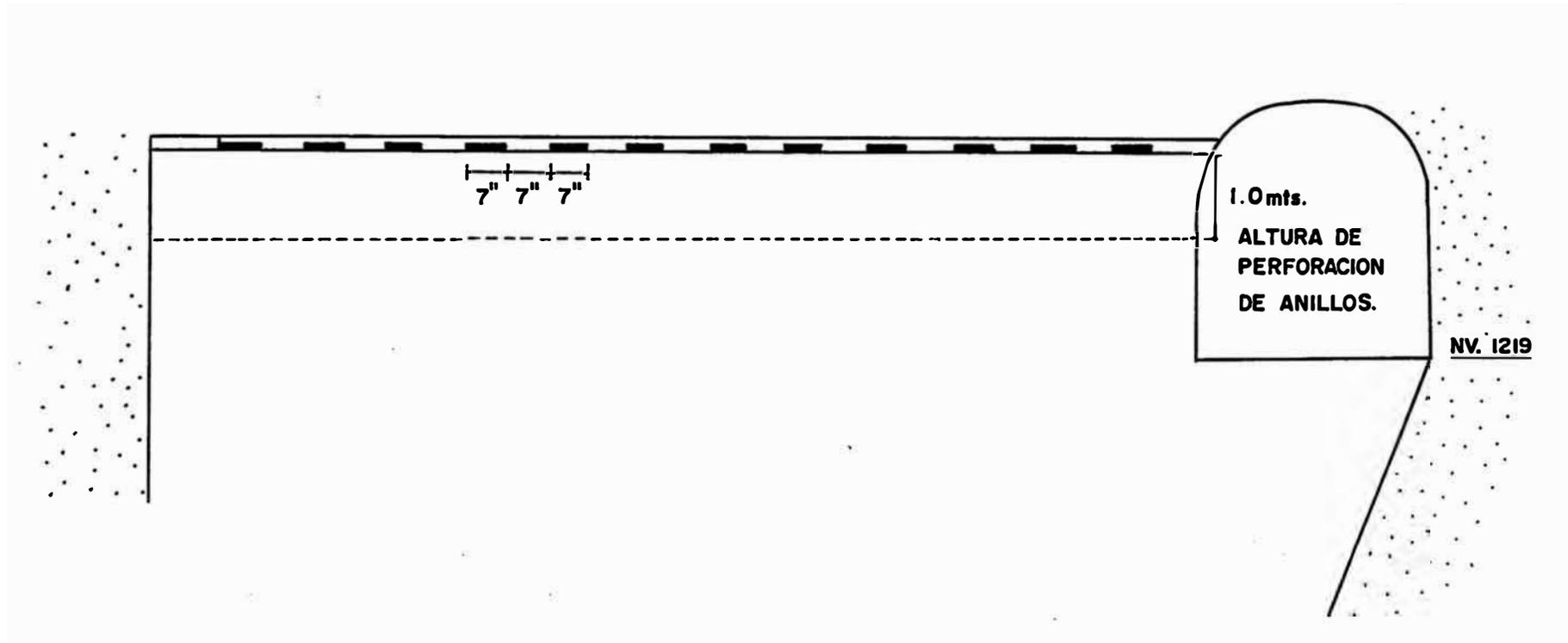
CORTE TRANSVERSAL
AL PILAR

VOLADURA EN RECUPERACION DE PILARES



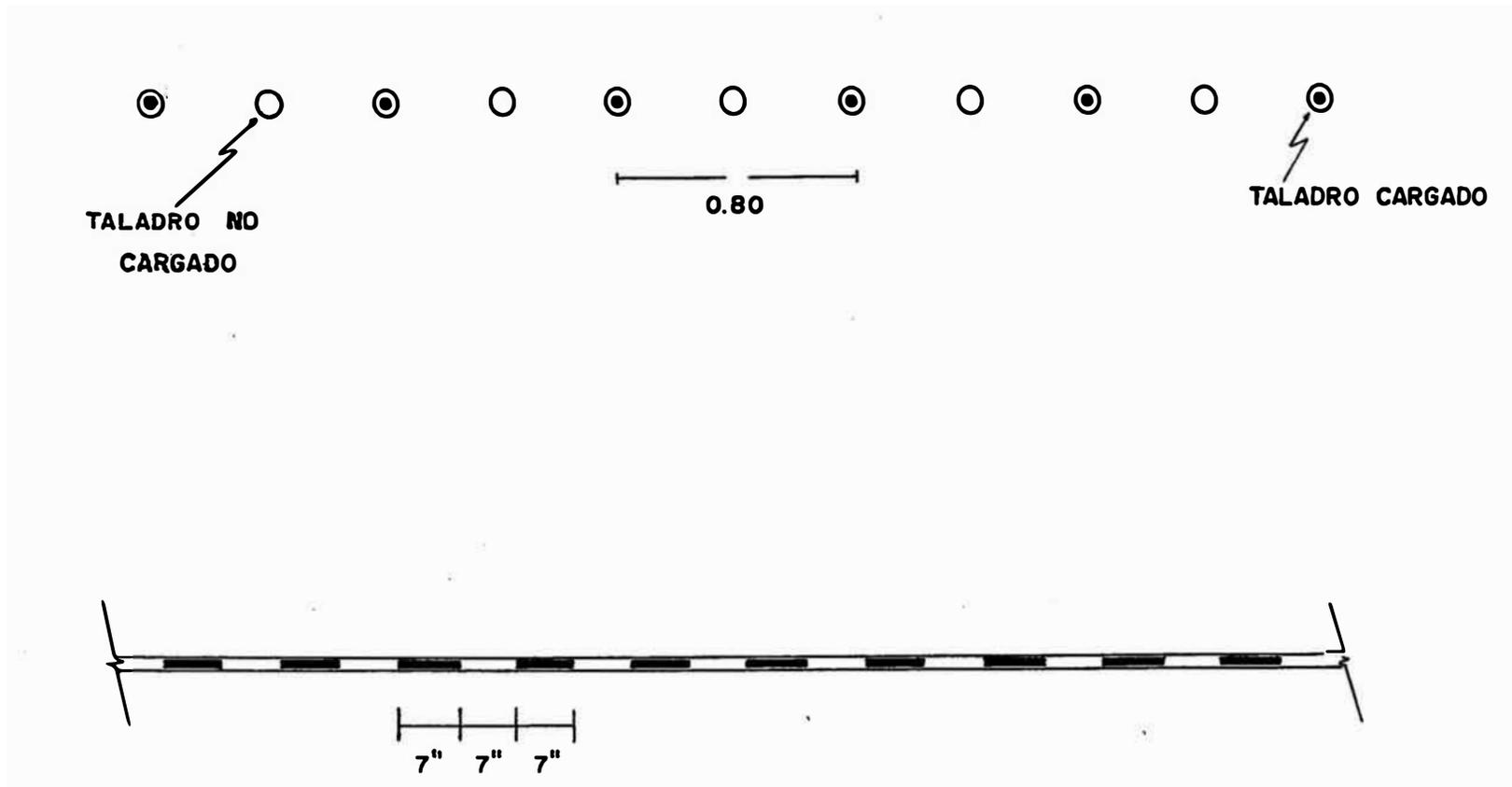
**CORTE TRANSVERSAL
AL PILAR**

PRECORTE APLICADO PARA FORMACION DE TECHO
EN PILAR SIN CAMARA SUPERIOR

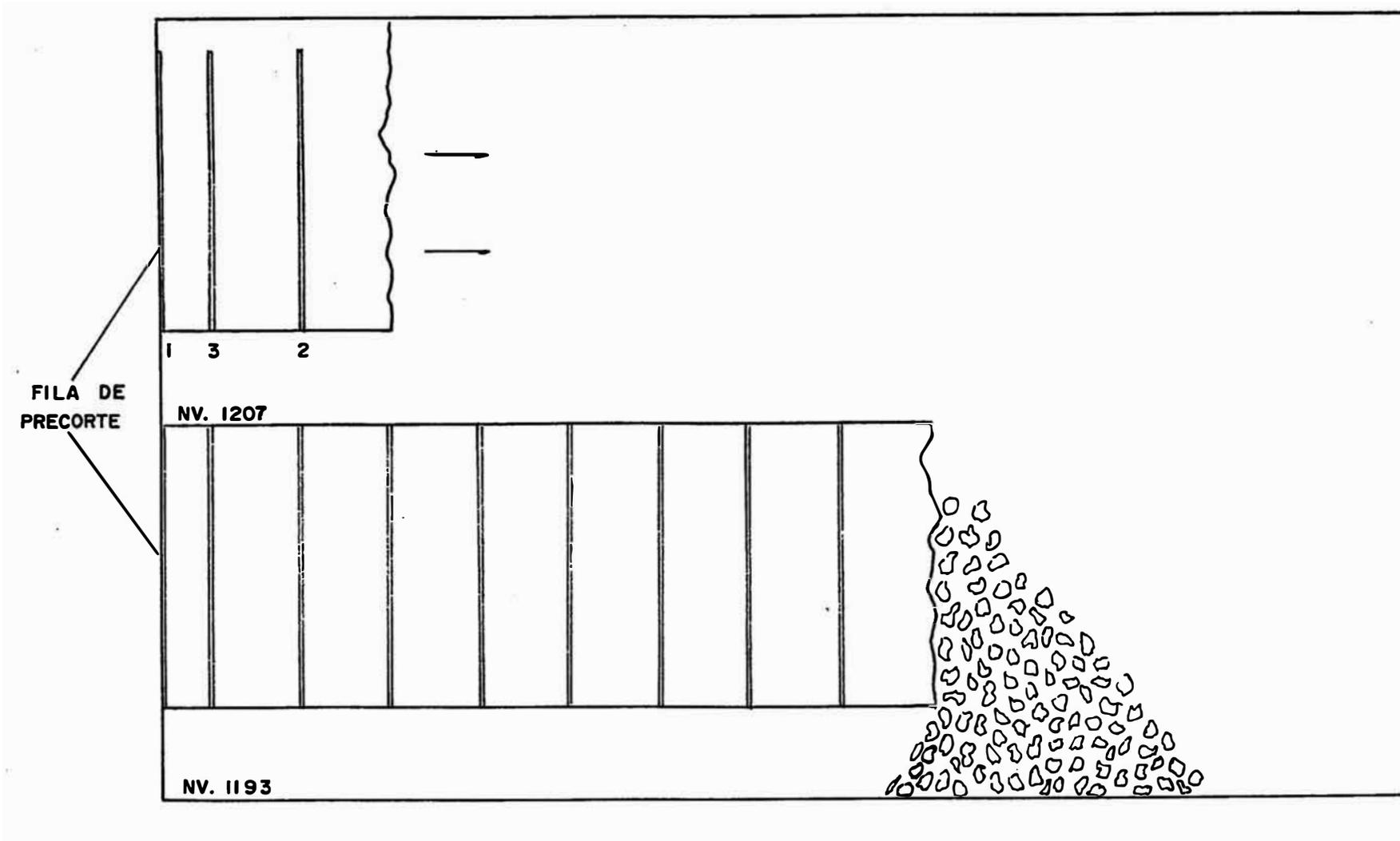


CORTE TRANSVESAL
AL PILAR

CARGUIO DE TALADROS EN PRECORTE DE TECHO



PRECORTE EN PARED FINAL PARA LIMPIAR PILAR



CORTE LONGITUDINAL
AL PILAR

**7.2 VOLADURAS CONTROLADAS EN PREPARACION DE ESTACION DE CARGA.
CIA. MINERA MILPO.**

Objetivo

El trabajo que presento tuvo como objetivo, el diseño y excavación de una Estación de Carga (Niv. -500), Cámara Subterránea de dosificación de mineral cuya función es de recibir el mineral del Vaciadero de Carros (Nv. -450) y dosificar al Skip, que deberá transportar dicho mineral al nivel principal de tratamiento, tal como se muestra en la figura.

