

para que pueda verse el mecanismo del martinete) unidos con pernos á la pieza plana *B*; esta última sirve para unir las á las varillas superiores de la sonda, por medio de una barra cuadrada *f*, terminada por una espiga adelgazada. Para impedir que la pieza *A* abandone la plancha, estas últimas están reunidas en su parte inferior por un anillo de hierro *bb*, sólidamente unidos con pernos, y la pieza *A* está provista de las orejeras *cc*, unidas por ranuras; la pieza *A* está terminada encima de las orejeras por una varilla cuadrada que lleva en su extremidad un saliente triangular *a* que está asido en lo alto de la varilla por las pinzas *ss*; estas pinzas se componen de dos patas *qs qs* terminadas por las levas *ss* movibles alrededor de los pernos *ll* fijados á las dos planchas y reunidos al otro lado por dos articulaciones *ee* á una varilla doble *z*, la cual se desliza por el espesor de las planchas y de la pieza *B*; los dos brazos de esta doble varilla están unidos á un disco *R* formado por rondoles de cuero superpuestos, de un diámetro casi igual al del agujero, bastante flexibles para que la resistencia del agua pueda encorvarlos, y cerrados por tuercas entre dos discos de palastro de ménos diámetro; el disco *R* está enfilado y puede correr libremente sobre la barra *f* que limita su ascension por la parte superior. Cuando despues de haber levantado á una altura conveniente la varilla de la sonda arrastrando el trépano, se deja caer libremente; la resistencia opuesta por el agua que llena el agujero al movimiento del disco impide á este último seguir á la varilla que desciende sin él; este movimiento relativo abre las pinzas, y el trépano que ha quedado independiente de la varilla cae más rápidamente. El ensanchamiento superior de la barra *f* obliga bien pronto al disco á seguir el movimiento de la varilla y á venir á colocarse de manera que las levas *ss* estén encima del saliente *a*, manteniendo separadas las pinzas la resistencia del agua sobre el disco. Cuando se retira la sonda, obrando la resistencia del agua en sentido contrario, la impide seguir el movimiento; las pinzas se cierran, las levas asen el saliente *a*, y el trépano es arrastrado cuando las orejeras *cc* vienen á pasar por el anillo *bb*.

Con ayuda de este instrumento perfeccionado, se ha conseguido llegar en el orificio de sonda de Mondorf, cerca de Luxemburgo, á una profundidad mucho mayor que la del célebre pozo de Grenelle.

**ENTUBADO DE LOS AGUEROS.** Los agujeros de sonda destinados, sea á traer á la superficie las aguas, sea á desembarazarse de las que corren por la superficie, haciéndolas ser absorbidas por una capa permeable, deben estar provistas de tubos bien contruidos, con objeto de prevenir los hundimientos, y sobre todo en los pozos artesianos propiamente dichos, para impedir la absorcion de una parte de las aguas por una capa permeable intermedia; á este efecto, el revestido debe apoyarse sobre la capa impermeable que recubre inmediatamente la capa de agua, y es preciso que haya una junta exacta entre su contorno exterior y esta capa.

El empleo de tubos de madera es el más duradero y más económico, pero tiene el grave inconveniente de disminuir notablemente el diámetro interior del agujero de sonda, á causa del espesor considerable (0<sup>m</sup>.03 á 0<sup>m</sup>.04 por lo ménos) que hay que dar á los tubos; se unen éstos por bridas ó por juntas, consolidadas exteriormente por fajas ó por un manguito de palastro delgado metido en un ruedo de madera.

Se emplean algunas veces tubos de fundicion unidos por juntas de tornillo ó por bridas y recubiertos con remaches; éstos son de más duracion que los tubos de palastro. Estos últimos, empleados solamente como tubos de retencion, no sirven para el revestido definitivo, por haber demostrado la experiencia que se oxidan demasiado pronto, áun con las aguas más puras.

Suelen usarse tubos de cobre de roseta laminados, algunas veces estañados por dentro, y que teniendo un espesor mucho más pequeño que los de palastro, no cuestan en definitiva á un precio más elevado sino en una mitad más, y duran mucho más tiempo. Cuando las aguas son sulfurosas, se emplean ventajosamente tubos de zinc. Finalmente, en el pozo de Grenelle se han empleado con buen éxito tubos de palastro galvanizado.

Cualquiera que sea la forma del revestido empleada, habiendo bajado el tubo de ascension en el orificio, se le sujeta y se llena el hueco existente entre las paredes del agujero y el contorno exterior del tubo en toda su altura, con una buena argamasa.

Una vez establecido el tubo de ascension, se le prolonga provisionalmente fuera de la superficie del suelo, hasta que el agua no pueda derramarse por su orificio superior; de este modo se determina el nivel hidrostático de los manantiales que le alimentan. Se le rebaja en seguida segun la altura á que se quiere elevar el agua y el gasto que se trata de obtener, disminuyendo este último con mucha rapidez á medida que se eleva el depósito y se da salida á las aguas ascendentes.

