

622.235 = 60

590-1

grandes voladuras*

CARLOS GASCUÑANA MARTI

de la Compañía General de Asfaltos y Portland Asland.

En octubre de 1954, con ocasión de la 1.ª Reunión de Directores y Técnicos de Fábricas de Cemento, tuve el honor de desarrollar desde esta misma tribuna la ponencia de «Explotación de Canteras». No podía más que esbozar un tema por sí sólo demasiado amplio, pero mi pretensión era la de poner de manifiesto la tendencia revolucionaria que se estaba llevando a la práctica en la mayoría de las canteras del extranjero, y que nosotros estábamos practicando con éxito indiscutible, pese a la serie de soluciones de fortuna que nos habíamos visto obligados a adoptar ante la imposibilidad de disponer de los medios que en otras partes tenían a mano.

De entonces a aquí, hemos seguido practicando sistemáticamente las grandes voladuras en el arranque de la piedra necesaria para la fabricación. Las modificaciones introducidas en esta técnica, de las que más adelante daré cuenta, así como de sus resultados, no justificarían en ningún caso el que retuviera vuestra atención, y el dirigirme a vosotros no es más que una tentativa de discusión de las prácticas que otras explotaciones hayan adoptado, al objeto de que, con

las aportaciones de todos, podamos aprender y mejorar nuestros métodos de trabajo.

A estas alturas se hallan fuera de toda discusión las ventajas de las grandes voladuras, con barrenos de gran diámetro, sobre el anárquico sistema de los pequeños barrenos, con orden de sucesión en los disparos completamente incontrolado.

La tendencia a disminuir el seísmo provocado por la explosión, principalmente cuando las voladuras se realizan en las proximidades de zonas edificadas, obligó a reducir las cantidades de explosivo que se hacían explotar simultáneamente, hasta límites incompatibles con una explotación en gran escala. La necesidad de conseguir ambos resultados, simultáneamente, condujo a las voladuras con retardo de milésimas de segundo, en las que la práctica demostró no sólo lo previsto por la teoría, sino que proporcionó ventajas en las que nadie había pensado. Poco más de diez años hace que tal práctica se introdujo, y se hallan, asimismo, fuera de toda discusión las ventajas del micro-retardo sobre las voladuras simultáneas.

¿Qué micro-retardo debe darse y en qué orden de sucesión, se han de hacer explotar los barrenos cuando éstos se encuentren dis-

53

(*) Ponencia presentada en los II Coloquios de Directores y Técnicos de Fábricas de Cemento. I. T. C. C., marzo 1957.

puestos en filas múltiples? Son estas preguntas imposibles de contestar generalizando; y por ser siempre las voladuras potencialmente peligrosas, así como por la masa de dinero invertida en voladuras de importancia, nadie debe ir a copiar lo que otros hagan, aun cuando en las canteras existan analogías en sus características físicas. Siempre será prudente y económico requerir la opinión de persona avezada en estas prácticas.

Se halla fuera de duda, que el temblor de tierra provocado por una explosión, tanto en intensidad como en amplitud, se produce a expensas de parte de la energía del explosivo que se ha disipado, sin que realizase el efecto útil de arrancar la piedra. El seísmo es siempre un dato elocuentísimo sobre la eficiencia de la voladura realizada; y el registro del mismo, por medio de un sismógrafo, es un dato de la mayor importancia para establecer el micro-retardo más conveniente para una explotación, con una separación determinada entre barrenos y con un explosivo de velocidad de detonación conocida.

En España, donde la práctica de las grandes voladuras es aún muy limitada, no existen sociedades dedicadas a efectuar sistemáticamente tales mediciones.

El micro-retardo óptimo, para una determinada formación geológica, es función de la velocidad de detonación del explosivo empleado y de la separación entre barrenos. En formaciones sueltas o muy fisuradas, a igualdad de las demás variables, el micro-retardo deberá ser reducido, a fin de evitar la disipación de la energía del explosivo de un barreno antes de que actúe la del siguiente. Por el contrario, en formaciones compactas y tenaces el microretardo podrá aumentarse

para permitir el desarrollo completo de las tensiones de tracción en las masas de roca adyacentes al barreno contiguo.

Acabamos de decir, que el micro-retardo óptimo es una de tres variables íntimamente ligadas entre sí. Veamos cómo vamos eliminando sucesivamente dos de ellas, que a su vez dependen de otra serie de circunstancias, quedando sólo a actuar sobre la tercera variable, que, a juicio nuestro, debe ser la magnitud del micro-retardo.

En ningún sitio, y menos en España, es demasiado amplia la gama de explosivos entre los que pueda escogerse. Consideraciones de tipo económico, facilidad de obtención, sensibilidad y potencia, nos llevan rápidamente a efectuar una selección del explosivo más adecuado para cada caso. En función de su densidad y del diámetro de los barrenos, fijamos la separación de éstos en forma que la longitud del atacamiento sea ligeramente superior a la separación; la longitud del atacamiento es la diferencia entre la profundidad del barreno y la altura de carga, y ésta, para un diámetro y explosivo determinados, es proporcional al cuadrado de la separación entre barrenos.