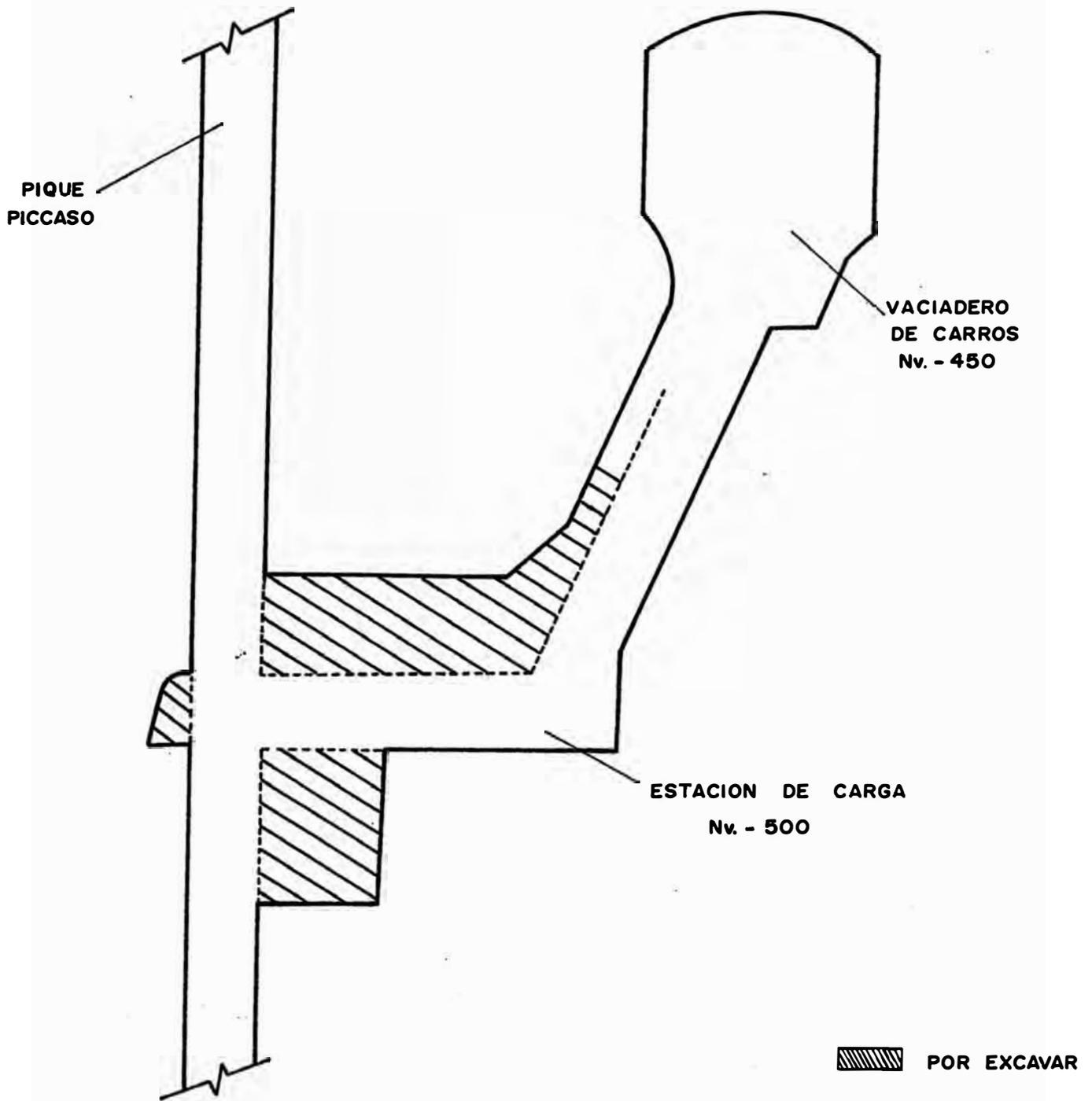
Trabajos de excavación

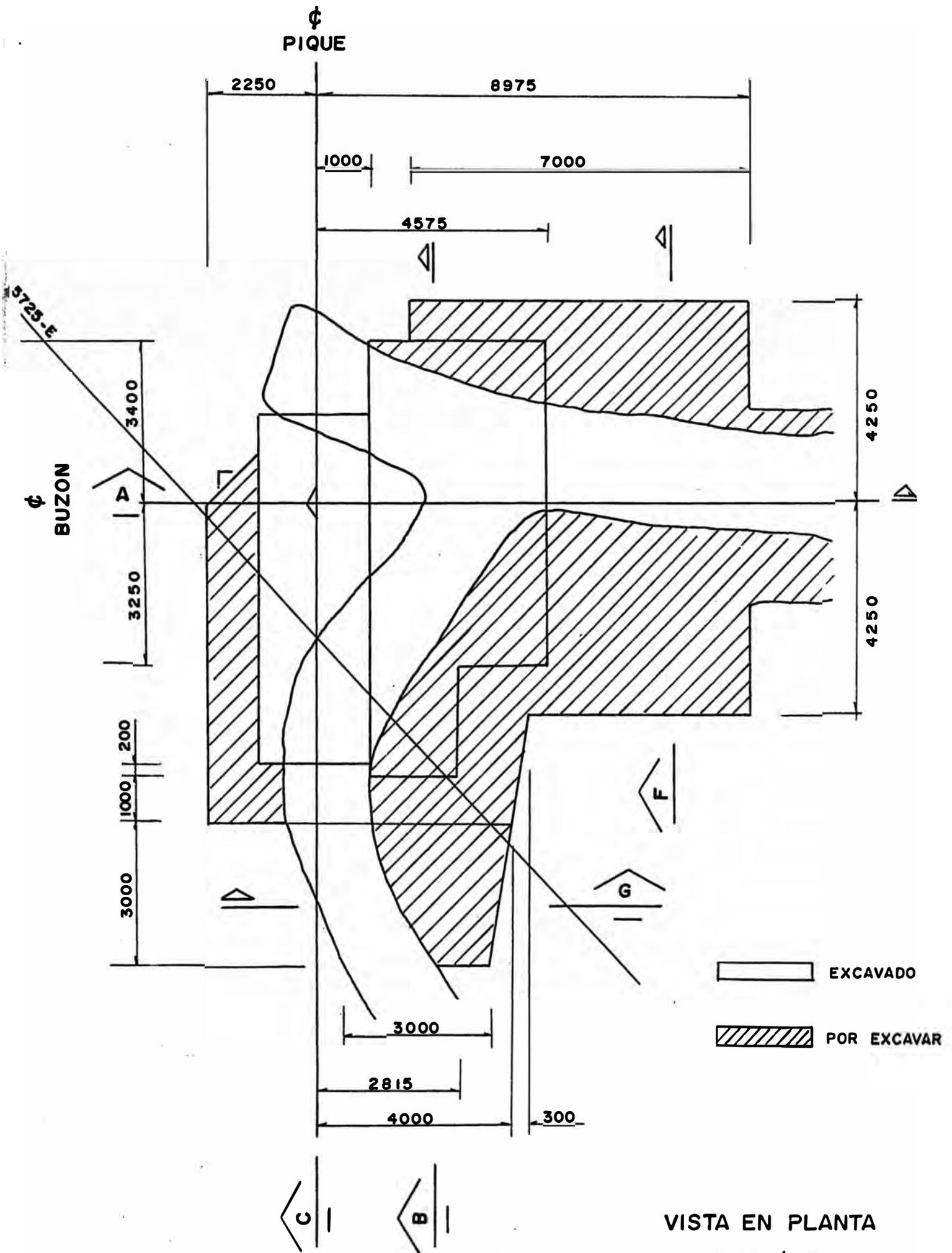
De acuerdo a las vistas presentados en los gráficos correspondientes, la excavación existente presenta cara libre en la parte central inferior reflejado en las secciones A y F los primeros disparos efectuados fueron tipo breasting aplicando recorte, de manera tal que los taladros del techo fueron perforados siguiendo la relación ($E=0.40$ mts, $V=0.50$ mts.) es decir $E/V = 0.80$, y cargados con dinamitas espaciadas para obtener un contorno según el diseño, en este caso la cara libre era el crucero que unía el pique Piccaso con la chimenea del Vaciadero.

Luego de obtener cara libre en la parte central de la cámara, se procedió a la excavación de las partes laterales, según las secciones **F** y **B** mediante desquinches, cuyas mallas de perforación se muestra en el diseño para desquinche.

Una vez concluido las excavaciones desde la cota -499.50 hasta la cota -504.85, se procedió a la excavación vertical establecida en la sección **A**, en cuyo caso la cara libre era el mismo pique Piccaso, debiendo en este caso realizar el primer disparo con taladro de 6 pies y luego los siguientes dos restantes con taladros de 5 pies, para lograr la profundidad deseada, tal como se muestra en los diseños.

