

EXCAVACIONES EN ROCA POR EL SISTEMA DE "POZO VERTEDERO"

Por FEDERICO MACAU VILAR,
Ingeniero de Caminos,

Se describe en el presente artículo el sistema reseñado en el epígrafe, poco empleado en nuestro país, y que presenta interesantes particularidades, que analiza el autor, destacando sus ventajas e inconvenientes y señalando los casos en que su empleo puede resultar indicado.

No es frecuente en nuestro país el empleo del sistema de "pozos vertedero" o "pozos tolva" (gloryhole), ni en la excavación de galerías, ni en la explotación de canteras a cielo abierto, para la obtención de gravas o de áridos para las diversas obras que necesitan consumir grandes cantidades de estos materiales; sólo se emplea, a veces, en ciertos labores de minas, en las que se establecen "coladeros" para enviar el mineral arrancado de una galería a otra inferior hacia los cargaderos o en otros contados casos, como, por ejemplo, en Río Tinto, en que se emplea en labores exteriores; por ello, creemos puede resultar de interés para nuestros lectores la descripción y los datos que damos, referentes a la cantera de las obras en construcción, del pantano de Compuerto, en la segunda parte de estas breves notas, a continuación de las que damos en primer lugar, sobre el empleo de este sistema aplicado en las grandes excavaciones que actualmente se están llevando a cabo para la instalación de la gran central hidroeléctrica subterránea de Stornorrhors, en Suecia.

Esta central es la más importante de las veinte que constituyen el plan de aprovechamiento integral del río Uma, que se desarrolla a lo largo de todo el curso del mismo, desde su nacimiento, cerca de la frontera noruega, hasta su desembocadura en el Báltico, junto a Umea, después de atravesar todo el país en dirección NO.-SE. Toda ella está excavada en el interior de una extensa y potente formación granítica de gran resistencia y alta calidad. El conjunto de las excavaciones en roca, realizadas en esta obra, sobrepasa de 1 700 000 metros cúbicos, a los que hay que añadir otros 680 000 metros cúbicos más, correspondientes a la apertura del canal de alimentación, para el cual ha sido preciso remover, además, 1 350 000 metros cúbicos de tierra.

El túnel de descarga de esta central, de unos 4 kilómetros de longitud, se proyectó en principio a base de dos secciones gemelas independientes, de 203 metros cuadrados de sección cada una, pero luego, teniendo en cuenta la experiencia y los buenos resultados obtenidos en la construcción del túnel de Kilforsen, de 201 metros cuadrados de sección, y la excelente calidad del granito de Stornorrhors, com-

probada tras numerosos ensayos de laboratorio, se modificó el proyecto primitivo, sustituyendo los dos túneles por uno solo de la misma longitud, pero de 390 metros cuadrados de sección útil, cuyas dimensiones transversales de 16 metros de ancho por 27,5 de altura, ostentaban el *récord* mundial de magnitud hasta ahora, que han sido rebasadas por las excavaciones que se están llevando a cabo en España y Portugal, en el tramo internacional del Duero, en el que los portugueses construyen, entre otros, el salto de Picote, cuya central subterránea, excavada asimismo en granito, tiene una galería, la correspondiente a la sala de máquinas, de 18 metros de ancho por 35 de alto, con una sección útil que sobrepasa los 500 metros cuadrados, y más aguas abajo, también en el interior de una imponente masa granítica de mejor calidad aún y de constitución más compacta que el de Suecia, la Sociedad española Iberduero, S. A., construye el salto de Aldeadávila, en el que el vaciado para la sala de máquinas tiene 16 metros de ancho por 40 de altura, con una sección total superior a los 600 metros cuadrados.

En la central de Stornorrhors, los tres pozos verticales de conducción forzada para la alimentación de las turbinas tienen una sección circular de 8 metros de diámetro y una altura total de 135, y se han excavado por el procedimiento de "pozos vertedero" o "pozos tolva", organizándose su apertura en tres fases sucesivas, de la siguiente forma:

Se procedió primero a abrir desde la superficie exterior del terreno un taladro de 15 centímetros de diámetro hasta una galería previamente abierta a la cota correspondiente al nivel de situación de las turbinas. A través de este agujero se introdujo un fuerte cable de acero, sujeto por su extremo superior a un mecanismo de elevación situado al exterior, y en el otro extremo, dentro de la galería mencionada, se le enganchó una especie de cabina o jaula metálica, expresamente diseñada para este caso, desde la que dos operarios martilleros especializados empezaron la perforación de abajo hacia arriba de un pozo de 2,00 metros de diámetro.