Si el problema se plantea antes de adquirir las perforadoras necesarias, deberá estudiarse cuál es el diámetro más conveniente de las barrenas, a la vista de la altura del banco y de las características mecánicas de la roca a perforar.

De cualquier forma, la separación entre barrenos y las constantes del explosivo a emplear quedan ya fijadas, y resulta fácil actuar sobre el micro-retardo hasta lograr dar a éste su valor más conveniente.

Analícemos someramente los procedimien-

tos utilizables para lograr el desfase entre las explosiones sucesivas, sin que entremos en su descripción, que suponemos de todos conocida. Cuando el desfase se obtiene por medio de detonadores eléctricos de microrretardo, no hay posibilidad de actuar sobre éste, que es fijo entre cada detonador y el que le sigue. Normalmente el desfase es de 25 milésimas de segundo en los primeros números, pero, a medida que se avanza en la escala, los desfases aumentan en magnitud, llegando en algunas marcas a desfases de 100 milésimas para los valores extremos de la serie. Esto puede verse en la tabla siguiente, en la que se reseñan los tipos de esta clase de detonadores, correspondientes a tres de las más importantes marcas americanas y una alemana:

DESFASE EN MILESIMAS DE SEGUNDO DE DETONADORES DE MICRO-RETARDO			
DU PONT	HERCULES	ATLAS	TROISDORF
25	25	0	0
50	50	8	30
75	75	25	60
100	100	50	90
125	135	75	120
150	170	100	150
175	205	125	180
200	240	150	210
250	280	175	240
300	320	200	270
350	360	250	300
400	400	300	330
450		350	
500		400	
600		450	
700		500	
800		550	
900			
1.000			

Con este sistema, los detonadores eléctricos se agrupan, bien en serie o en paralelo. El encendido de los filamentos se efectúa,

por consiguiente, simultáneamente, y es el elemento retardador de cada detonador el que hace actuar a éste en el momento preciso. La agrupación en serie tiene la ventaja de simplificar el circuito eléctrico de la pega, y al mismo tiempo evitar la posibilidad de fallo de un barreno aislado por deficiencias en su circuito eléctrico. Caso de presentarse éstas, es toda la voladura la que no actúa y puede procederse a una revisión de las conexiones y detonadores.

Puede obtenerse el desfase iniciando la pega con un solo detonador, eléctrico u ordinario, e intercalando MS Connectors, entre barreno y barreno en los circuitos de la mecha detonante. Como los MS Connectors van instalados en serie en la línea principal de la mecha detonante, sus retardos son acumulativos, y el desfase entre un barreno y el siguiente es siempre constante. Los MS Connectors se fabrican en dos tipos de retardo, de 17 y 9 milésimas de segundo. El número de barrenos que se pueden dar con este sistema, en forma progresiva, es prácticamente infinito.

La principal ventaja de este método, estriba en la sencillez y rapidez en la preparación de los circuitos de pega y en que la explosión se inicia por un solo detonador, que se coloca en el momento final, inmediatamente antes de dar la pega, con lo que se evitan los riesgos de una explosión prematura por accidente. Con los MS Connectors no existe el riesgo que pueden crear las corrientes parásitas o atmosféricas con los detonadores eléctricos.

Por último, puede obtenerse el microrretardo provocándolo en el cierre de los circuitos eléctricos que han de alimentar los detonadores eléctricos instantáneos. Ello puede lograrse por un dispositivo electromecánico,

que es el que nosotros venimos utilizando desde hace varios años, o por un dispositivo electrónico, que hemos ensayado con éxito en una fábrica electrónica de esta capital. Los circuitos de disparo son mucho más complicados que con cualquiera de los métodos anteriores, si bien se recupera todo el material eléctrico empleado en la voladura. La gran ventaja de este sistema, estriba en la posibilidad de variar los micro-retardos por un simple cambio de engranajes en el sistema electromecánico, y por variaciones de las constantes de capacidad e inducción en el sistema electrónico.

La adopción del sistema electromecánico empleado por nosotros, nos ha permitido pasar con facilidad del retardo de 25 milésimas al de 15 milésimas, con el que estamos trabajando en la actualidad con resultados asombrosos por lo que respecta a fragmentación. El taqueo ha sido prácticamente suprimido. De ello da idea el que en él estamos consumiendo menos de 2 g/t de piedra arrancada.

El consumo de explosivo ha descendido notablemente, lográndose la economía, no por una disminución del factor de explosivo, sino por la mejora de la fragmentación. Hemos dado muchas voladuras en que el consumo total de explosivo (pega principal más taqueo) por tonelada de piedra, ha sido inferior a 80 g/t. Poseemos estadísticas de 106 canteras americanas, y en todas ellas el consumo de explosivo es superior al logrado por nosotros.