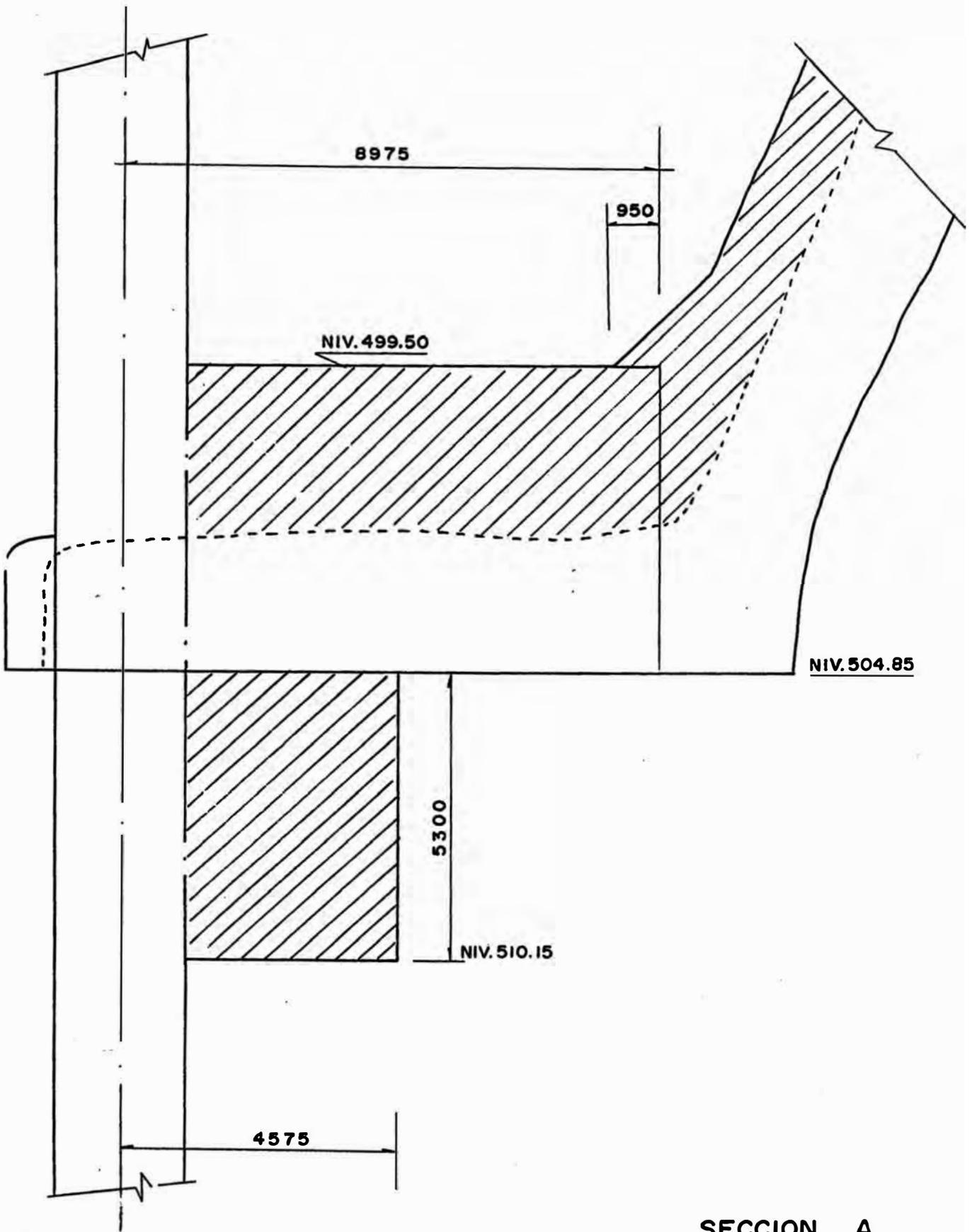
ESTACION DE CARGA





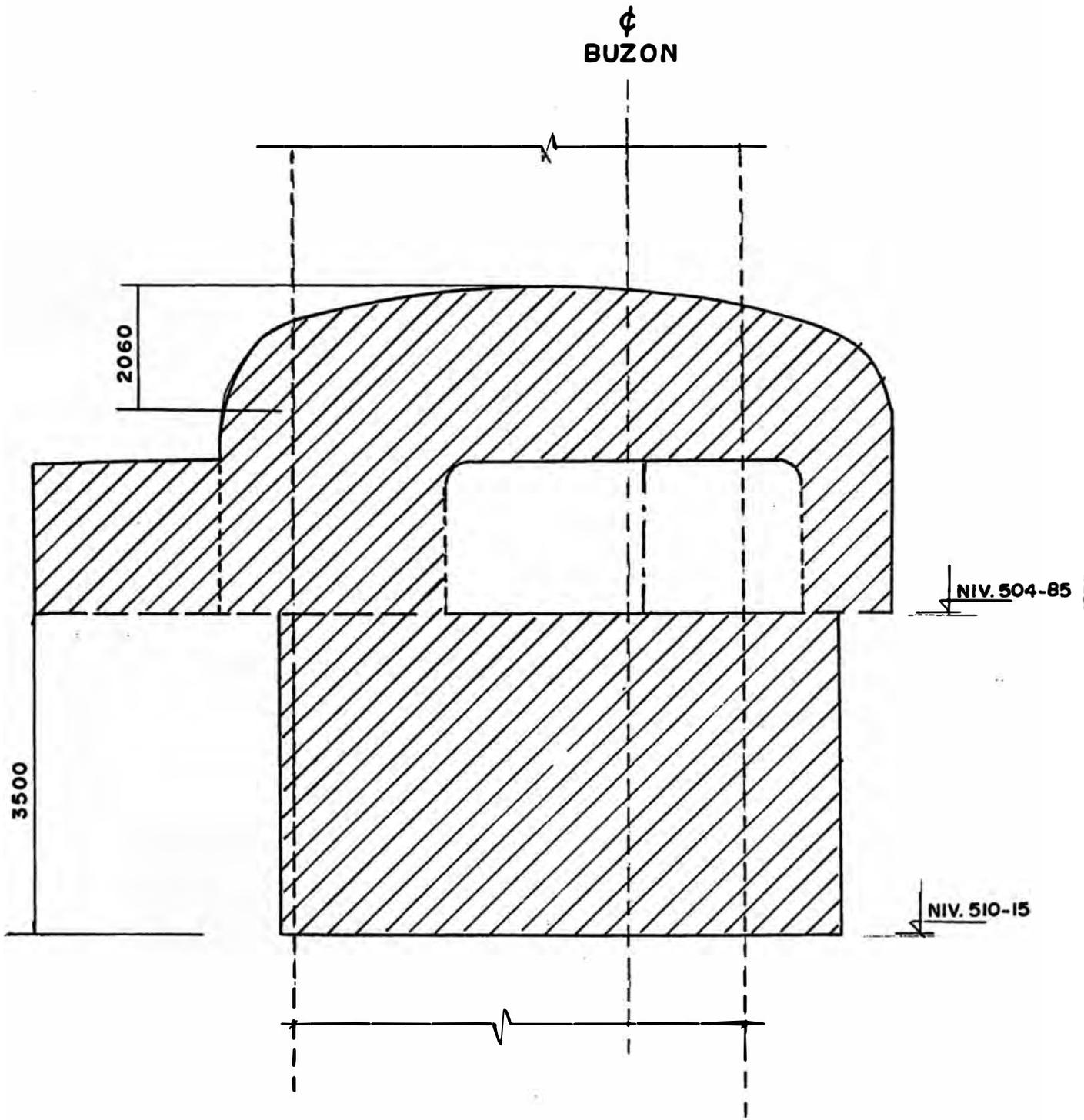
VISTA EN PLANTA

ESC.: 1/100



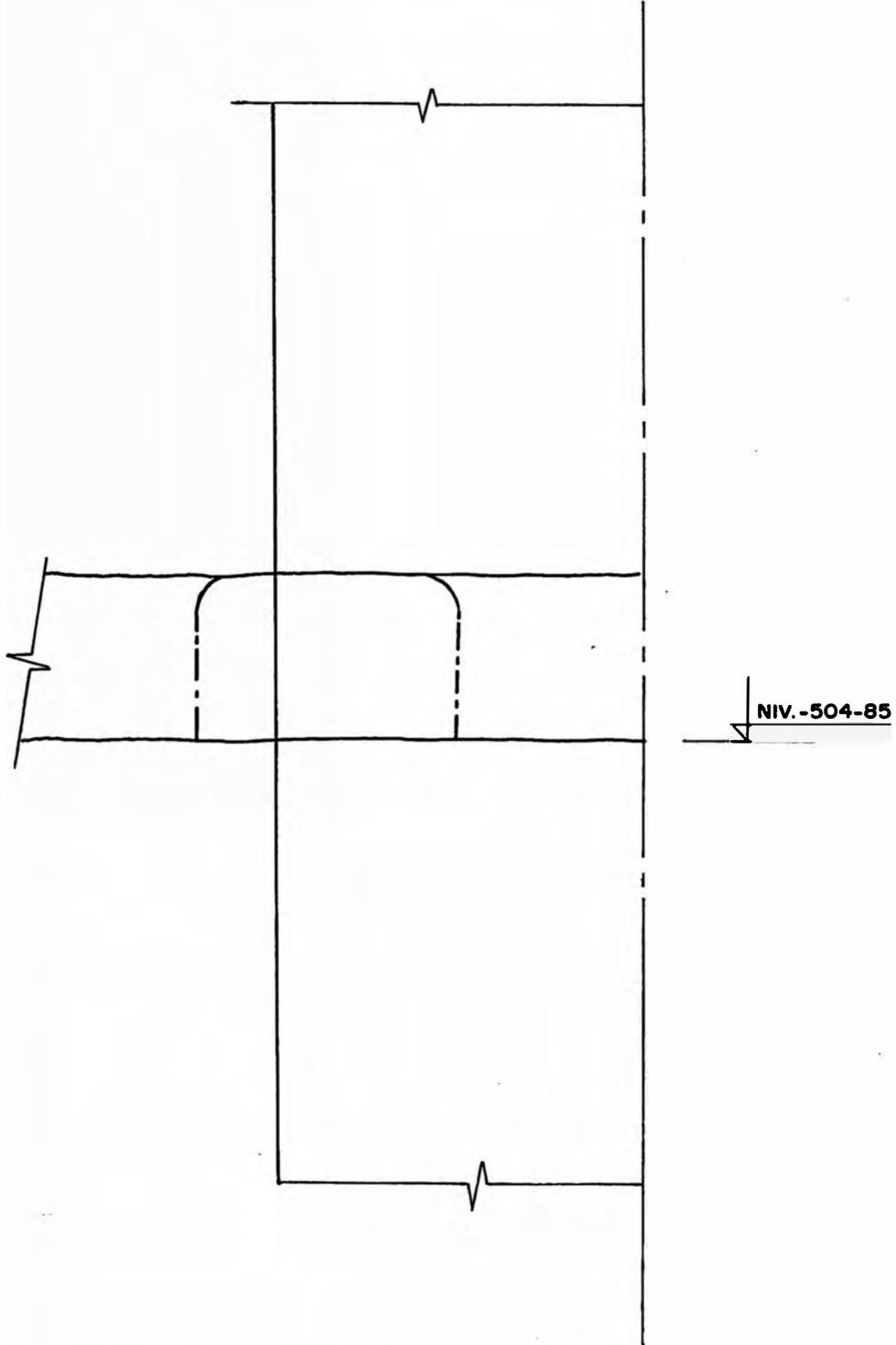
SECCION A

ESC.: 1/100



SECCION B
ESC.: 1/100

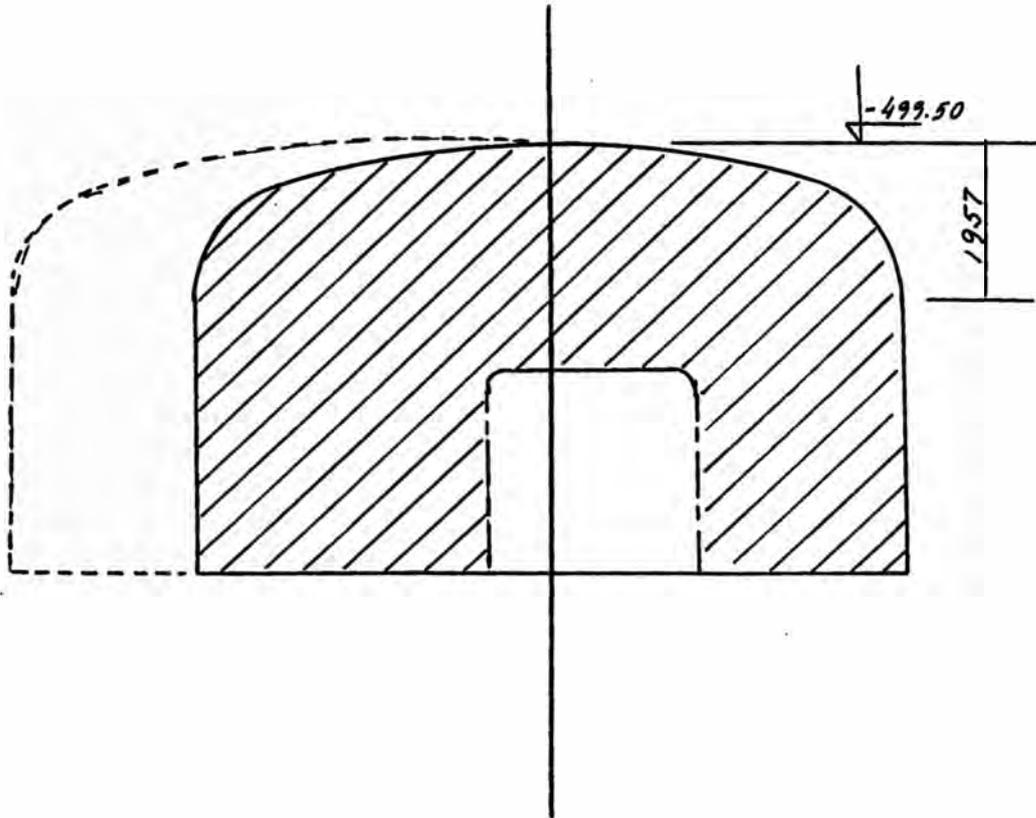
φ
BUZON



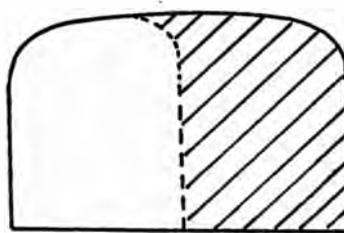
SECCION C

ESC: 1/100

φ
BUZON



SECCION F



VAR.