En la segunda fase de la excavación, o sea la de la apertura de estos pozos de abajo hacia arriba, desde

la jaula indicada (fig. 1.^a) se hacían los taladros para los barrenos y se cargaban éstos con el explosivo requerido; una vez preparada la pega, se bajaba la

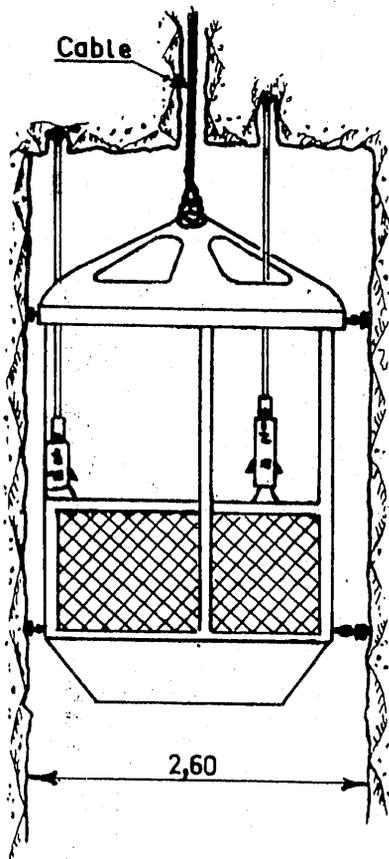


Fig. 1.^a — Jaula metálica empleada en Stornorrfors para la excavación de la segunda fase de la apertura de los pozos de carga.

jaula hasta la galería, quedando situada sobre una plataforma móvil situada en la vertical del pozo, se desenganchaba del cable y se retiraba hasta dejarla a resguardo de la caída de los escombros, a la vez

que se subía el cable a la altura requerida para que su extremo inferior quedara por encima de la zona afectada por la explosión de la pega preparada. Realizada ésta y evacuados los escombros producidos al pie del pozo, se proseguía la operación, volviendo a bajar el cable, acercar la jaula, engancharla de nuevo y subirla hasta el nuevo frente de perforación para excavar otro pozo.

Cuando la excavación de estos pozos llegó a la altura de la toma, con una longitud resultante de unos 135 metros, se inició la tercera fase, instalando en la parte inferior del pozo ya excavado una boca de tolva, y por el otro extremo se procedió al ensanche de los mismos, hasta alcanzar los 8 metros de diámetro; los escombros caían a través de ellos y por la boca de tolva final se cargaban directamente a unos camiones de 20 toneladas, que los evacuaban al exterior; con este procedimiento la carga resultaba prácticamente automática, continua y en cierto modo independiente de la excavación por el efecto regulador que hacía el almacenamiento producido en el interior del cuerpo del pozo excavado anteriormente. En la figura 2.^a resumimos esquemáticamente y gráficamente las tres fases de este proceso.

Por este procedimiento se han excavado unos 3 000 metros cúbicos en el conjunto de las fases segundas y otros 17 000 en las terceras, o sea un total de unos 20 000 metros cúbicos de roca medidos en perfil. El mismo sistema se ha empleado también en la excavación del vaciado de las salas de transformadores y las del conducto de ventilación de la chimenea de equilibrio, perforándose en total una longitud del orden de los 700 metros lineales de pozo, con un volumen total cercano a los 35 000 metros cúbicos.

De la experiencia obtenida en estas obras, los suecos han deducido que este sistema de excavación por pozos vertederos es el más indicado para cuando los pozos a excavar sobrepasan de los 50 metros de profundidad.

Estas obras fueron empezadas en 1953 y se prevé su total terminación dentro de 1959.

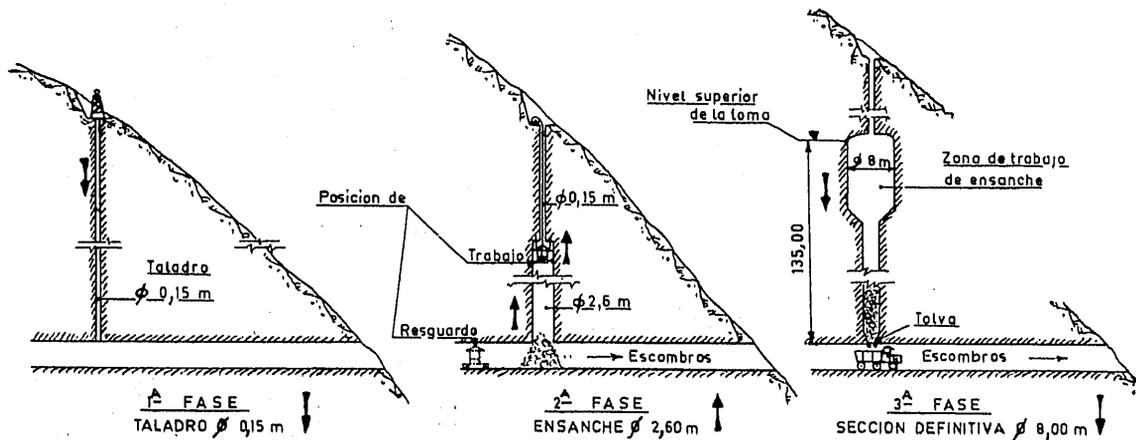


Fig. 2.^a — Esquema de la excavación de los pozos para las conducciones forzadas de la central hidroeléctrica de Stornorrfors.