Cuando se comprueba cierta disminucion en el volúmen de agua gastado primitivamente por un pozo artésiano, lo primero que se debe hacer es determinar nuevamente el nivel hidrostático de este pozo. Si este nivel no ha variado, la disminucion del volúmen de agua es debida, sea á una obstruccion de la sonda, sea á un atascamiento de los canales subterráneos á causa de desprendimientos interiores en la capa de agua, sea tambien algunas veces á la existencia de un nuevo pozo abierto en las cercanías. Se hace desaparecer la obstruccion del pozo, haciendo pasar nuevamente la sonda provista de un taladro, un cilindro de válvula ú otro instrumento apropiado. El atascamiento de los canales subterráneos es por lo general un accidente momentáneo; basta casi siempre, para hacerlo cesar, producir variaciones bruscas en el movimiento de la columna de agua ascendente, ya tapando imperfectamente el tubo con un cilindro de madera y retirándolo bruscamente, ya haciendo jugar con una gran velocidad dentro del tubo un verdadero émbolo de bomba, provisto de una válvula.

Si ha bajado el nivel hidrostático el accidente es mucho más grave, y es casi seguro que la disminucion observada obedece á un defecto de union del tubo ascensional con los bancos superiores á la capa de agua, ó á las averías sobrevenidas en la altura de este tubo, por donde una parte de las aguas ascendentes se infiltra en los terrenos permeables superiores. Es necesario entonces extraer el tubo mal sujeto ó deteriorado, sustituyéndole con otro, operacion delicada y costosa que necesita casi siempre el ensanchamiento del agujero de sonda en una gran parte de su profundidad.

**SONDAJE CON CUERDA.** El sondaje de cuerda ó *sondaje chino* es el procedimiento más sencillo que se conoce y el más antiguo, puesto que se emplea desde tiempo inmemorial por los chinos, que no conocen otros. Se hizo mencion de él por primera vez en Europa en la relacion de un viaje pintoresco publicado en Amsterdam á últimos del siglo XVII, en donde se dice que «los chinos practican agujeros en la tierra á profundidades muy grandes por medio de una cuerda armada de una mano de hierro, la cual trae á la superficie los detritus del fondo.» Más recientemente, en 1827, un misionero ha venido á confirmar este hecho y á dar detalles más circunstanciados sobre este método de perfeccion, dando á conocer lo que habia observado en la provincia de Ou-Tong-Kiao, en la que dice «se hallan en un espacio de cuatro leguas de ancho sobre diez de largo muchos miles de pozos, abiertos desde tiempo inmemorial, para la explotacion de las aguas saladas y de sustancias bi-



tuminosas que se encuentran próximamente á 1.800 piés de la superficie. » Algunos pozos que habian perdido la sal han sido prolongados hasta 3.000 piés de profundidad, dando origen á lo que se llama volcanes artificiales, esto es, á corrientes de gas hidrógeno carbonado que se emplea para producir el calor necesario para la cristalización de la sal en calentadores de hierro, en número de más de 300 en un solo establecimiento.

La máquina que se emplea ordinariamente es muy sencilla; es una simple cabria provista de una polea de retorno y de un torno, sobre el que se arrolla la cuerda. Se imprime á ésta un movimiento de campana por medio de muchas cuerdecillas, sobre las que obran los operarios empleados en este trabajo; estas cuerdecillas están fijas á la cuerda por una especie de porta-mosqueton que se hace deslizar á voluntad por la cuerda conforme se va profundizando el pozo. La alzada de la sonda varía desde 0<sup>m</sup>.30 á 0<sup>m</sup>.60 lo más. Se emplean cuerdas ó cables de alambre con ánima de cáñamo; las cuerdas de cáñamo ofrecen menos resistencia y duracion; los chinos se sirven de cuerdas de bambú trenzado.

En los terrenos duros se emplea un pilon colado en molde metálico para que los dientes que le terminan tengan la dureza del acero. Está terminado por una varilla de hierro, que lleva en su parte inferior una punta de acero que sirve de destrozador y vuelve á caer siempre en el agujero de direccion. Lo alto de la varilla, que puede tener muchos metros, está provisto de una especie de cruz de Malta de acero ó solamente de una simple corona, para prevenir toda desviacion del instrumento de la línea vertical. El pilon está acanalado exteriormente, á fin de permitir que el fango se desprenda, y ahuecado por el interior, de manera que forma un cono invertido destinado á recibir los detritus que saltan á cada golpe durante la operacion. Cuando este cono interior está lleno de detritus, lo que es fácil saber cuando se conoce su capacidad, el avance y el diámetro del tubo, se saca el instrumento para vaciarlo.