SECCION G
ESC.: 1/100

Generalidades.-

Se estandarizó el uso de Fanel periodo corto y la totalidad de disparos se llevó a cabo mediante la técnica del Recorte.

Para el carguío de taladros perimetrales, primero se coloca el cebo respectivo, luego un cartucho de dinamita (7/8" * 7") conectado a una línea de cordón detonante (3P ó 5P) de longitud igual al taladro, posteriormente se coloca tacos de carrizo y cartuchos alternadamente según sea la necesidad del taladro, finalmente un taco de arcilla húmeda.

Una vez detonado el cebo, iniciará al cartucho inmediato y éste a su vez al cordón detonante que instantáneamente iniciará al resto de cartuchos. Es conveniente señalar que los cartuchos no deben ser atacados.

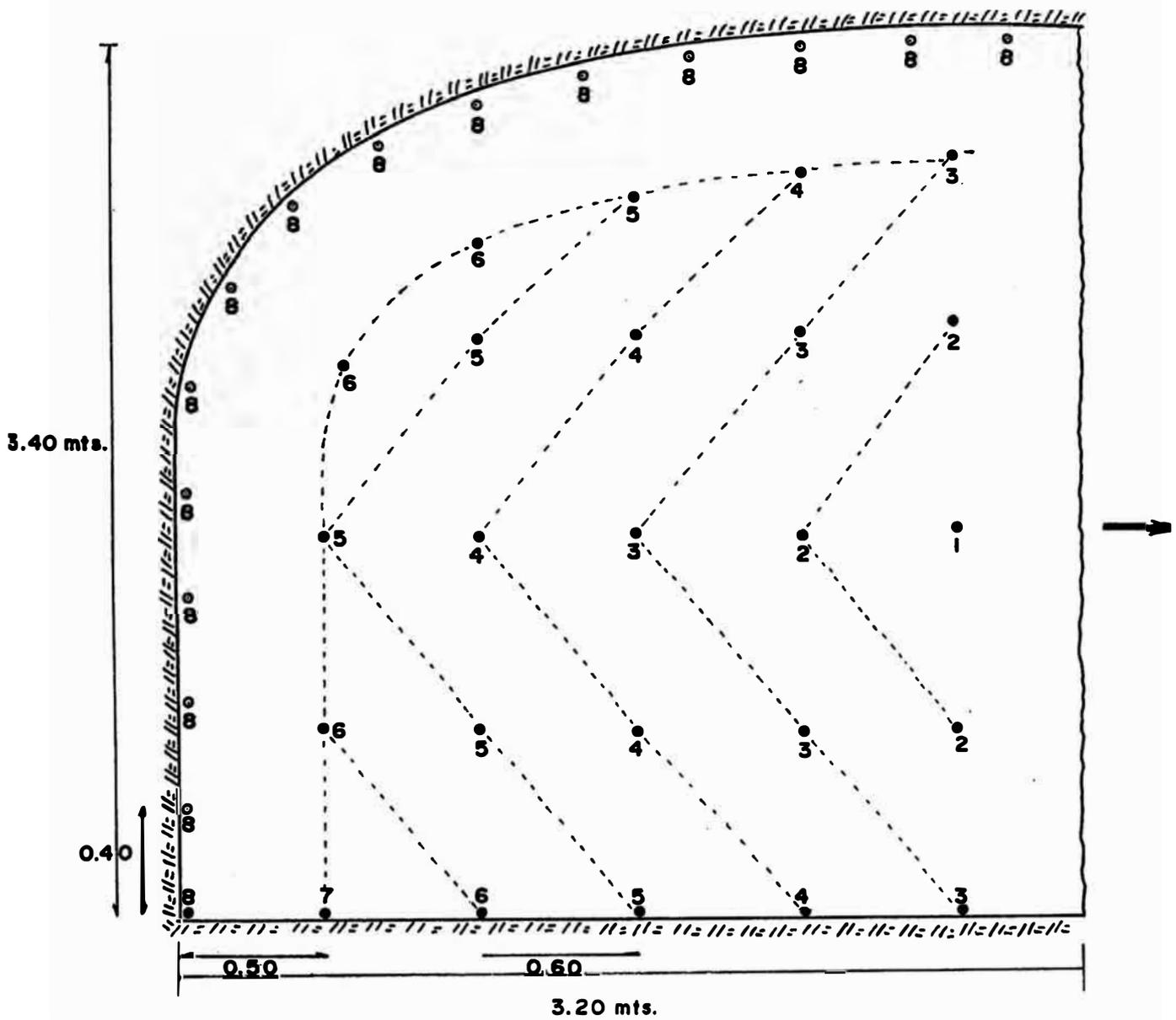
Para la perforación con perforadoras manuales la posición del perforista deberá ser cómoda, para lograr el paralelismo requerido en los taladros perimetrales, para ellos fué necesario instalar andamios de metal, según la altura de perforación. Este trabajo fué realizado en un periodo de 75 días con resultados satisfactorios.

Desquinche aplicando Recorte

Formado la cara libre en la parte central de la Cámara, procedimos a realizar los desquinches, manteniendo denso la perforación perimetral para lograr cortes según el diseño original.

La secuencia de voladura consiste en disparar primero los taladros de voladura principal, luego los taladros perimetrales, para tal fin se utilizó el Fanel periodo corto.

DESQUINCHE APLICANDO RECORTE



PARAMETROS DE OPERACION

a. Parámetros de Perforación

Tipo de roca	:	Calcita cuarcificada
Dureza de roca	:	Duro
Diámetro de perforación (pulg)	:	1 1/2
Longitud de taladro (pies)	:	8
Sección (mts)	:	10.5
Volúmen (mt ³)	:	25
N° taladros (Voladura principal)	:	25
N° taladros (Recorte)	:	14

b. Insumos de Voladura

Dinamita Semexsa 60%
 Dinamita Exadit 65%
 Fanel (Periodo corto)
 Cordón detonante 3P

c. Consumo de Explosivos

	N°tal	N°cart/tal	kg/cart	kg/disp.
Voladura Principal	25	8	0.115	23.00
Voladura contorno	14	1	0.115	1.51
	14	6	0.078	6.55
				31.16

Densidad de carga (kg/m /m³): 1.25

d. Costo de Voladura

	Unid.	Consumo	Cost.Unit.	COSTO
Dinamita	kg	31.16	1.48	46.12
Fanel	pza	39.00	2.00	78.00
Cord. det. 3P	mt	38.80	0.20	7.76
				US\$ 131.88
Costo unitario (US\$/m ³) :		5.28		

7.3 VOLADURAS CONTROLADAS EN TUNEL Proyecto Chavimochic

La ejecución de las voladuras en el túnel de Intercuencas del Proyecto Chavimochic que tiene como objetivo la irrigación de las tierras del Departamento de La Libertad, con aguas provenientes del Rio Santa, se realizó empleando la técnica del Recorte en forma permanente.

El túnel tiene una sección de 33 m², con longitud total de 10 km., como explosivos ad hoc para voladuras de recorte se emplearon Exsacorte y Maconita en forma permanente, esta aplicación se realizó con la finalidad de tener la mínima demanda de sostenimiento, pues toda la longitud del túnel debía llevar revestimiento de concreto.

Como accesorios de voladura se usó el Fanel (periodo corto y largo) con longitudes de manguera de 4.80 mts. y cordón detonante 5P.

Es importante señalar que antes de perforar el túnel, se marcaba la malla a perforar, para ello se usaron plantillas de madera, que permite ahorro considerable en el tiempo de perforación y mejor control de taladros.

PARAMETROS DE OPERACION

Características del Túnel

Tipo de roca : Diorita-Tonalita
Clase de terreno : Compacto, duro
Sección : 33 m²

Parámetros de Perforación

Longitud de perforación : 3.60 mts

Diámetro de perforación : 1 3/4 pulg.

Diámetro de taladros : 3 1/2 pulg.
no cargados

De acuerdo a tabla: E = 0.60 mts.
V = 0.80 mts.

Nro. taladros : (Contorno/espaciamiento)-1
----- (15.70/0.60)-1
25

Carga de fondo : 0.25 kg.
----- (1 cart. 1 1/2" * 8")

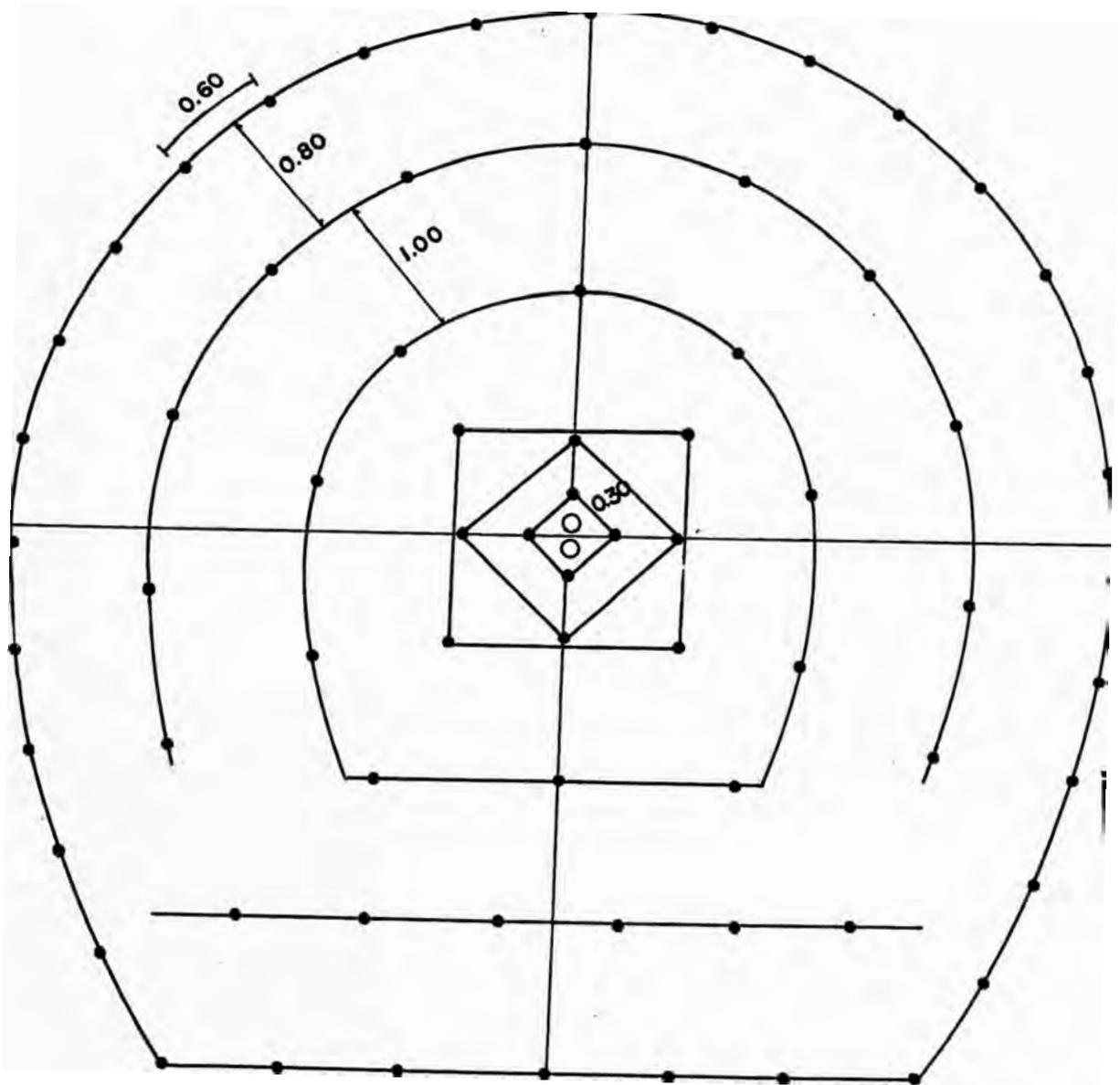
Columna de carga : Carga lineal(kg/mt) : 0.250
----- Carga de carga(kg) : 0.850
Peso de Exsacorte(kg) : 0.130
Nro.tubos/taladro : 6.000