La aplicación del principio de este sistema para la explotación de canteras a cielo abierto para la obtención de áridos, cuando es factible de realizarse, presenta una serie de ventajas sobre los demás pro-

de la simplificación y regulación de su transporte, que se puede reducir al establecimiento de un sistema fijo y estable durante todo el tiempo que dure la explotación de la cantera, y consiguiéndose, por tanto, con

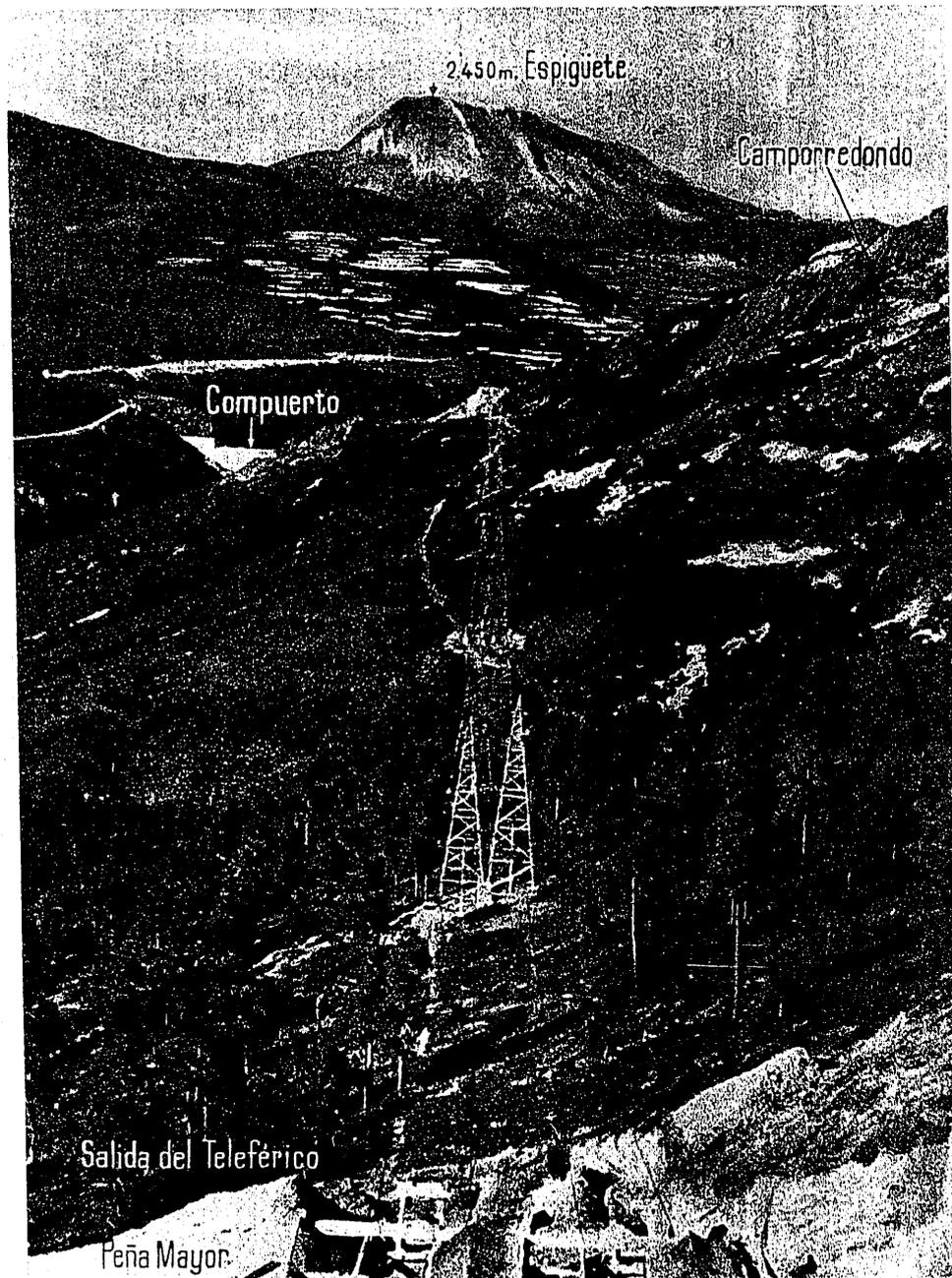


Fig. 3.ª — Vista desde Peña Mayor de la zona del anticlinal devoniano. Situación de Compuerto, Camponredondo y el espigüete al fondo. (Foto Tamayo.)

cedimientos ordinarios o más usuales, muy interesantes, de las que las más importantes son la total supresión de la mano de obra en las operaciones de carga en cantera de la piedra en rama obtenida y la

ello, un rendimiento muy superior al ordinario por la rapidez, comodidad y regularidad que se obtiene al poderse verificar la carga directa casi automáticamente del material por la boca de la tolva del extremo

inferior del pozo, todo lo cual representa un evidente ahorro de mano de obra y una apreciable simplificación de los medios auxiliares necesarios.