Las palas excavadoras, al disminuir hasta casi desaparecer los grandes bloques de piedra que tienen que apartar para proceder a su taqueo ulterior, han visto sus rendimientos considerablemente mejorados. Con palas de 1,5 yardas cúbicas (1,15 m³), estamos ob-

teniendo rendimientos horarios de 150 toneladas por pala. El trabajo de la machacadora primaria se ha visto considerablemente mejorado, al no llegar a ella trozos que no podía triturar, por su tamaño, dando lugar a atascos y pérdidas de rendimiento.

Otro punto muy debatido en la técnica de las voladuras, es el sitio donde debe iniciarse la explosión dentro de cada barreno. El hecho de que ello siga debatiéndose, es prueba inequívoca de que los sistemas en discusión tienen sus pros y sus contras.

Desde el punto de vista exclusivo de mejorar el trabajo del explosivo, la explosión debe iniciarse en el fondo del barreno, que es donde los gases, producto de la explosión, tienen su máximo confinamiento y donde han de realizar un trabajo de arranque más severo. La rotura del perfil de la cantera tiene lugar de abajo hacia arriba, y los surtidores quedan muy disminuidos e, incluso, totalmente eliminados.

Si la iniciación de la explosión se realiza en la parte superior del barreno, la rotura

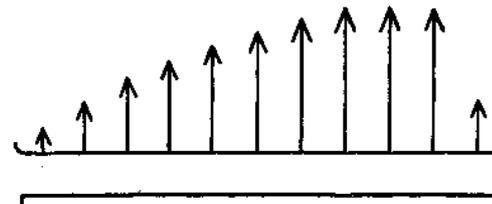


Fig. 1.—Iniciación de la explosión en el fondo del barreno.

del perfil de la cantera se efectúa desde arriba hacia abajo, dando lugar a surtidores muy acusados.

Las figuras 1 y 2 ilustran elocuentemente lo que acabamos de decir.

Este aspecto de los surtidores nos ha venido preocupando de siempre, y hacia su supresión hemos dirigido nuestros cuidados, sin que hayamos conseguido eliminar aquellos. Es muy fácil presenciar una voladura sin apreciar los surtidores a que da lugar,

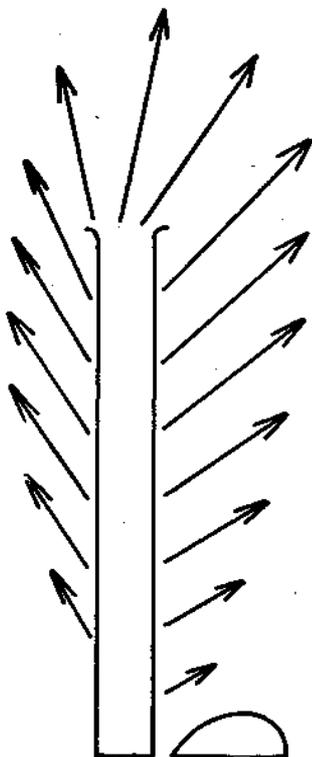


Fig. 2. — Iniciación de la explosión en la parte superior del barreno.

sobre todo si, como nos sucede a nosotros, estamos pendientes de la forma en que la piedra despega de su formación. La acción es tan rápida que pueden pasar desapercibidos, pero no por ello se han dejado de producir, como lo acusan el sinnúmero de fotografías y películas que se han sacado en cuantas voladuras hemos realizado. Indudablemente, los surtidores representan una pérdida de energía del explosivo, imposible de evaluar, pero evidente, cuya eliminación perseguimos y seguimos persiguiendo.

Para iniciar la explosión en el fondo del barreno pueden seguirse dos caminos: bien por detonador eléctrico, sin el empleo de la mecha detonante, o bien con ésta, provocando la explosión en la superficie.

Cebar el cartucho de fondo con un detonador eléctrico es práctica que algunos operadores realizan, pero que encontramos extraordinariamente peligrosa. Es peligrosa durante la carga, por la posibilidad de desprendimiento del cartucho en que está colocado el detonador durante su descenso, dando lugar a la explosión, que incluso puede ser provocada por la caída de alguno de los restantes cartuchos de la carga. No hay que olvidar que pesos de cartuchos de 12,5 kg son normales, y el impacto que tal peso produce al desprenderse desde una altura de 15 ó 20 m es sobradamente importante para que pueda provocarse la explosión.

No es preciso destacar los riesgos que entraña un barreno fallado en cuyo fondo existe un detonador. Resueltamente nos pronunciamos en contra de este sistema de cebar los barrenos.

Puede iniciarse la explosión en el fondo del barreno por medio de mechas detonantes, haciendo que el cartucho del fondo que actúa de cebo y al cual va ligada la mecha detonante, sea de un explosivo que explote bajo la acción de la onda creada por la explosión de la mecha detonante, mientras que los cartuchos que componen el resto de la carga situada encima del cartucho cebo, sólo exploten bajo la acción de la onda explosiva creada por el cartucho de fondo, pero no por la creada por la mecha detonante. Es decir, la carga explosiva situada sobre el cartucho de fondo debe estar fuertemente insensibilizada.