Carga tot. por tal. perimetral : 1.045 kg.

Carga lineal por tal.perimetral : 0.290 kg/mt

DISTRIBUCION DE TALADROS Y CARGA RESPECTIVA				
	Nro.tal	Nro.Cant/tal	kg/tal	kg/disp.
Arranque	4	14	3.71	14.84
Ayuda de arranque	8	13	3.45	27.56
Ayudas	27	13	3.45	93.02
Arrastres	7	14	3.71	25.97
Perimetrales	25	1	0.27	6.63
		6 (*)	0.78	19.50
			total	187.51
(*) tubos de Maconita				
RESUMEN				
Longitud de perforación	mt.		3.60	
Diámetro de perforación	pulg.		1 3/4	
Número de taladros			71	
Avance prom. por disparo	mt.		3.40	
Volumen por disparo	mt3		112.20	
Carga total por disparo	kg.		187.50	
Perforación específica	mt/mt3		2.34	
Densidad de carga	kg/m3		1.67	

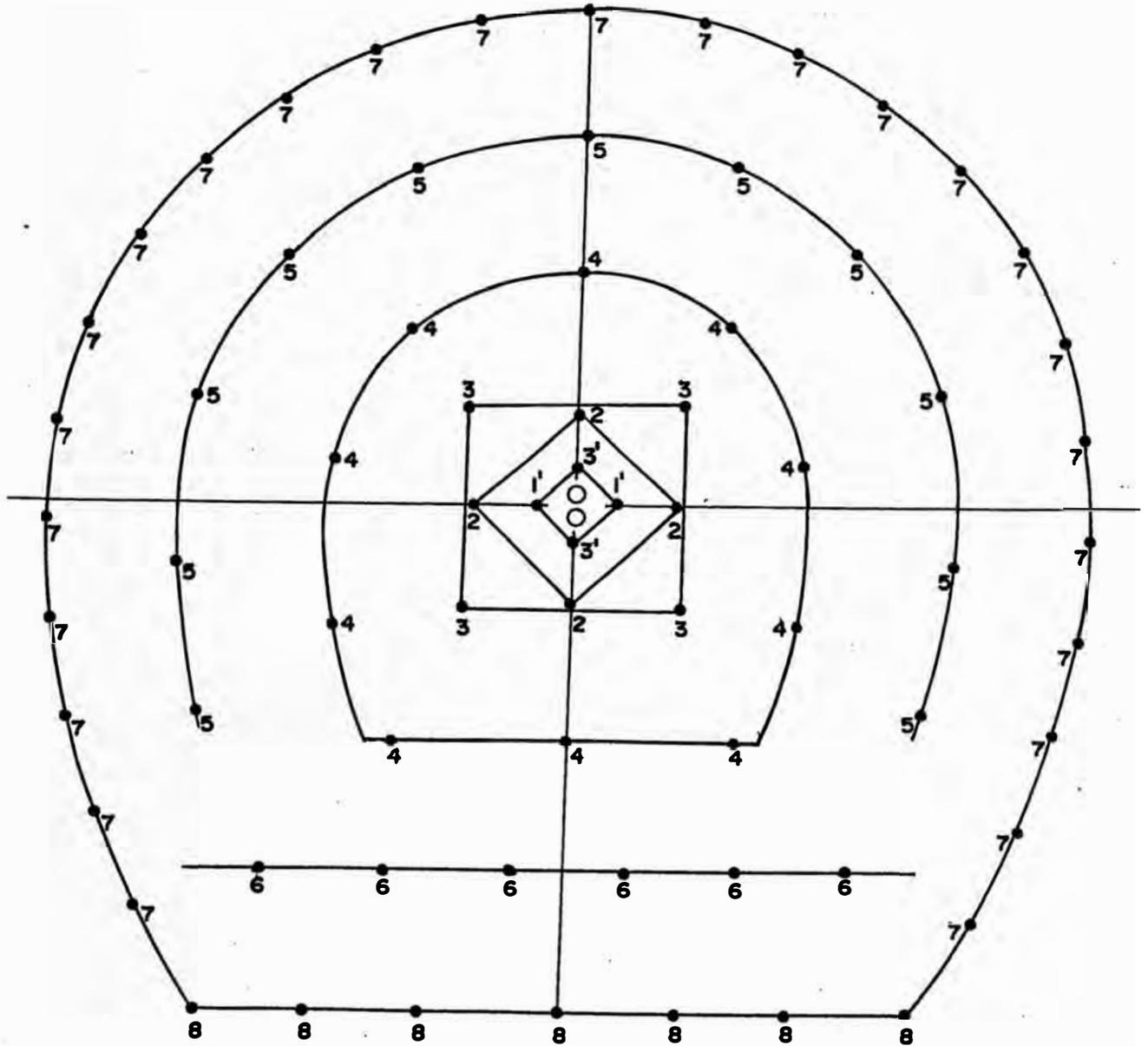
DISEÑO DE PERFORACION



0.75

ESCALA: 1/50

DISTRIBUCION DE RETARDOS



LEYENDA

1', 3' FANEL PERIODO CORTO (ms)

2, 3... FANEL PERIODO LARGO (1/2 s)

CAPITULO VIII

ASPECTOS ECONOMICOS EN LA APLICACION DE VOLADURAS CONTROLADAS

VOLADURAS CONTROLADAS

COSTO DE VOLADURA EN TALADRO PERIMETRAL DE 12 PIES

Parámetros de Perforación

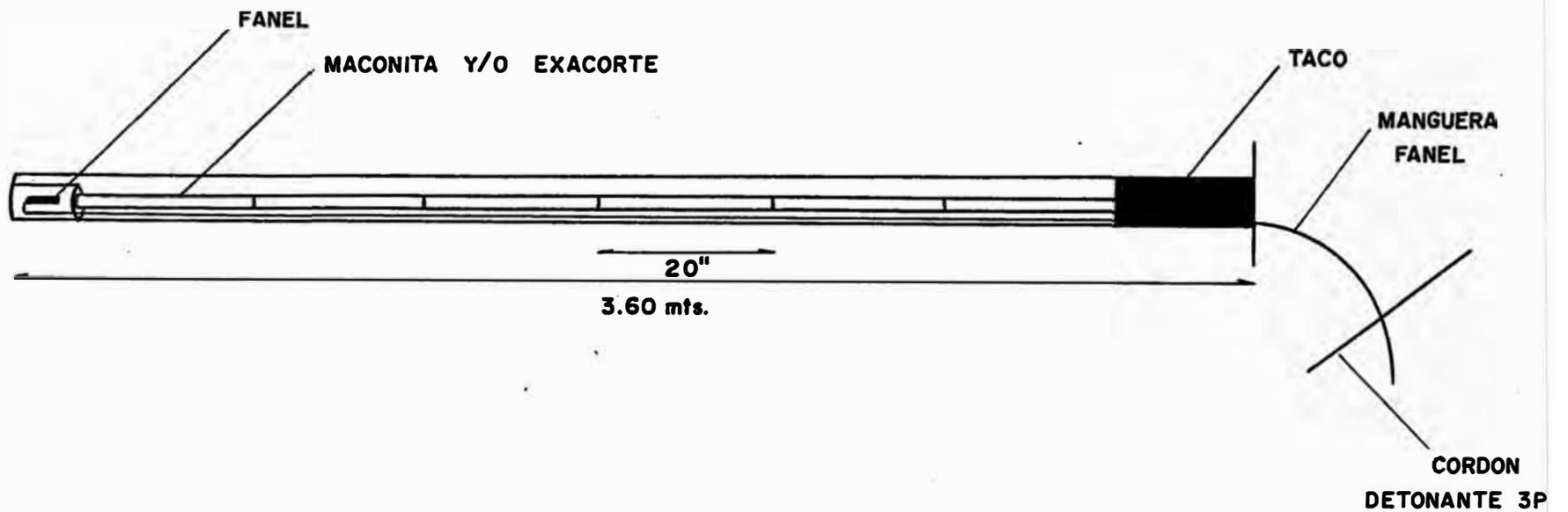
Longitud de Perforación : 12 pies

Diámetro de taladro : 1 3/4 pulg

a. USANDO MACONITA COMO CARGA PERIMETRAL

	UNIDAD	CANT.	COST. UNIT.	COSTO (US\$)
Fanel	pzas.	1	2	2.00
Dinamita 1 1/2" * 8"	cart.	1	0.39	0.39
Maconita	tubos	6	1.02	6.12
				US\$ 8.51