Este sistema de explotación de canteras está bastante extendido en algunos países, especialmente en Italia. En España se ha usado, según nuestras noticias, por primera vez en la ya citada cantera de las obras del pantano de Compuerto, que, bajo el proyecto y dirección de nuestro compañero Luis Díaz-Caneja

Esta masa de caliza, muy compacta y de 2,6 de densidad, alcanza los 1 850 metros de altura absoluta y más de 600 sobre el cauce del río, estando adosada sobre una de las ramas de un gran anticlinal devoniano formado por una serie de estratos de areniscas, cuarcitas, pizarras y calizas más o menos pizarrosas en sucesión concordante, que es cortado transversalmente por el río Carrión, a lo largo de cuyo curso se puede seguir sin dificultad alguna la constitución

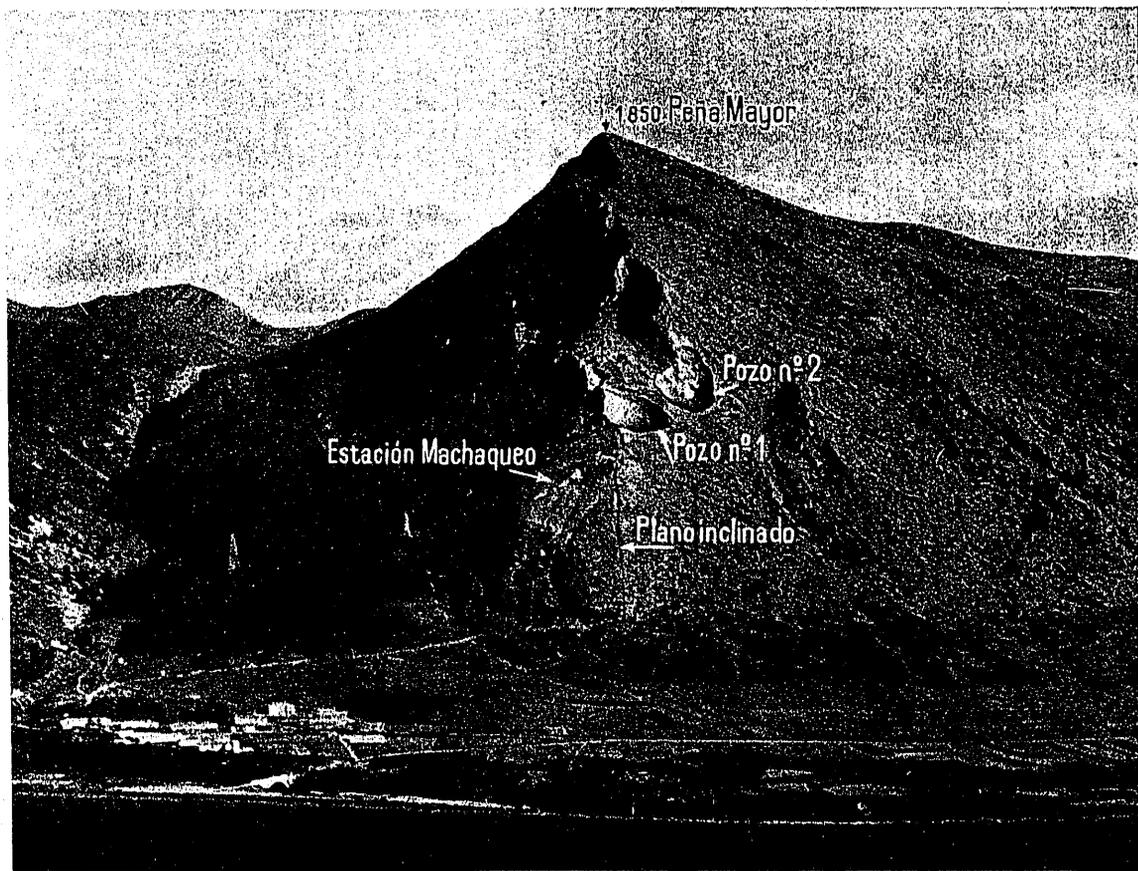


Fig. 4.ª — Vista de conjunto de Peña Mayor, con los embudos formados por los pozos-vertedero de la cantera de Compuerto. (Foto Tamayo.)

Pando, construye la Confederación Hidrográfica del Duero en el río Carrión, en el término municipal de Velilla (Palencia). La obra está ya en la última fase de su construcción, y de su cantera, explotada con pozos-vertedero, se han extraído ya más de 300 000 metros cúbicos, del total de los 350 000 que se han previsto para la totalidad de la misma.

Teniendo en cuenta la calidad del árido que se necesitaba emplear en la obra, se situó la cantera a unos 2 kilómetros escasos aguas abajo de la ubicación de la presa, en una potente formación de caliza carbonífera del dinantiense, que constituye el monte llamado Peña Mayor.

geológica de toda esta zona. Desde el Sur hacia el Norte, en la rama ascendente del mencionado anticlinal, y en un paquete de estratos formados por areniscas y cuarcitas, se construye la presa de Compuerto, y más al Norte, en el mismo banco de estratos pero en la rama descendente del anticlinal, está construida y en servicio desde hace tiempo la de Camporredondo. Más al Norte y aguas arriba de esta última, después de otras estratificaciones de pizarras y areniscas y sobre unas capas de mármoles griottes, aparece también la formación de caliza de montaña carbonífera del dinantiense, correspondiente a la de la cantera de Compuerto, desarrolladas aquí aún con

mayor potencia, formando la masa imponente del Espigüete, que alcanza los 2450 metros de altura (foto de la figura 3.^a), en el que se estableció asimismo la cantera para las obras de Camporredondo.