Nosotros hemos visto operar en esta forma en algunas canteras de EE. UU., pero no hemos conseguido se nos fabrique en España explosivo insensibilizado.

No obstante iniciarse la explosión en el fondo del barreno, en cuantas voladuras hemos presenciado en EE. UU. hemos observado surtidores muy acusados. Es también cierto que allí, donde todo se sacrifica a la rapidez, los atacamientos se llevan a cabo de forma muy deficiente. Algunas canteras no realizan atacamientos, e incluso en otras se hace llegar el explosivo hasta la boca del barreno.

Por medio de las voladuras con microrretardo es factible actuar sobre la forma y extensión que haya de tener la fila de piedra arrancada. Como regla general, hemos podido observar que el despegue de la piedra arrancada ha aumentado al disminuir el microrretardo.

Hemos observado asimismo que en voladuras de retardo progresivo de una sola fila, como indica la figura 3, la fragmenta-

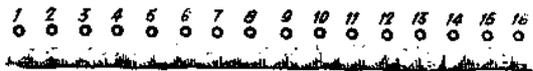


Fig. 3.—Disparo progresivo de los barrenos en voladuras de una sola fila.

ción es peor que cuando son varias filas las explotadas. Ello es perfectamente lógico, ya que cada voladura provoca fisuramientos en el respaldo de la formación, el cual será la cara libre de la voladura siguiente. Estas partes fisuradas son despegadas con deficiente fragmentación en la voladura siguiente, y si ésta es de una sola fila constituyen un alto porcentaje de la piedra arrancada.

Por otra parte, en voladuras de varias filas las masas de roca que se encuentran entre filas son sometidas a esfuerzos de compresión, provocando una gran mejora de la fragmentación.

En vez de seguir el sistema de voladura progresiva, que es el que siempre hemos utilizado nosotros, puede llevarse a cabo el método alternado, como indica la figura 4. Nosotros no lo hemos practicado nunca, pero sus defensores aducen que propor-



Fig. 4.—Sucesión alternada de los tiros.

ciona una excelente fragmentación, disminuyendo la cantidad de finos obtenidos. Esto es en extremo interesante cuando se trata de arrancar carbón, e incluso mineral de hierro, en explotaciones a cielo abierto, pero resulta perjudicial cuando la roca arrancada ha de ser ulteriormente pulverizada, como sucede en la fabricación de cementos.

La figura 5 ilustra la forma de actuar el explosivo con el sistema alternado, el cual es recomendado para formaciones muy compactas y duras. El retardo entre los barrenos deberá tantearse en forma que los barrenos 2 actúen cuando los 1 hayan generado el máximo de tensiones en la roca, antes de llegar a romperla. Indudablemente, este sistema da lugar a un seísmo de mucha mayor amplitud que la voladura progresiva.

Cuando se trata de voladuras de varias filas, puede seguirse igualmente el sistema progresivo o el alternado; pero al estudiar el orden de sucesión de los disparos ha de tenerse presente que la explosión de cada ba-

ma que indica la figura 7, con lo que la pila resultante será más extendida y de menor altura. Ello es importante cuando la altura del frente es grande y puede resultar una pila de excesiva altura, que siempre es