**TALADRO PARA VOLADURA CONTROLADA
EMPLEANDO MACONITA**



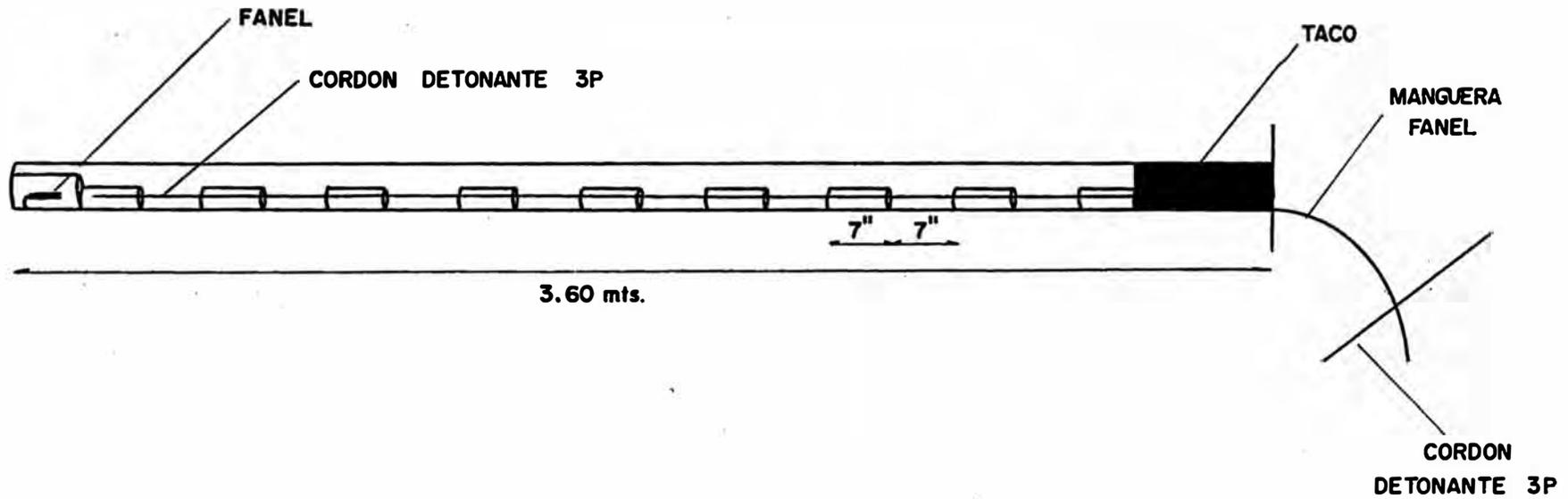
b. USANDO DINAMITA ESPACIAD. COMO CARGA PERIMETRA

	UNIDAD	CANT.	COST. UNIT.	COSTO (US\$)
Fanel	pzas.	1	2.00	2.00
Dinamita 1 1/2" *8"	cart.	1	0.39	0.39
Dinamita 7/8" *7"	cart.	9	0.12	1.08
Cordon detonante 5P	mts.	3.5	0.20	0.70
				US\$ 4.17

COSTO DE VOLAD. EN TALADRO CONVENCIONAL DE 12 PIES

	UNIDAD	CANT.	COST. UNIT.	COSTO (US\$)
Fanel	pzas.	1	2	2.00
Dinamita 1 1/2" *8"	cart.	12	0.39	4.68
				US\$ 6.68

TALADRO PARA VOLADURA CONTROLADA
EMPLEANDO DINAMITAS ESPACIADAS



**COMPARACION DE COSTOS DE VOLADURA
EN TUNEL DE 4 x 4 m.**

a. VOLADURA CONVENCIONAL

Sección	:	16.00 mts ²
Longitud taladro	:	3.60 mt
Volúmen	:	57.60 mt ³
P.esp.	:	3.20 tn/m ³
Toneladas	:	184.00
Dureza	:	media a dura

Parámetro de Perforación

	#tal	#cart/tal	kg/tal	kg/disp.
Arranque	4	13	3.38	13.52
Ay. Arranq.	8	11	2.86	22.88
Ayudas	8	11	2.86	22.88
Arrastres	6	13	3.38	20.28
Cuadradores	4	11	2.86	11.44
Alzas	4	11	2.86	11.44

				102.44

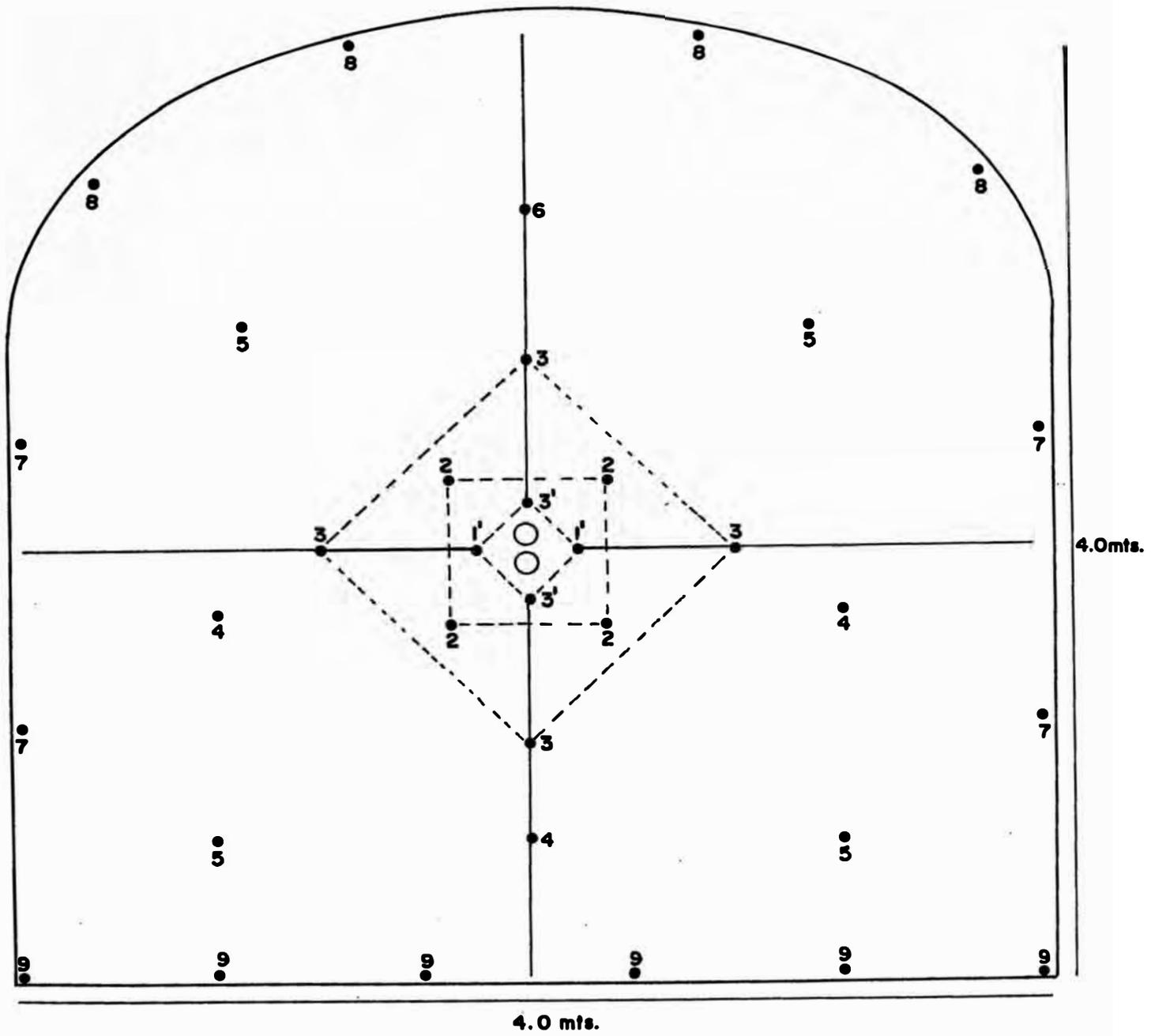
Costo de voladura por disparo

	Unid.	Consumo	Cost.L Unit.	COSTO
Dinamita	kg	102.44	1.48	151.61
Fanel	pza	34.00	2.00	68.00
Cord. det. 5P	mt	8.00	0.20	1.60

US\$ 221.2

Densidad de carga	:	1.77 kg/m ³
Factor de carga	:	0.55 kg/ton

VOLADURA CONVENCIONAL EN TUNEL 4 x 4 m²



ESC: 1/25

b. VOLADURA CONTROLADA EMPLEANDO MACONITA

Sección	:	16.00 mts ²
Longitud taladro	:	3.60 mt
Volúmen	:	57.60 mt ³
P.esp.	:	3.20 tn/m ³
Toneladas	:	184.00
Dureza	:	media a dura

Parámetros de Perforación

	#tal	#cart/tal	kg/tal	kg/disp.
Arranque	4	13	3.38	13.52
Ay. Arranq.	8	11	2.86	22.88
Ayudas	8	11	2.86	22.88
Arrastres	6	13	3.38	20.28
Contorno	17	1	0.26	4.42
	---	6 (*)	0.78	13.26
	43			
(*) tubos de maconita				83.98

Costo de voladura por disparo

	Unid.	Consumo	Cost. Unit.	COSTO
Dinamita	kg	83.98	1.48	124.29
Maconita	kg	13.26	7.90	104.75
Fanel	pza	43.00	2.00	86.00
Cord. det. 5P	mt	8.00	0.20	1.60
				US\$ 316.64
Densidad de carga		1.68 kg/m ³		
Factor de carga		0.52 kg/ton		

c. VOLADURA CONTROLADA EMPLEANDO DINAMITAS ESPACIADAS

Sección	16.00 mts ²
Longitud taladro	3.60 mt
Volúmen	57.60 mt ³
P.esp.	3.20 tn/m ³
Toneladas	184.00
Dureza	media a dura

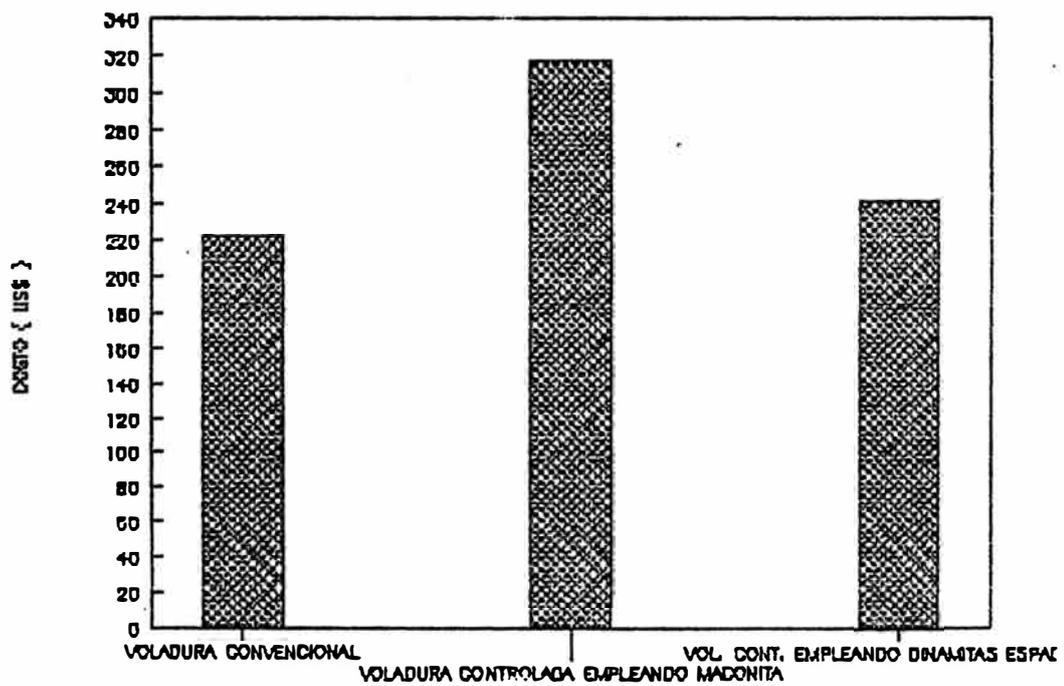
Parámetros de Perforación				
	#tal	#cart/tal	kg/tal	kg/disp.
Arranque	4	13	3.3	13.52
Ay.Arranq.	8	11	2.8	22.88
Ayudas	8	11	2.8	22.88
Arrastres	6	13	3.3	20.28
Contorno	17	1	0.2	4.42
	---	9	0.7	11.9
	43			95.88

Costo de voladura por disparo

	Unid.	Consumo	Cost. Unit.	COSTO
Dinamita	kg	95.88	1.48	141.9
Fanel	pza	43.00	2.00	86.0
Pentacord	mts	67.50	0.20	13.5
				US\$ 241.4
Densidad de carga		1.66 kg/m ³		
Factor de carga		0.52 kg/ton		

COMPARACION DE COSTOS DE VOLADURA EN TUNEL
TUNEL 4x4 mt2

	COSTO (US\$)
VOLADURA CONVENCIONAL	221.21
VOLADURA CONTROLADA EMPLEANDO MACONITA	316.64
VOL. CONT. EMPLEANDO DINAMITAS ESPACIADAS	241.40



**MINA JUANITA
RECUPERACION DE PILARES**

**COMPARACION DE ALTERNATIVAS
PARA PRECORTE EN LIMITE DE PILARES**

CASO A.