La formación que corresponde a la de la situación de la cantera de Compuerto y que forma la margen



Fig. 5.^a— Salida de la galería de evacuación de la cantera de Compuerto, con uno de los vagones de 3 m.³ que transportan la piedra hasta los alimentadores de las machacadoras primarias.

izquierda del Carrión, a unos 2 kilómetros, como hemos dicho, aguas abajo de la ubicación de la presa, presenta, por la cara que da al cauce, una ladera muy inclinada, con una pendiente del 43,7 por 100, y por estas mismas condiciones topográficas que se pueden apreciar en la fotografía de la figura 4.^a, resultaba, aparte de otras consideraciones que se deducen fácilmente de lo que decimos más adelante, muy indicado el empleo del sistema de "pozos-vertedero" para la explotación de dicha cantera.

Para su establecimiento se ha seguido un proceso muy análogo al de la excavación de los pozos de carga de la central de Stornorrhors. Por encima del nivel de arranque del teleférico que debía transportar los áridos a la instalación de hormigonado a la cota de los alimentadores de las machacadoras primarias, se empezó a perforar una galería de unos 150 metros de longitud y de $5 \times 2,5$ metros de sección, capaz para el establecimiento en su interior de una doble vía de 1 metro de ancho y para vagones de 3 metros cúbicos de capacidad (foto de la figura 5.^a). Simultáneamente en la misma ladera y a los niveles más altos correspondientes, se abrieron unas zanjas de unos 15 metros de longitud, hasta alcanzar los puntos en que debían encontrarse los ejes de los dos pozos, a situar encima de los de las vías a establecer en el interior de la galería, empezándose sendos taladros por los ejes de dichos pozos; sin embargo, como no se pudo disponer a tiempo del tren de sondeos necesario para continuar estos taladros hasta la bóveda de la galería, se interrumpió esta perforación, empezándose directamente en sentido inverso, de abajo hacia arriba, la apertura de los pozos desde el interior de la galería, o sea, empezándose por la segunda fase de las antes descritas, empleándose para la perforación y carga de los barrenos unos ligeros andamios colgantes tipo "rascaciélos", que se suspendían lateralmente en la parte superior de la excavación del techo de los pozos, por medio de unos pinchos "puñales" de acero que se dejaban antes de cada pega dispuestos para la preparación de la siguiente. En el momento de dar fuego a las mismas, se bajaban y descolgaban las plataformas de los rascaciélos, dejándose los cables

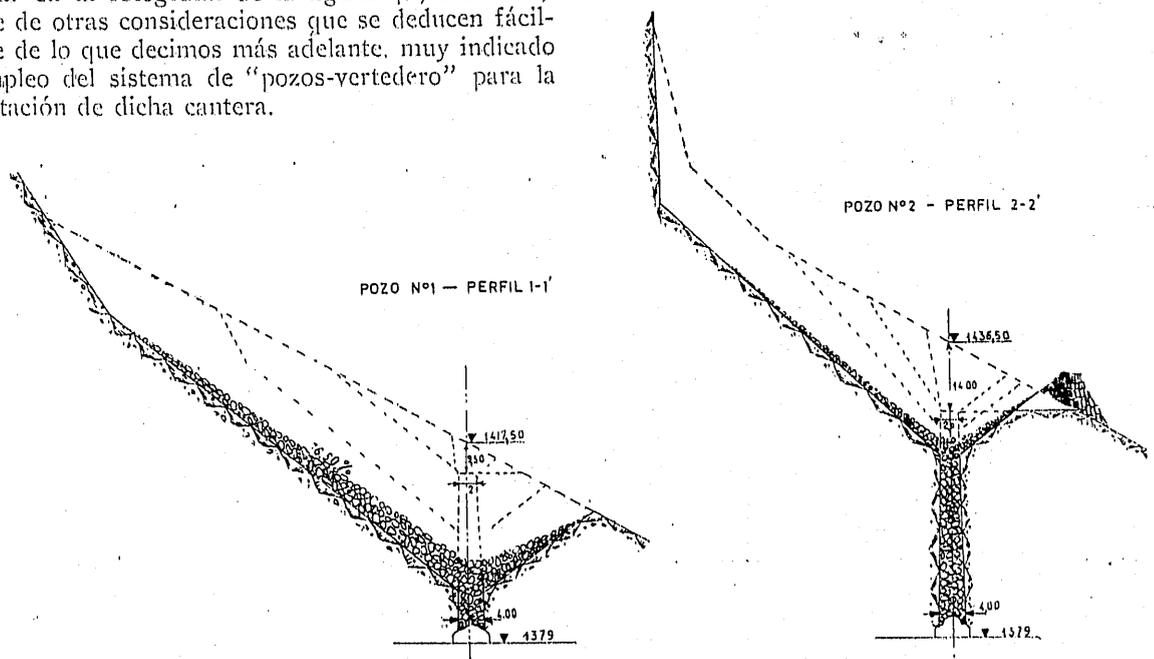


Fig. 6.^a— Secciones de los pozos y embudos por las líneas de máxima pendiente.