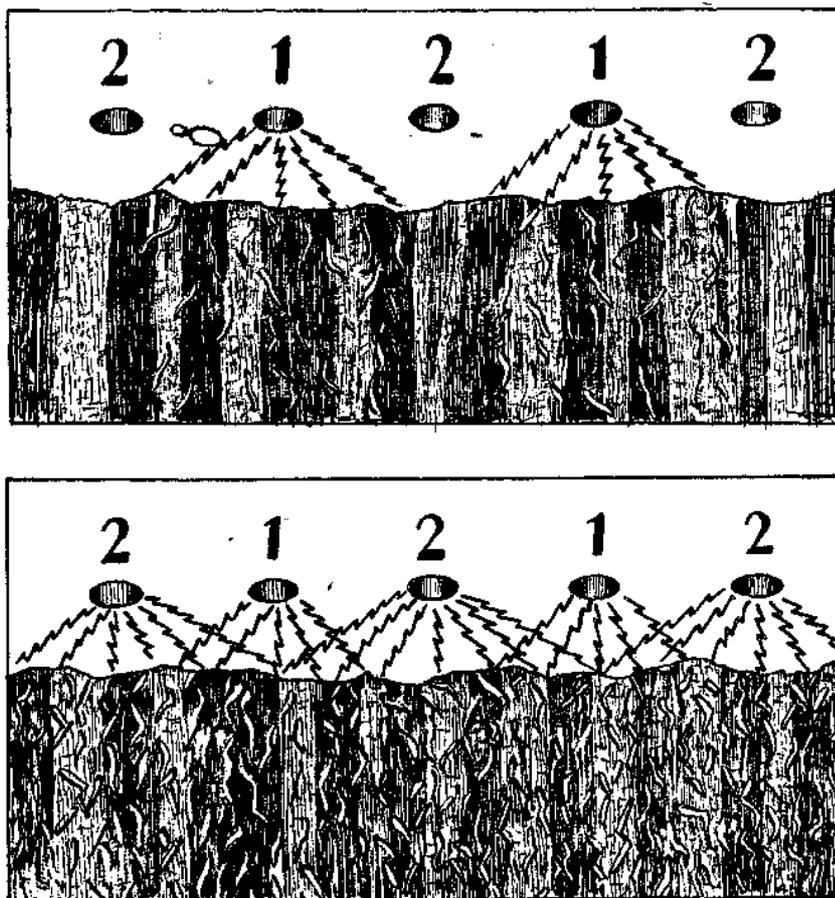


Fig. 5.—Forma de actuar las tensiones en la sucesión alternada de los tiros.

rreno o grupo de barrenos que exploten simultáneamente, deberá proporcionar salida al barreno o barrenos que exploten a continuación, como se indica en la figura 6. La sucesión de los disparos puede lograrse por cualquiera de los tres métodos anteriormente indicados.

La misma disposición de barrenos de la figura 6 puede hacerse explotar en la for-

peligrosa para las personas y para el equipo mecánico.

Las figuras 8 y 9 indican tres disposiciones de voladura de varias filas con sistemas mixtos.

Las figuras 10, 11, 12 y 13 muestran otros tantos esquemas de conexión para micro-retardos, logrados con MS Connectors.

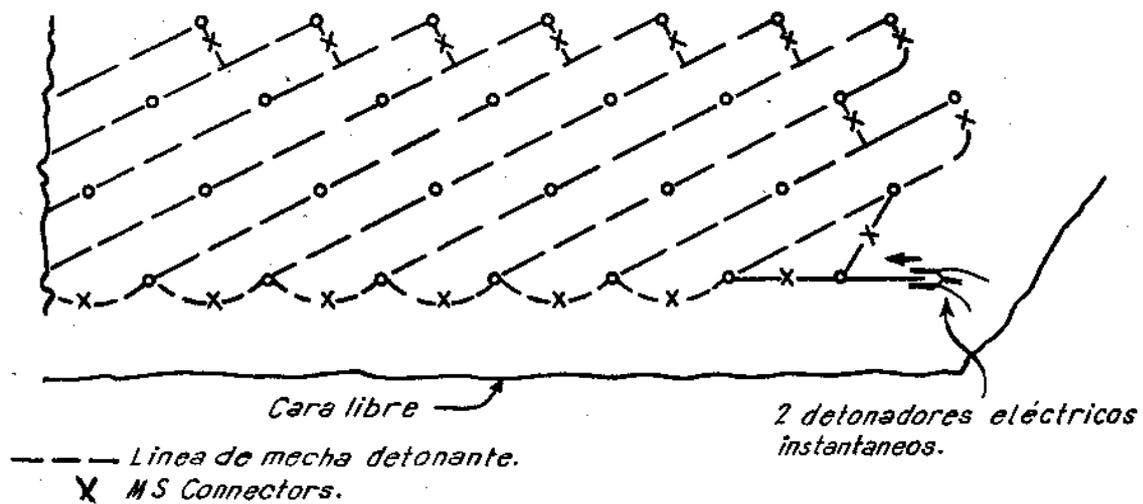


Fig. 11.—Voladura de varias filas con retardos acumulativos obtenidos por medio de MS. Connectors.

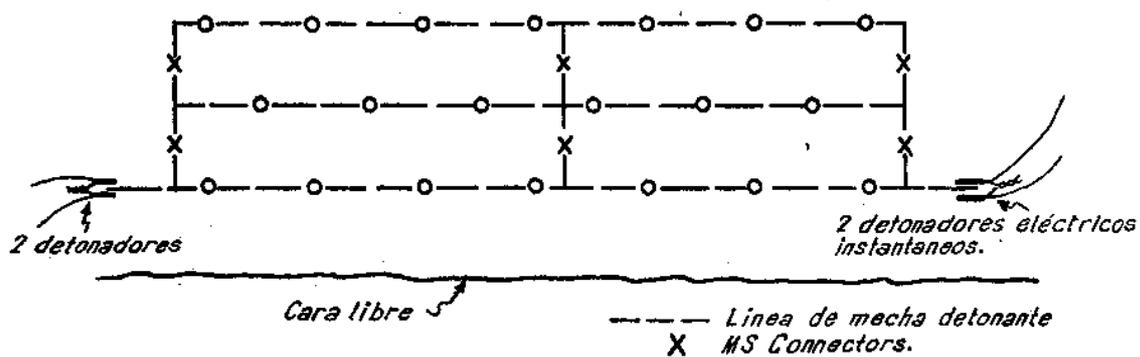


Fig. 12.—Voladura de tres filas con retardos entre filas logrados por MS. Connectors.