CASO B.

**PERFORACION DE TALADROS
EN ABANICO DESDE CRUCERO
PRINCIPAL (LONGITUDINAL
AL PILAR)**

**PERFORACION DE TALADROS
VERTICALES PARALELOS
DESDE CRUCERO (TRANS
VERSAL AL PILAR)**

ETAPA

DETALLE

ETAPA

DETALLE

PREPARACION

Ninguno

PREPARACION

6 mts. Crucero

PERFORACION

160 mts.

PERFORACION

132 mts.

VOLADURA

Cuidadosa distribución
de carga

VOLADURA

Excelente distribución
de carga

OBSERVACIONES

Sin costo de preparación
Mayor costo de perforación
Igual costo de voladura

OBSERVACIONES

Mayor costo de prepar.
Menor costo de perf.
Igual costo de vol.

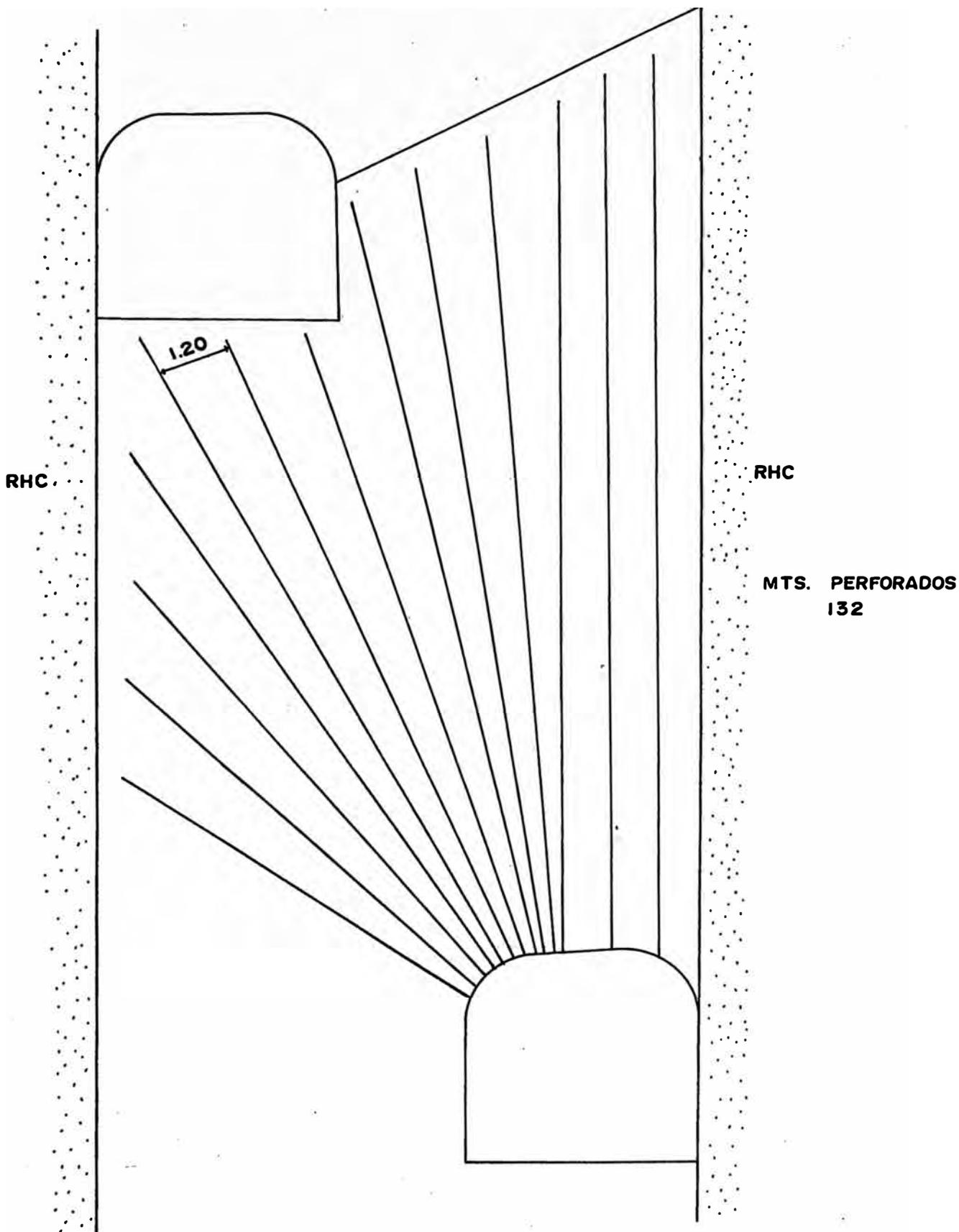
RESULTADOS

Menor costo total
Voladura aceptable
Menor Seguridad

RESULTADOS

Mayor costo total
Voladura excelente
Mayor Seguridad

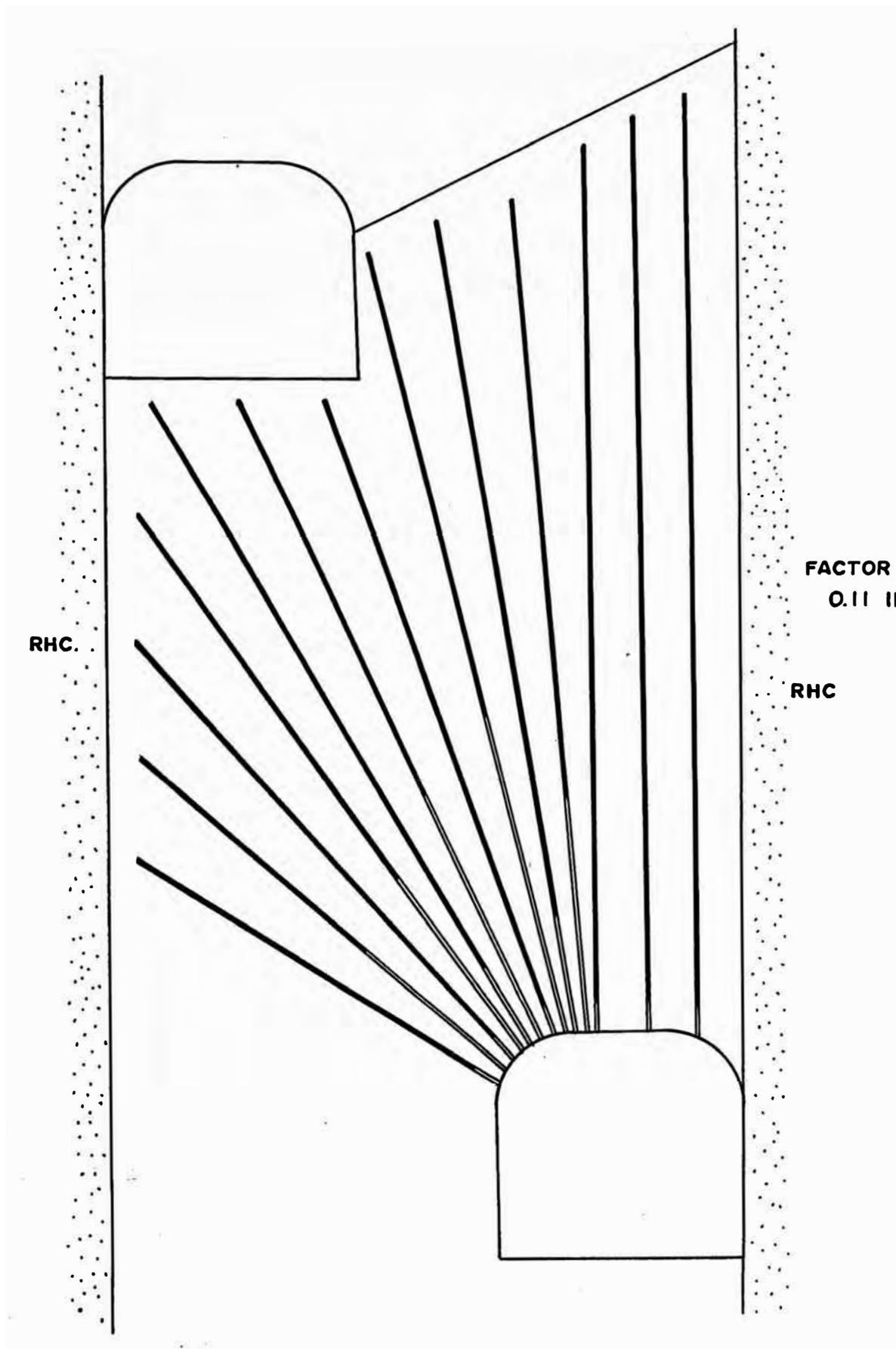
ALTERNATIVA ELEGIBLE



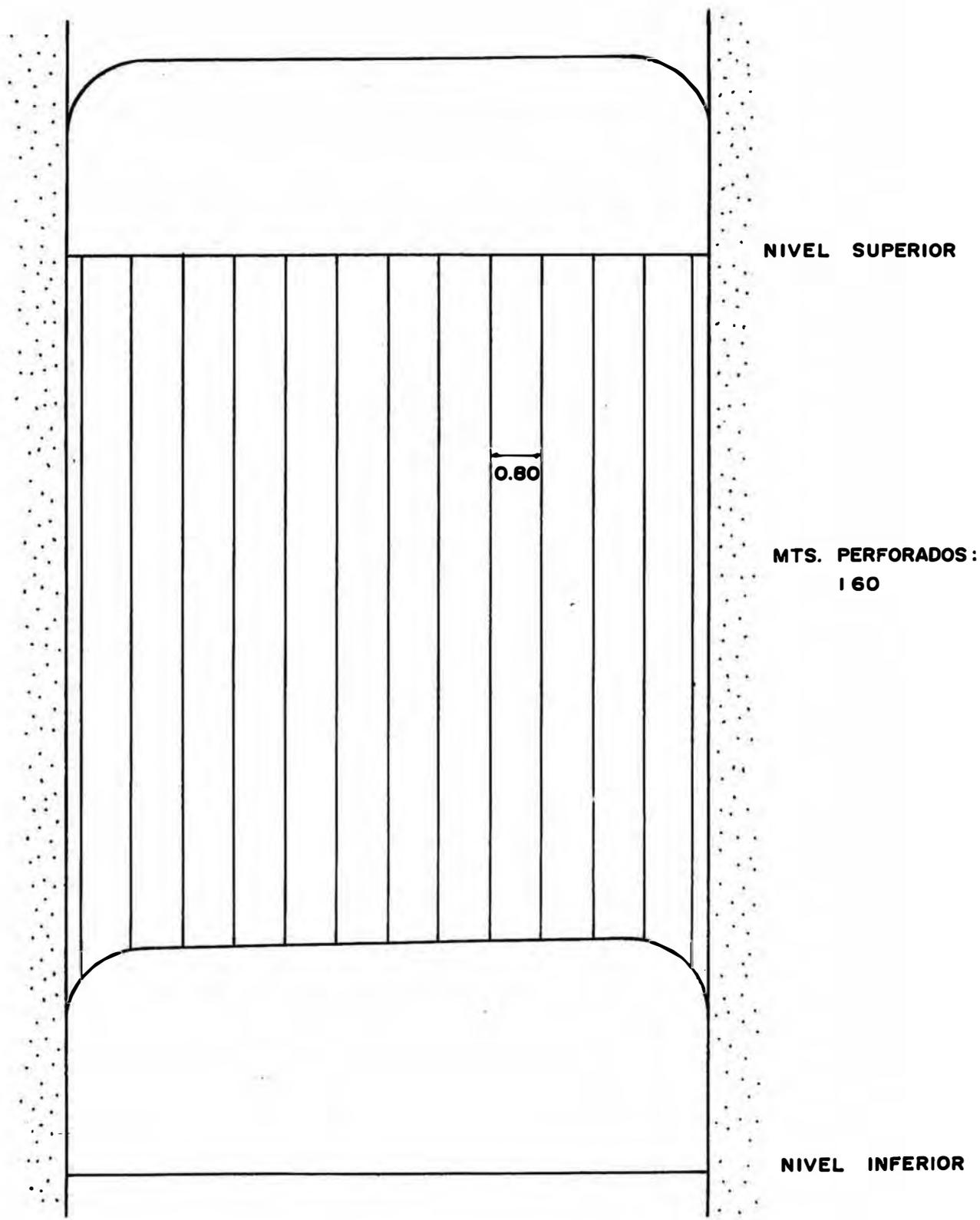
CASO a

PERFORACION PARA PRECORTE EN ABANICO

CARGUIO DE TALADROS CON DINAMITAS ESPACIADAS

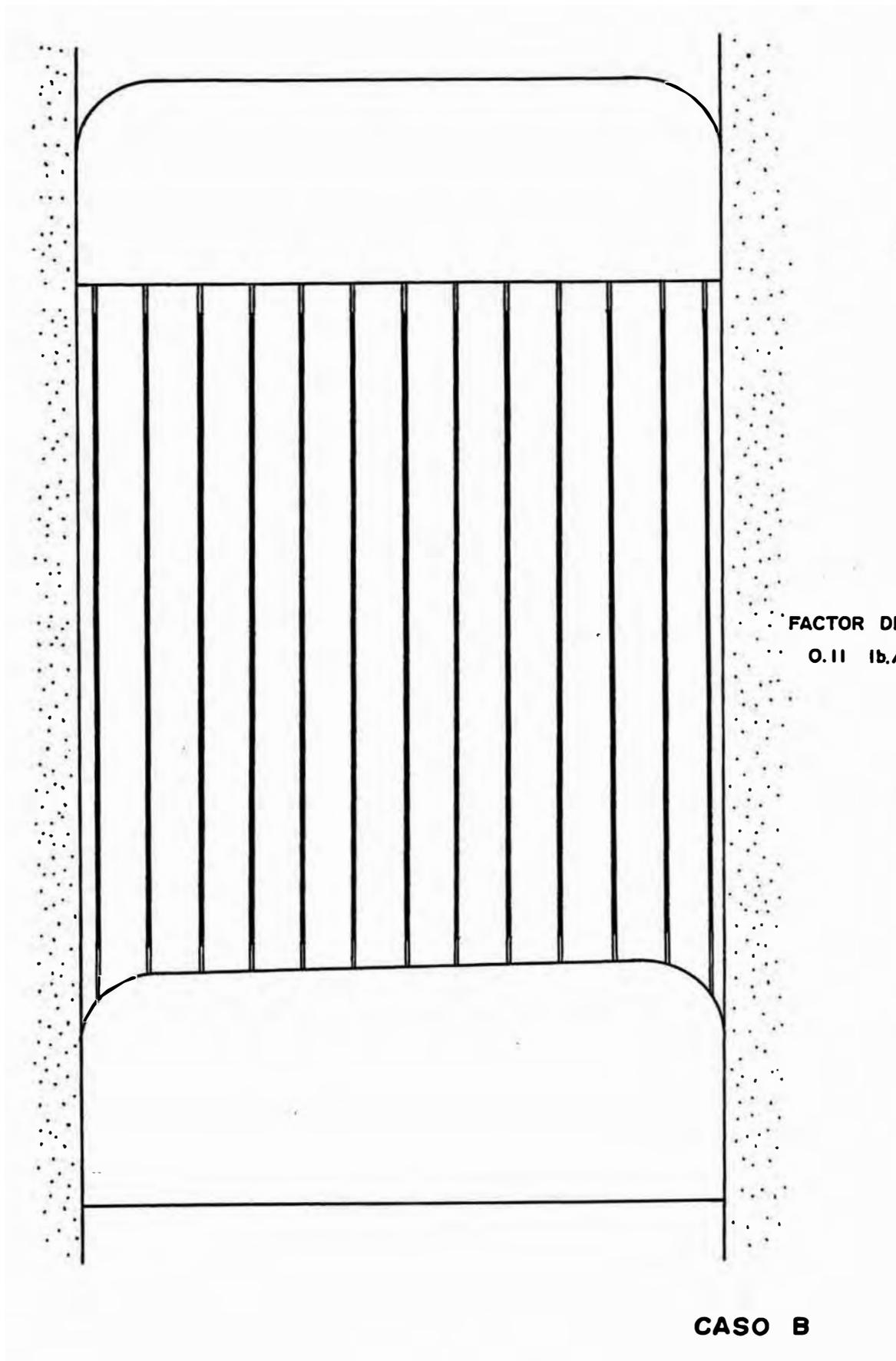


PERFORACION PARA PRECORTE EN TALADROS VERTICALES



CASO B

CARGUIO DE TALADROS CON DINAMITAS ESPACIADAS



CAPITULO IX

CONCLUSIONES

1. En caso de túneles el empleo de Voladuras Controladas demanda necesariamente un mayor número de taladros perimetrales con respecto a una voladura normal. Por consiguiente habrá un costo adicional de perforación y voladura, que relativamente es poco con respecto a una voladura normal, mas aún empleando dinamitas espaciadas, pero; si comparamos con el costo adicional que produce una voladura normal, sea este:

Sostenimiento (el mas importante)
Mayor tiempo de acarreo y transporte
Costo de equipos
Desatado
Ventilación, etc.

Tendremos sin lugar a dudas un gran ahorro en el costo de operación.

2. El éxito que se logra al aplicar la técnica de Voladuras Controladas, dependerá fundamentalmente de los siguientes parámetros:

Del buen estudio en la determinación del espaciamiento entre taladros y burden respectivo.

La carga de los explosivos en los taladros de contorno debe ser débil.

Los taladros de contorno deben ser disparados simultáneamente

La perforación de contorno deberá ser paralela y encontrarse en un mismo plano.

3. Las voladuras de Precorte suelen aplicarse en taladros de diámetros igual o mayor a 2", en los cuales se puede obtener un corte lo suficientemente amplio para amortiguar el efecto de la voladura principal. Para taladros de diámetros menores de 2" el uso del Recorte es casi estandarizado.
4. Las voladuras de Recorte generan menor vibración del terreno respecto a una voladura de Precorte, ya que las propiedades del explosivo se emplean tanto para el corte de la roca como para el volteo debido a la cara libre.
5. El carguío de taladros perimetrales en Voladuras Controladas con dinamitas espaciadas tiene un costo menor con respecto al carguío con tubos de Maconita, pero demanda mayor tiempo, en ambos casos se mantiene cargas lineales recomendadas.

CAPITULO X

RECOMENDACIONES