colgados en el interior de los pozos, los cuales, contra lo que se tenía al principio, no sufrieron demasiados daños por efecto de las explosiones producidas, sino que resistieron perfectamente durante todo el tiempo que duró la perforación de los pozos. Los escombros que caían dentro de la galería en la vertical de los pozos, se evacuaron con vagonetetas, y una vez ventilado el frente de trabajo y retirados los escombros, se volvían a enganchar los rascacielos, que se situaban en seguida en posición de trabajo para proseguir la operación.

cuación, donde, de un modo continuo y casi automático, se cargan los vagones que hacen el transporte hasta los alimentadores de las machacadoras primarias, situados a la salida de la galería, al ritmo necesitado señalado por la marcha del resto de las instalaciones.

El taqueo de los bloques de mayor tamaño que quedan en el fondo de los conos de la cantera no ha sido muy superior al que tiene que hacerse normalmente en otras canteras explotadas por los métodos usuales, y como se comprende fácilmente, ha ido dis-

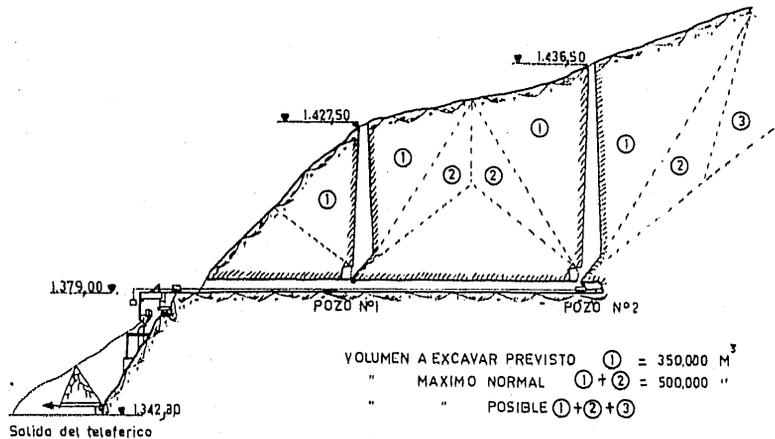


Fig. 7.ª — Sección de la cantera de Compuerto por la galería de evacuación, con indicación de los volúmenes explotables.

Una vez terminados estos pozos, cuya sección, como se indica en la figura 6.ª, es troncocónica, con 2 metros de diámetro en la parte superior y 4 en la inferior (al objeto de evitar los atascos que pudieran ocasionarse en su interior), se instalaron en el extremo de cada uno y sobre el techo de la galería unas bocas de tolva, cuyas compuertas de cierre, formadas por un enrejado de carriles, se abren accionadas por un cabrestante eléctrico y se cierran automáticamente por medio de un ingenioso y sencillo dispositivo de contrapesos que mantienen dichas bocas siempre cerradas.

Para evitar la entrada por la boca superior de piedras de mayor tamaño que el admitido por las machacadoras primarias, se coloca en la embocadura de cada pozo, al fondo del cono de excavación que se va formando, otra reja hecha con carriles soldados.

Con todo esto queda terminada la preparación de la cantera, que empezó a explotarse ensanchando cónicamente la embocadura superior, sin más precaución que la de procurar que la superficie resultante vaya teniendo siempre una inclinación mayor que el ángulo de talud natural de la piedra en rama arrancada, para que ésta, por gravedad, vaya acumulándose hacia el fondo del embudo que se va formando, en el que está la boca del pozo, a lo largo del cual se va almacenando y descendiendo hacia la galería de eva-

minuyendo a medida que se ha ido aumentando la altura y la superficie de excavación de los embudos formados.

Es evidente que, para el proyecto de una cantera de este tipo, es esencial la determinación de la distancia a que deben situarse los pozos, pues aunque teóricamente con uno solo que se abriera podría ser suficiente, la práctica indica la conveniencia del establecimiento de dos de ellos, y en este caso, la distancia óptima entre ambos viene dada por la fórmula:

$$D = 2H \cot \varphi;$$

en la que D es la distancia que se busca; H , la altura del cono resultante, y φ , el ángulo de talud natural de la piedra en rama arrancada. Si se colocan a mayor distancia, se alarga inútilmente la longitud de la galería de evacuación y el recorrido, por tanto, del producto obtenido, y si se hacen más cercanos, resulta menor el volumen de cantera aprovechable, y claro está que debe además tenerse en cuenta que el volumen total que se puede extraer varía con el cubo de H . Sin embargo, estas consideraciones teóricas no siempre son de rigurosa aplicación, pues en cada caso particular el dato fundamental es la topografía exterior de la zona donde se va a instalar la cantera; así, por ejemplo, en el esquema que damos en la figura 7.ª, correspondiente a la cantera de Com-