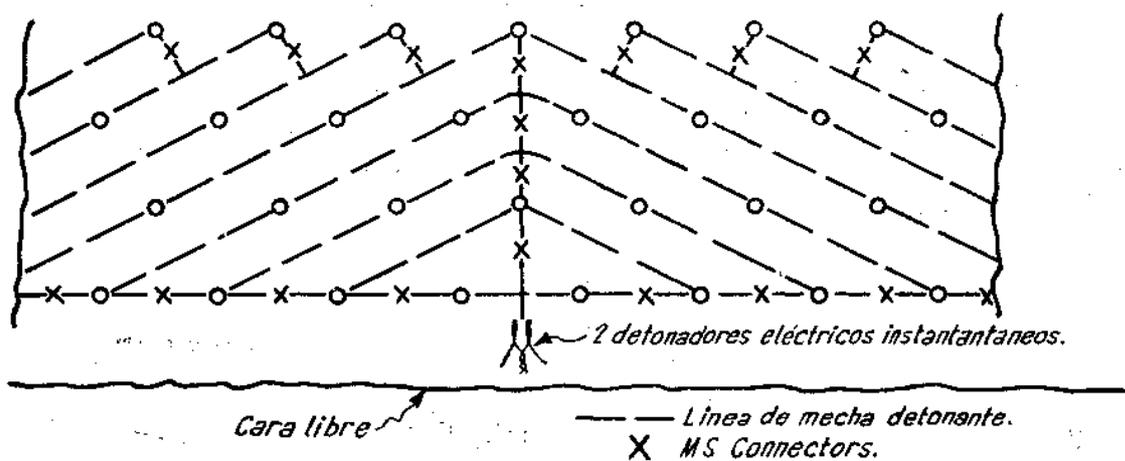


Fig. 13.—Voladura de filas múltiples con iniciación central y retardos logrados por MS. Connectors.

la mecha detonante, a la que enlazan las derivaciones de los cartuchos cebo superiores, se produce más a través de la carga de los barrenos que del MS-9 intercalado en cabeza, con lo que la explosión de los cartuchos

posición requiere 3n-2 MS Connectors y, por otra parte, es bastante complicada.

El tipo de conexión representado en la figura 16, si bien requiere el mismo número

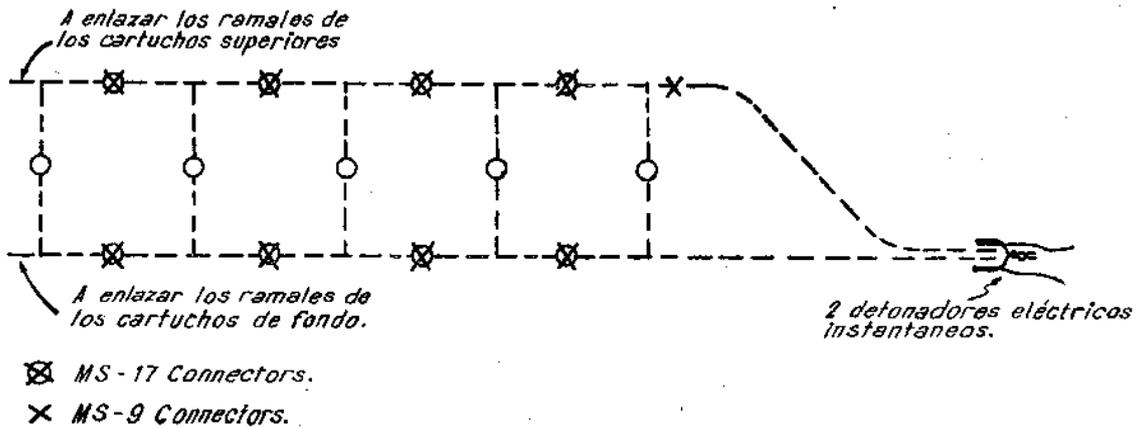


Fig. 14.—Sistema erróneo de conexión de mechas detonantes a los cartuchos cebo de fondo y superior.

cebo de fondo y superiores es prácticamente simultánea en todos los barrenos, menos en el primero.

de MS-Connectors que la anterior, es mucho más sencilla y menos sujeta, por consiguiente, a confusiones.