1. El uso de tacos de arcilla húmeda en los taladros perimetrales para Voladura Controlada es importante para evitar la expulsión de la carga ligera por la boca del taladro, además para permitir que el colchón de aire que queda entre la pared del taladro y el explosivo amortigue la onda de detonación y produzca el efecto de corte en la roca.

2. Con respecto a las voladuras en recuperación de pilares de Mina Juanita, debemos recomendar lo siguiente:

En términos generales para mejorar la fragmentación se debe pensar en reducir un poco el burden, a su vez burdenes mas reducidos nos permiten aumentar el espaciamiento entre taladros.

Cuando se utilizan retardos demasiados largos o cuando se disparan los taladros en forma independiente se necesita obligadamente reducir el espaciamiento, para lograr una voladura aceptable.

Los taladros que conforman los abanicos o anillos pueden ser inclinados o verticales y obligadamente deberán encontrarse todos en un mismo plano.

Como normalmente se trata de taladros largos, como regla general debe recordarse que podemos obtener un buen fracturamiento si usamos retardos cortos entre taladro y taladro pudiendo dar espaciamentos considerables y burdenes conservadores.

La perforación de los taladros no debe de manera alguna alcanzar el relleno hidráulico cementado, estos deberán quedar a una distancia aproximada de un metro del relleno, si por descuido se ha pasado alguno de ellos se deberá colocar un taco en el interior del taladro tratando de alcanzar la distancia recomendada de tal forma que el último metro de taladro quede sin explosivo. Esto es con el fin de no diluir el mineral disparado y evitar afectar la pared de relleno hidráulico cementado.

3. Para la iniciación de taladros en Voladuras Controladas se ha estandarizado el uso de fulminantes de retardo. Se recomienda el uso de fulminantes de retardos no eléctricos para voladuras de túneles y el uso de fulminantes electricos de retardos para voladuras de tajeos grandes. Las ventajas son las siguientes:

Se puede detonar un gran número de taladros ya sea simultáneamente o con una secuencia pre-determinada.

Permite el uso de una gran variedad de intervalos de retardos, ofreciendo de esta forma una gran flexibilidad en la elección.

La alta flexibilidad antes expuesta nos permite tener control sobre los siguientes puntos:

La fragmentación del material disparado.

Permite orientar el volteo del material disparado.

Posibilita voladuras grandes con un mínimo de vibración y ruido.

Permite minimizar el sobre fracturamiento.

CAPITULO IX

BIBLIOGRAFIA

MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS
E.I. Du Pont de Nemours and Company, INC.

TECNICA MODERNA DE VOLADURAS DE ROCAS
Langefors, Ulf

TECNICA SUECA PARA MINAS TUNELES Y
CARRETERAS
René Gustafsson

CURSO DE ACTUALIZACION TEORIA DE VOLADURAS
DE ROCAS
Dr. Carlos Aqreda - UNI 1987

MANUAL DE PERFORACION DE ROCAS ATLAS COPCO

OPTIMIZACION DE VOLADURAS MEDIANTE LA
UTILIZACION DE DETONADORES ELECTRICOS
SINCRONIZADOS
Unión Metalúrgica S.A.

ANALISIS TECNICO ECONOMICO COMPARATIVO DE
VOLADURAS CONVENCIONALES FRENTE A
VOLADURAS DE INICIACION NO ELECTRICO.

MANUAL DE ACCESORIOS PARA VOLADURAS
Fabrica de Mechas S.A.

MANUAL DE EXPLOSIVOS DINASOL

MANUAL DE EXPLOSIVOS EXSA.