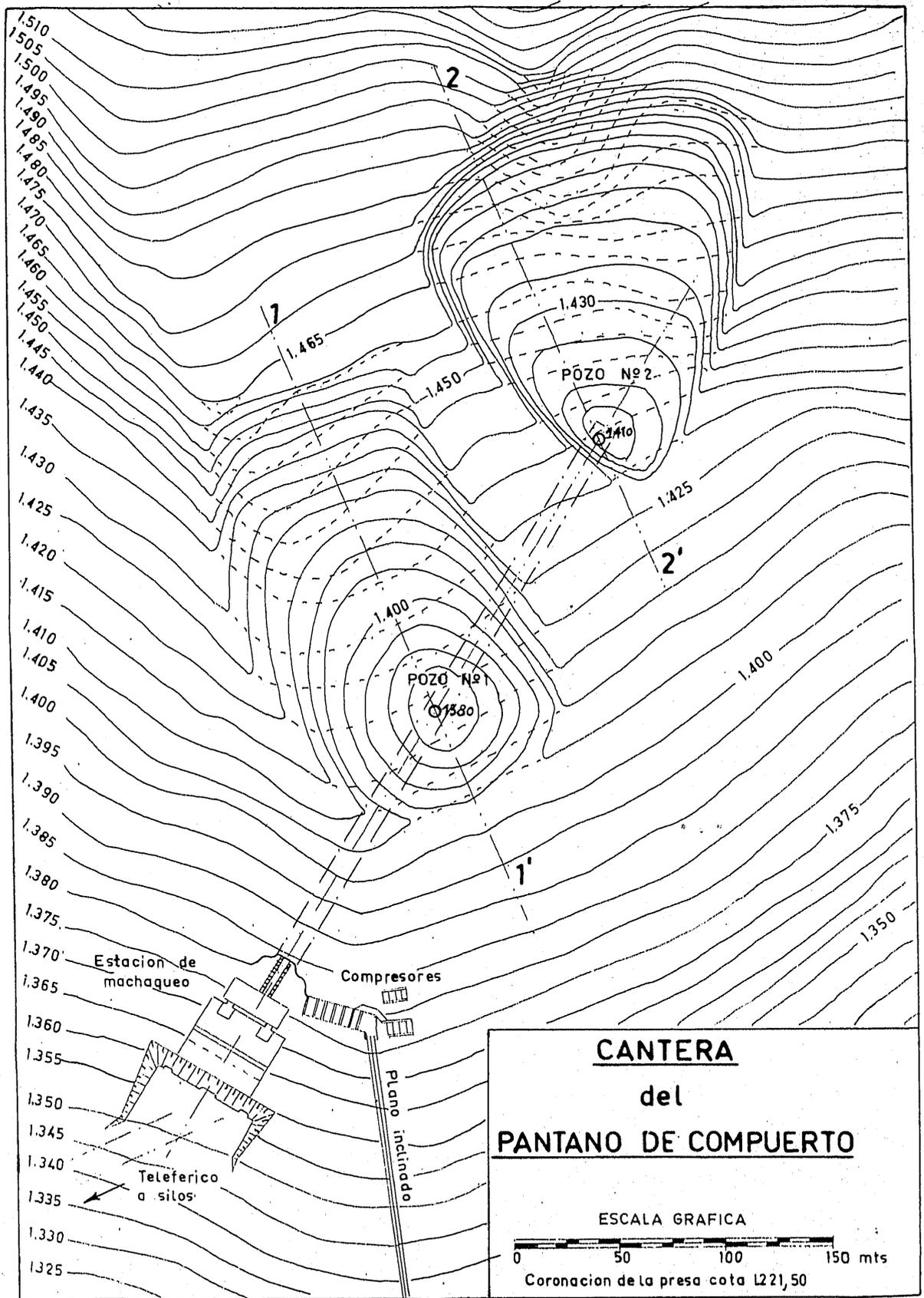


Fig. 8.ª — Plano topográfico de Peña Mayor, con los embudos formados por la cantera de Compuerto.



Interior y fondo del pozo núm. 1.



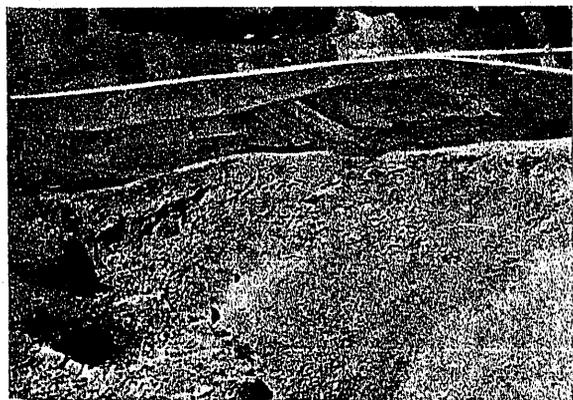
Frente Sur del pozo núm. 2.



