

y dividiendo entre sí las dos últimas igualdades, resulta:

$$r = \frac{n'\mu}{\sqrt{1 + (n - n')^2}} = \mu \frac{\sqrt{1 + n^2}}{\psi}$$

En esta última igualdad todas las líneas son medibles directamente en el terreno, y se puede despejar ψ

$$\psi = \frac{\sqrt{1 + (n - n')^2} \times \sqrt{1 + n^2}}{n'} \quad (4)$$

fórmula que da la característica del terreno con sólo medir la línea de mínima resistencia y los dos radios extremos del cono de explosión.

La experiencia indica que en las tierras ordinarias, cuando el radio mayor del cono de explosión es igual á la línea de mínima resistencia, el radio menor es exactamente la mitad, y por consiguiente, se tiene $n = 1$; $n' = 1/2$; de donde

$$\psi = \frac{\sqrt{1 + 1/4} \times \sqrt{2}}{\frac{1}{2}} = 3.162$$

Este valor de ψ es aplicable á todas las explosiones en tierra ordinaria, sea cualquiera su forma y magnitud, pero no á otra clase de terrenos; mas la experiencia señala un medio muy sencillo para determinar inmediatamente su valor en un terreno de resistencia conocida. En efecto, llamando ψ' y p' la característica y resistencia correspondientes á una roca cualquiera, se ha establecido la fórmula experimental

$$\frac{\psi^3}{\psi'^3} \times \frac{p'}{p} = 2,25$$

Para la roca caliza $\frac{p'}{p} = 6,52$; por consiguiente:

$$\psi'^3 = \frac{6,52}{2,25} \times \psi^3 = \frac{6,52 \times 3.162^3}{2,25}$$

$$\psi' = 3.162 \sqrt[3]{\frac{6,52}{2,25}} = 4,52$$

Sustituyendo este valor de ψ en la fórmula (3), tendremos, para determinar la carga en roca caliza dura

$$\frac{\varphi^5}{4,52^3} = 0.026547 K$$

de donde

$$K = \frac{1}{4,52^3 \times 0.026547} \varphi^3 = 0.408 \varphi^3 \text{ kilogramos} \quad (5)$$

DETERMINACIÓN PRÁCTICA DE LA CARGA EN UN TERRENO CUALQUIERA.—Conocida la posición de un hornillo, tomando como centro el de la carga, se pueden determinar las esferas inscrita y circunscrita al terreno y por una serie de tanteos llegar á la determinación de una esfera media tal, que en el espacio abarcado por la voladura, el vacío que deje entre ella y la esfera inscrita sea próximamente igual á la masa de roca que queda entre ella y la esfera circunscrita. El radio de la esfera media, sustituido en la fórmula (5), dará la carga prácticamente necesaria. Esta carga es superior á la estrictamente necesaria para producir el desgaje del cono de explosión, como así debe ser para disponer de la fuerza que ha de impulsar hacia afuera los materiales arrancados y producir la conmoción de las masas superiores.

TRAZADO DEL CONO DE EXPLOSIÓN.—Conocida la carga, la fórmula (1) da el radio de la esfera de compresión, y el trazado del cono se obtendrá buscando la intersección de la esfera media con la superficie del terreno, y desde cada uno de sus puntos, tangentes á la esfera de compresión.

HORNILLOS CONJUGADOS.—Generalmente se disponen los hornillos por pares, uno á cada extremo de una galería horizontal, y emplazados de tal manera, que los dos conos de explosión se compenetren próximamente en una profundidad igual á la mitad de la línea de mínima resistencia. La explosión simultánea de los dos hornillos conjugados, es ventajosa por cuanto imposibilita la descarga por la boca de la mina y queda atacada toda la roca intermedia, de suerte que los planos de desgarramiento son entonces los planos tangentes, comunes á las dos esferas de compresión, según acredita la experiencia.

VENTAJAS DE ESTE MÉTODO DE CÁLCULO SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS EMPÍRICOS.—El método que acaba de exponerse es de suma sencillez práctica, exigiendo sólo planos acotados ó por curvas de nivel de los terrenos atacados, y el cuidado de inscribir y circunscribir esferas en las superficies comprendidas dentro de los conos de explosión, lo que bien pronto se hace con suma expedición. Una vez determinada la esfera media, el cálculo se hace en pocos minutos.

Los procedimientos empíricos que se exponen en todos los Manuales prácticos, tienen el inconveniente de que sólo toman en cuenta la línea de mínima resistencia y prescindan, en general, de la forma del terreno atacado; si éste forma un promontorio saliente, las reglas prácticas dan una carga muy excesiva, y por el contrario, la carga resulta deficiente cuando el frente de cantera forma un plano vertical y la superficie superior tiene una inclinación notable, ó bien cuando la línea de roca sobre el hornillo es mucho más larga que la de mínima resistencia.

APLICACIÓN Á LA CANTERA DE ALMELLONES.—La punta llamada de Almellones está formada de roca caliza jurásica en masa compacta, ó por lo

menos los planos de estratificación apenas son perceptibles, y la roca se rompe, con preferencia, por los planos de crucero. El desbroce puso al descubierto un frente de 550 metros de longitud, con una altura de escarpe variable de 12 á 30 metros. La densidad de la piedra, que tiene una gran dureza, es de 2,67.

En este gran frente se ha practicado una primera serie de 10 voladuras, cada una de ellas con dos hornillos conjugados, excepto una en que se colocaron tres hornillos para obtener un fraccionamiento mayor de las masas calizas, en aquel sitio de una gran homogeneidad. Nueve voladuras han respondido perfectamente á todas las previsiones; en una dejó de estallar un hornillo, que se hizo volar cuatro meses después con menor carga, á pesar de lo cual hubo lanzamientos producidos por la falta de homogeneidad del terreno.

En todas las demás explosiones no ha habido lanzamientos, desprendiéndose la roca en grandes bloques, á veces de centenares de metros cúbicos, que se han dividido después por medio de barrenos ordinarios.

RESULTADOS PRÁCTICOS DE LAS VOLADURAS.—Después de vaciado el cono de explosión, se ha levantado el plano del terreno, comprobándolo con las previsiones del proyecto, y de esta comprobación ha resultado:

1.º Que el cauce de la explosión en el sentido del frente de cantera, es algo mayor que el que resulta del trazado de la esfera media.

2.º Que en el sentido perpendicular al frente de cantera, además de las masas caídas queda casi siempre desprendido, un prisma de aristas horizontales, que se extiende en la cara superior hasta una distancia del escarpe igual á la mitad de la altura de éste. Después de limpio el cono, es fácil hacer caer esta masa desprendida por medio de algunos barrenos que ataquen su pie.

3.º Que por término medio se extrae del derrumbamiento un volumen de piedra, correspondiente á 3,5 metros cúbicos por cada kilogramo de pólvora de mina de primera clase, estimándose en un metro cúbico por kilogramo de pólvora las masas que quedan desprendidas, pero cuya caída ha de provocarse por medio de explosiones secundarias.

4.º Que en canteras de tan excepcional homogeneidad y dureza, como es la de Almellones, sería, quizá, conveniente aumentar algo la carga para que las masas de roca cayesen algo más fraccionadas.

Málaga 6 de Marzo de 1889.

F. PRIETO.

MADRID: 1889.

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE GREGORIO JUSTE.

Calle de Pizarro, número 15, bajo.