

á un disco horizontal que se mueve dentro de un cono de eje vertical; dicho disco lleva una varilla normal á él en su centro, que transmite el movimiento del mismo á un lapicero, que marca sobre un papel arrollado en un cilindro movido por un aparato de relojería; este aparato se interpone en la tubería principal de toda la zona sujeta á observación y está dispuesto para que el agua pase entre el disco y el cono, produciendo á su paso el movimiento del primero y, por consiguiente, el del lapicero unido al mismo; ahora bien, el papel que se mueve en virtud del aparato de relojería tiene una graduación hecha experimentalmente, en la que se acusan los gastos según la posición del lapicero sobre el mismo, y es evidente que si un aparato de esta clase se interpone en la conducción principal de la zona que se observa completamente aislada y por medio de señales acústicas, un agente hace la observación de las llaves de toma de esta arteria anotando la hora de la observación y cerrándoles, y después retrocede en sentido inverso abriendo las llaves que antes cerró y anotando también la hora la comparación de las líneas que el lapicero habrá dejado marcadas durante el período en que se han ido cerrando las llaves y durante en el que se han ido abriendo en unión de las anotaciones obtenidas, marcando las llaves y horas en que se han hecho funcionar, nos dará, no solamente la pérdida total de agua sino también la que tiene lugar por cada una de las ramas que arrancan de la arteria considerada; esta operación puede repetirse para cada una de éstas y llegar á determinar no sólo el sitio de la fuga, sino su importancia.

Los datos obtenidos con las experiencias practicadas durante la noche, á la hora en que no se cause perjuicio á los usuarios del agua, sirven de base para que en unión de otros, tomados al día siguiente en los puntos en que se hayan señalado las fugas, permitan completar el reconocimiento y corregir éstas.

D. M. M.

EXPLOTACIÓN DE CANTERAS PARA ESCOLLERAS

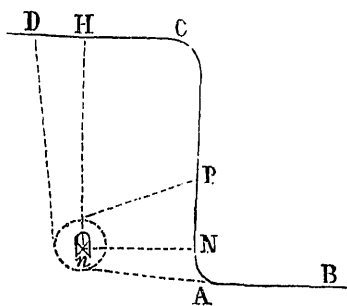
OBJETO DE ESTA NOTA.—Conocida es de todos los Ingenieros la larga controversia que originó la insuficiencia de las canteras señaladas por la Administración para las obras del Puerto de Málaga. Que el cerro de San Telmo no podía dar en un plazo razonable la piedra necesaria para la ejecución de las escolleras y de las fábricas, es una cuestión resuelta desde larga fecha; pero se había exagerado tanto la dificultad de hallar canteras que reuniesen las condiciones necesarias, que la Administración tenía un interés

de primer orden en la demostración de que en la *Punta de Almellones*, ó del *Primer Cantal*, podía establecerse una explotación que llenase con creces la deficiencia de la cantera de San Telmo, asegurando la ejecución de las obras proyectadas.

Con este objeto se desbrozó la nueva cantera, y una vez descubierto su frente de más de medio kilómetro de longitud, y practicadas las exploraciones necesarias para formar idea de la composición geológica del promontorio, se proyectó una serie de voladuras, cuyos resultados habían de dar la demostración práctica de que tan debatido problema tenía una solución, del todo conforme con las previsiones de los Ingenieros de la Administración. Para facilitar los trazados y cálculos de las voladuras, se reunieron en un cuerpo de doctrina los elementos de un estudio de esta clase, que se expusieron en la Memoria elevada á la superioridad. Algunos de mis dignos Jefes, que tuvieron ocasión de leer este modesto trabajo, creyeron que podría tener algún interés para los Ingenieros que construyen obras de puertos, u otras en que se explotan canteras en grande escala, y de aquí la publicación de la presente Nota.

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN POR GRANDES VOLADURAS.—Salvo en circunstancias especiales, el sistema de las grandes voladuras es el más adecuado para la explotación de las vastas canteras destinadas á producir bloques para escollera, y es conveniente recordar los principios á que se ajusta en la práctica la disposición de los hornillos y la determinación de sus cargas.