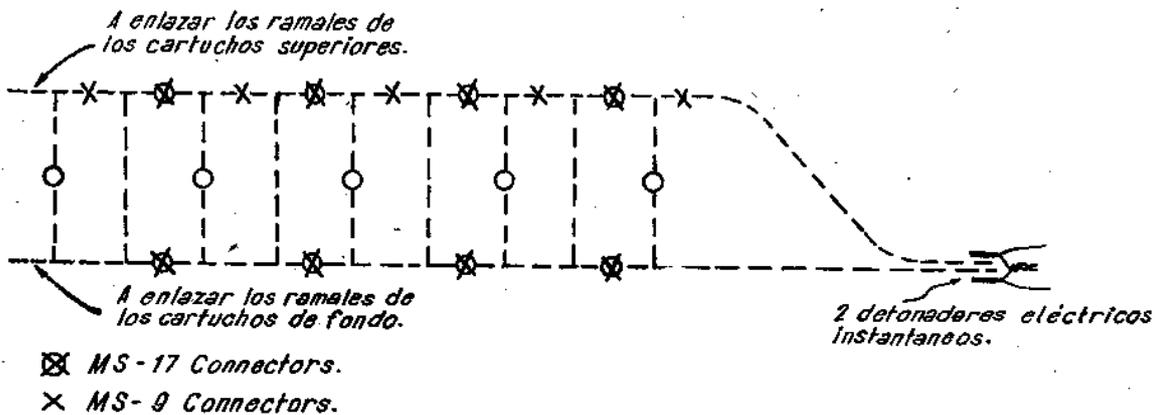


Fig. 15.—Disposición correcta de conexión de las mechas detonantes a los cartuchos cebo de fondo y superior.

La conexión con arreglo al esquema de la figura 15 elimina por completo este inconveniente, ya que todos los barrenos se encuentran en las mismas condiciones que el primero del esquema anterior. Esta dis-

Cuando por disponerse atacamientos intermedios dentro del barreno se empleasen más de dos cartuchos cebo, las mechas detonantes de los cartuchos cebo intermedios deben conectarse a la línea de los cartuchos

cebo superiores. Al objeto de evitar que la mecha detonante fijada al contacto de fondo provoque la explosión de los restantes cartuchos cebo, éstos deben forrarse con fuerte cartón rizado, que constituye un buen aislamiento contra la onda explosiva. Todos los esquemas que hemos indicado corres-

La unión de la mecha detonante al cartucho cebo de fondo la hacemos a base de atravesar por completo éste cerca de su base inferior, con lo que este enlace se efectúa más rápidamente y, lo que es más importante, si este cartucho, que es de explosivo goma, se desprendiera del gancho en su descenso,

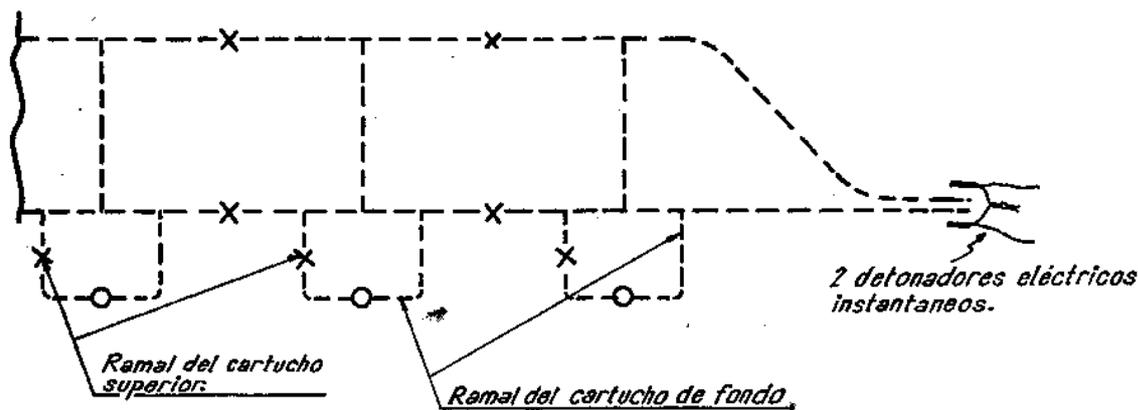


Fig. 16.—Esquema simplificado de conexión correcta de las mechas detonantes a los cartuchos cebo de fondo y superior.