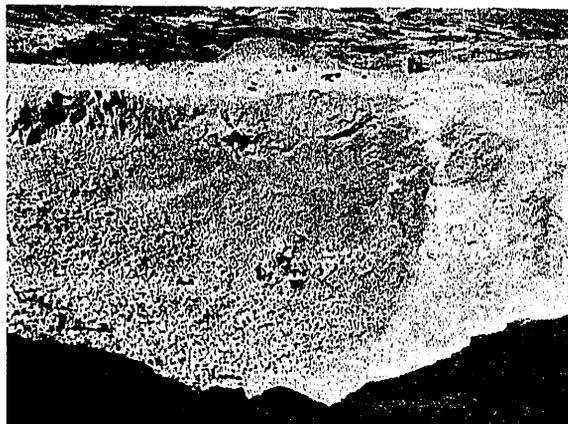
Estación de machaqueo desde el borde superior del pozo número 1.



Frente Sur de la excavación y fondo del pozo núm. 2.



Borde y frente Sur del pozo núm. 1.



Parte superior del frente Norte de la excavación del pozo número 2. (Foto Tamayo.)

puerto, se señalan los diversos volúmenes susceptibles de ser extraídos: los 350 000 metros cúbicos primeros, volúmenes (1) resultan precisamente por haberse proyectado la cantera para esta cantidad, los que se obtienen en mejores condiciones prácticas y económicas, sin embargo, hasta llegar al volumen de 500 000 metros cúbicos; volúmenes (2), todavía pueden extraerse por ambos pozos en iguales condiciones, salvo la zona común a los dos conos, que resta eficacia a uno de ellos; pero además, aun en el caso de necesitarse una mayor ampliación, puede continuarse la excavación por el pozo segundo de los volúmenes (3), como se deduce de las figuras 4.^a y 8.^a, en las que se aprecia el gran volumen de reserva que queda en la parte alta de su cono gracias a la topografía de la parte superior de la Peña Mayor.

Los embudos representados en la misma figura 8.^a corresponden al estado de la cantera cuando iban extraídos unos 300 000 metros cúbicos. El volumen total a extraer, como hemos indicado, es de 350 000 metros cúbicos, y para el establecimiento y preparación de la cantera se han tenido que excavar previamente los siguientes volúmenes:

En la galería de evacuación	2 360,00 m. ³
En la trinchera y pozo núm. 1	590,00 »
En la trinchera y pozo núm. 2	1 240,00 »
	4 190,00 »
TOTAL	4 190,00 »

que representa solamente el 1,19 por 100 del total.

En cuanto a los costes reales obtenidos en este caso de Compuerto, comparados con los calculados teóricamente a base de hacer la explotación al mismo ritmo pero con los procedimientos ordinarios y realizando la carga del material obtenido en cantera a mano y con pala mecánica, resultan proporcionales a las siguientes cifras:

- 58 para el coste del m.³, a base de realizar la carga en cantera, manualmente.
- 34 para el coste del m.³ con carga en cantera, con pala mecánica.
- 28 para el coste del m.³ obtenido en Compuerto, con los "pozos-vertedero".

O sea, que tomando como base el primero, la economía obtenida en Compuerto es del 52 por 100, y con relación al segundo, o sea con el empleo de pala mecánica para la carga en cantera, la economía resultante es del 16 por 100.

Finalmente, antes de terminar, vamos a indicar también los principales inconvenientes que pueden presentarse en este tipo de explotaciones, que son los siguientes: la imposibilidad, en la mayoría de los casos, de preparar grandes voladuras, que abaratan también en gran escala, como es sabido, el arranque de la piedra; otro factor desfavorable que hay que tener en cuenta, especialmente en ciertos climas, es la gran cantidad de agua de lluvia o de nieve que en ciertos momentos puede recogerse en los embudos de los pozos-vertedero, aunque esto puede solventarse con el establecimiento de unos buenos desagües en la galería de evacuación; no se puede evitar la variación bastante grande que se puede producir en el grado de humedad de la piedra arrancada almacenada en el interior de los pozos. Por otra parte, es necesario también que la cantera sea limpia y uniforme en su constitución interna, ya que sólo se pueden eliminar eficientemente las zonas no aprovechables que se encuentran en la superficie del terreno; la existencia de estas zonas inexplotables en el interior de los embudos pueden producir inconvenientes de tal envergadura que hagan totalmente desechable la aplicación del sistema; para evitar este inconveniente, en caso de duda o en el de que sea de temer su presencia, no hay más remedio que comprobar previamente con unos cuantos sondeos la calidad de la roca subyacente, antes incluso de empezar la apertura de la galería de evacuación.

El caso más apropiado para el establecimiento de los "pozos-vertedero" o "pozos-tolva", es, sin duda, cuando se presentan frentes de gran altura o laderas con fuertes inclinaciones, en las que la obtención del espacio necesario para los accesos y para la maniobra de los medios auxiliares es difícil y costosa.

En último término presentamos, para completar esta información, una serie de fotografías tomadas en el interior de los conos formados en la cantera de Compuerto, que dan mejor idea de las proporciones alcanzadas por los mismos, así como del aspecto general de los frentes de arranque de la piedra y de su acumulación hacia el fondo de los embudos.