Figura 1.º



Sea AB la plataforma de una cantera; AC su frente de ataque y M una masa de pólvora que hace explosión en una capacidad cerrada. El primer efecto de la fuerza elástica de los gases de la pólvora es producir un vacío interior de forma esférica, suponiendo que sea homogéneo el medio que la rodea, por la compresión que sobre éste ejerce. Este fenómeno sería el único que tendría lugar en el interior de una masa de extensión indefinida; pero estando limitado el macizo por el plano AC

cuando la compresión de las rocas ha llegado al límite, la expansión de los gases rompe el terreno, y lo impulsa en la dirección de la línea de mínima resistencia MN, produciendo un embudo AMP, limitado por una superficie de revolución, cuyo eje coincide con la expresada línea. Si el terreno es homogéneo, la línea de mínima resistencia es la normal, bajada á la superficie externa desde el hornillo; si el terreno tiene masas de distinta cohesión, la línea de mínima resistencia podrá no coincidir con la de menor distancia.

Según esto, deberán distinguirse en el tiro de una mina cuatro periodos

distintos. En el primer período, los gases comprimen el medio que los rodea, dilatándose hasta que su presión equilibre á la resistencia de las rocas á la compresión. En el segundo período, continuando la combustión de la pólvora, se producen mayores cantidades de gas, y el esfuerzo adicional se emplea en dislocar el terreno, según la dirección que ofrezca menor resistencia á la rotura. En el tercer período, las masas dislocadas son impulsadas fuera del embudo de rotura y lanzadas á mayor ó menor distancia, según sea mayor ó menor la carga, en relación á las masas puestas en movimiento. Esta proyección, en las minas de cantera, debe reducirse á lo puramente necesario para sacar los materiales del embudo; pues no solo es una fuerza perdida la que se emplee en los lanzamientos á mayores distancias, sino que éstos constituyen un serio peligro para los edificios cercanos. Por último, las masas superiores al embudo que han sido, en los dos períodos anteriores, más ó menos dislocadas por los gases de la pólvora, introducidas en las fisuras naturales y en las juntas de los estratos, caen en el vacío abierto por la explosión, produciéndose en definitiva una línea de rotura DMA.

Para que este último fenómeno tenga lugar con entera seguridad, es necesario que la línea de carga (MH) sobre el hornillo no sea exageradamente grande. La experiencia demuestra, en efecto, que en los terrenos compactos el derrumbamiento no tiene lugar en buenas condiciones si la fuerza explosiva no es bastante para levantar algún tanto la masa PMD; y si ésta es muy grande, necesita para dislocarse una fuerza de explosión mucho más considerable de la necesaria para evacuar el embudo, produciéndose entonces lanzamientos que es preciso evitar. Por otro lado, si el derrumbamiento de la masa superior no tiene lugar, queda el frente de cantera en una situación muy peligrosa, y antes de trabajar en la saca de piedra se hace preciso provocar la caída de las masas superiores, operación siempre costosa y frecuentemente arriesgada. Por consiguiente, la relación entre la línea de carga sobre el hornillo y la de mínima resistencia ha de tener un límite superior variable, según la cohesión del terreno, del cual no es prudente salir en la práctica. En los terrenos en masa esta relación debe ser de $\frac{3}{2}$ á $\frac{2}{1}$; en los terrenos extratificados puede ser algo mayor, sobre todo si éstos están naturalmente trastornados ó si la disposición de los extratos facilita la caída.

Por este motivo, y por el fraccionamiento excesivo de las masas, no deben explotarse las canteras de frente muy alto en un solo piso. En Holyhead, donde se explotaba una roca cuarzosa en masa, se adoptó el límite superior de 80 pies para la altura de cada escalón; pero ordinariamente la carga no pasaba de 70 pies (24 metros) sobre el plano de los hornillos,

correspondiendo á una línea de mínima resistencia de 16 metros, y á unas cuatro toneladas de pólvora en cada hornillo.

Expuestas las consideraciones que preceden, vamos á ver cómo puede apreciarse con sencillez el efecto de una carga dada, ó recíprocamente, cómo puede determinarse la cantidad de materia explosiva para la producción de efectos determinados.