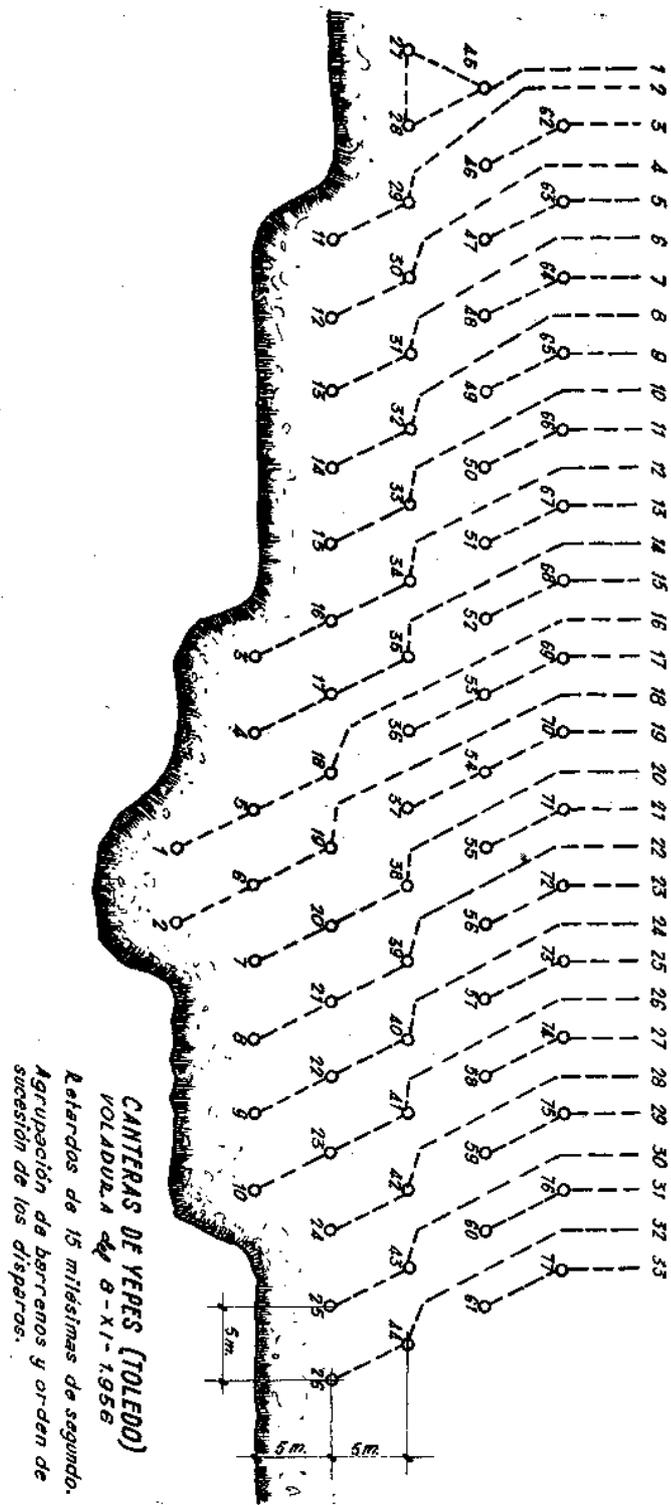
ponden a frentes de cantera rectos, pero siempre pueden disponerse las conexiones de los barrenos y el orden de sucesión de los tiros para obtener el efecto deseado, cualquiera que sea la forma del frente. A título de ejemplo mostramos la figura 17, correspondiente a una reciente voladura de canteras de Yepes, con una línea de frente completamente irregular.

Para terminar, sólo queremos dar cuenta de las pequeñas variaciones que hemos introducido, aconsejados por la práctica, desde octubre de 1954, en que tuvimos el honor de hablar sobre este mismo tema y en este mismo sitio.

Ya hemos indicado que hemos bajado el micro-retardo de 25 a 15 milésimas de segundo, con lo que hemos mejorado notablemente la fragmentación.

como consecuencia de una falsa maniobra, quedaría suspendido de las mechas detonantes, no cayendo de golpe al fondo del barrenos.

Para el descenso de las cargas hemos prescindido de las cabrias, con el consiguiente ahorro de tiempo. El atacamiento se lleva a cabo sin el empleo del atacador, cuyo uso resultaba muy penoso y lento. Al mismo tiempo rozaba las mechas detonantes, habiendo llegado a provocar el corte de algunas de ellas. En la actualidad, el atacamiento se hace con barro espeso, con resultados satisfactorios. No obstante, para evitar que el barro esté en contacto con la carga explosiva —amoníacal y, por consiguiente, muy higroscópica—, primeramente se efectúa el atacamiento con tierra seca hasta que se calcula que se ha rellenado con ella el espacio anular comprendido entre la carga y



CANTERAS DE YEPES (TOLEDO)
VOLADURA de 8-XI-1956
 Retardos de 15 milésimas de segundo.
 Agrupación de barrenos y orden de
 sucesión de los disparos.

Fig. 17.—Orden de sucesión de los tiros en una voladura de frente irregular.

la caña del barreno, procediendo a continuación a echar el barro espeso.

Todas estas modificaciones, en unión de una perfecta sistematización de las operaciones, nos han llevado a una reducción de los tiempos, lo que, en nuestro caso, tenía la mayor importancia. La carga de un barreno de $6\frac{5}{8}$ " de 12 a 15 m de profundidad y carga explosiva de 100 a 120 kg, nos invierte, por término medio, quince minutos, incluido el atacamiento. Normalmente, y en voladuras de gran número de barrenos, se disponen cuatro equipos de carga, que tra-

bajan simultáneamente, y dos equipos de atacamiento. Cada equipo de carga está formado por tres hombres, y cada equipo de atacamiento, por dos. Es decir, que, con 16 hombres, una voladura de 80 barrenos queda cargada y atacada en cinco horas, aproximadamente.

Quisiera que con lo que acabamos de indicar se hubiera dado pie, como al principio señalábamos, para que cada uno de los presentes pudiera dar cuenta de sus experiencias personales sobre este tema.