DETERMINACIÓN DE LA ESFERA DE COMPRESIÓN.—Veamos, en primer lugar, la esfera de compresión producida por una masa de pólvora que arde en un espacio cerrado. El radio de esta esfera debe ser función de la cantidad de pólvora encerrada en el hornillo, y, por consiguiente, debe existir una relación analítica entre estas dos cantidades. Para hallarla con sencillez se admitirá que durante la combustión los gases se desarrollan por capas esféricas y concéntricas, conservando una temperatura media constante; hipótesis que puede admitirse en atención al cortísimo tiempo que dura el fenómeno, y que permite la aplicación de la ley de Mariotte. Si se llama v el volumen de la carga, P la presión inicial de los gases bajo el volumen v ; V el volumen de la esfera de compresión, r su radio y p la presión de los gases en su mayor dilatación, se tendrá:

$$v \times P = V \times p, \quad \text{de donde } V = v \times \frac{P}{p}$$

El volumen v de la carga puede expresarse cómodamente en función del peso; llamaremos d el peso en kilogramos de un metro cúbico de materia explosiva, y siendo K el peso total de ésta, contenida en el hornillo, se tiene:

$$v = \frac{K}{d}$$

La fuerza inicial P de los gases de la pólvora es de 29.000 atmósferas ó 29.000 kilogramos por centímetro cuadrado; en cuanto á p equivale á la resistencia del terreno, variable según su naturaleza, indicando la experiencia que es de 50 kilogramos por centímetro cuadrado en las tierras ordinarias y 6,52 veces mayor en la roca caliza; es decir, que se dispone del valor experimental

$$p = 50 \times 6,52 = 326 \text{ kilogramos.}$$

El peso d de un metro cúbico de pólvora de mina, es de 800 kilogramos, sustituyendo todas estas cifras en la fórmula anterior, se tendrá:

$$V = \frac{K}{d} \times \frac{P}{p} = \frac{29.000}{326} \times \frac{K}{800} = 0.1112 K = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$y \quad r^3 = \frac{3 \times 0.1112}{4 \times \pi} K = 0.026547 K \quad (1)$$

de donde

$$r = 0.298 \sqrt[3]{K}$$

fórmula que permite conocer inmediatamente el radio de la esfera de compresión, dada la carga.

DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA EN UNA MASA ESFÉRICA.—Si el medio fuese indefinido, los efectos de la combustión de la pólvora se reducirían á la formación de una cavidad interna; pero si el terreno está limitado por una esfera de radio φ , después de formarse dicha cavidad tendrá un espesor de $(\varphi - r)$, y la rotura tendrá lugar siempre que el esfuerzo total de los gases sea suficiente para vencer la tenacidad T del terreno. Es decir, que deberá tenerse

$$p \pi r^2 > T \pi (\varphi^2 - r^2)$$

y en el límite

$$p \pi r^2 = T \pi (\varphi^2 - r^2)$$

de donde

$$\varphi = r \sqrt{\frac{p}{T} + 1} = r \psi \quad (2)$$

poniendo para abreviar

$$\psi = \sqrt{\frac{p}{T} + 1}$$

La expresión ψ solo depende de p y de T ; es decir, de la resistencia del terreno y de la cohesión; por consiguiente, es una característica de cada terreno y, en un caso dado, el radio φ de la esfera límite, capaz de romperse, solo depende del radio de la esfera de compresión, y por tanto, de la carga de la mina; en otros términos, la relación entre el radio de rotura y el de compresión, es constante en cada terreno y variable de un terreno á otro.

Combinando las dós fórmulas (1) y (2), resulta:

$$\frac{\varphi^5}{\psi^5} = 0.026547 K \quad (3),$$

de cuya ecuación se deduce inmediatamente el valor φ correspondiente á una carga dada y á una característica conocida; ó recíprocamente se determina la carga de la misma cuando φ es un dato.

(Se continuará.)

F. PRIETO.

MADRID: 1889.

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE GREGORIO JUSTE.

Calle de Pizarro, número 15, bajo.