Cuando es necesario recurrir á un entubamiento para sostener las paredes del orificio, es preciso, para hacer enfilear la columna de tubos, cavar por debajo con un diámetro mayor; basta para esto suspender el pilon por un punto que no pase por su centro de gravedad; se inclina entonces hácia un lado y produce, volviendo sobre sí mismo, un agujero más ancho que su propio diámetro, lo que permite hacer enfilear la entubacion sin esfuerzo. En los terrenos mojados se hace uso de un saca-bocados, ó cuchara de válvula, provisto de un pilon y dos válvulas que se abren en ala de mariposa en el fondo de un cilindro, formado de palastro fuerte acerado en su base; cuando se trata de quitar el fango, la arena ó la arcilla, basta hacer bajar esta cuchara al fondo del agujero y hacer obrar el pilon, que gira á lo largo de la varilla y hiere á pequeños golpes sobre la tubería para hacerla entrar en la materia blanda; esta masa levanta las válvulas y penetra en el cilindro. Cuando se retira por completo, las válvulas se cierran, si la materia es movable; pero quedan abiertas si la materia es plástica, lo que no le impide ser arrastrada y conducida á la superficie. Cuando no se trata más que de extraer arena gruesa poco agregada, guijarros ó cantos rodados, basta para traer llena la cuchara imprimir á ésta durante algun tiempo un movimiento de campana, porque la caída de este instrumento produce en su interior una corriente ascensional muy rápida que arrastra las piedras y las hace entrar en la cuchara, en tanto que el agua se filtra por los agujeros abiertos en la parte superior. Con poco gasto se sonda de este modo 8 á 11 metros diarios en creta: en Francia se hacen así pozos á 10 pesetas el metro.

SONDAJE CON VARILLA HUECA. Acabamos de ver que la principal causa de la lentitud de la

perforacion con las sondas de varilla rígida proviene de la necesidad de retirar de cuando en cuando el instrumento para limpiar el agujero por medio de un útil apropiado; hemos visto igualmente que se aumentaba mucho la velocidad de la perforacion reemplazando la varilla rígida por una cuerda, lo que abrevia considerablemente el ascenso y descenso de la sonda, y disponiendo el instrumento perforador de manera que reciba al propio tiempo los detritus de la operacion, lo que suprime el empleo de un instrumento especial para la limpieza. En lugar de tratar de aumentar la rapidez de maniobra de limpieza del agujero, como se habia hecho con la sustitucion de la cuerda en vez de la varilla rígida de la sonda, era posible proponerse hacer desaparecer esta operacion haciéndola continua é independiente del movimiento de la sonda; abordando la cuestión bajo este punto de vista se ha llegado á la ingeniosa solucion que vamos á describir.

El aparato se compone de una sonda hueca formada de tubos atornillados extremo con extremo; la parte inferior de la sonda está armada de un instrumento perforador apropiado á los terrenos que se trata de atacar. El diámetro de este instrumento es mayor que el de los tubos, á fin de dejar al rededor de éstos un espacio anular por el que el agua y los materiales puedan subir. La extremidad superior de dicha sonda está en comunicacion con una bomba impelente, por medio de tubos articulados, que siguen el movimiento descendiente de la sonda en una longitud de algunos metros. La sonda está animada de un movimiento de rotacion ó de percusion por medio de un torno de trinquete. La cábria y el torno para subir, bajar y sostener la sonda no tienen nada de particular.

Cuando se quiere hacer obrar la sonda, se comienza siempre por poner la bomba en movimiento. Se inyecta hasta el fondo del agujero y por el interior de la sonda, una columna de agua, que subiendo por el espacio anular comprendido entre la sonda y las paredes del pozo, establece la corriente ascensional que debe arrastrar los detritus; se hace entonces obrar la sonda como una sonda ordinaria, por percusion; y á medida que una parte de la roca se rompe ó se separa con el instrumento, es arrastrada en el mismo instante por la corriente ascensional. Resulta de esta marcha que siendo arrastrados constantemente los escombros por el agua, no hay necesidad de subir la sonda para quitarlos, lo que procura una gran economía de tiempo. Una ventaja igualmente preciosa, por lo ménos, es que el instrumento perforador no se atasca nunca con los detritus, y que obra siempre sin trabas en el fondo del agujero. Si añadimos á esto que la experiencia demuestra que los desprendimientos son casi nulos en los terrenos en que la sonda los determina casi siempre, habremos enumerado las principales ventajas de este nuevo método de sondaje. Están comprobadas además por perforaciones diversas. Entre ellas una empezada en Perpiñan el 1.º de Julio de 1846, estaba terminada el 23 por haber encontrado agua brotante á una profundidad de 170 metros; si de estos veintitres dias se descuentan tres domingos y seis dias perdidos, queda reducido el tiempo real empleado en la operacion á catorce dias de trabajo efectivo, á diez horas por dia, lo que representa un avance medio de 12 metros por cada dia de trabajo.

En el sistema que acabamos de describir se ve que la inyeccion del agua tiene lugar por el interior de la sonda. La experiencia ha hecho reconocer que cuando se encuentran guijos ó piedras de cierto volúmen, era preferible inyectar el agua por el agujero, y hacerla subir por el interior de la sonda. La mayor velocidad que puede imprimirse al agua, y el calibre más exacto del interior de la varilla de la sonda, permiten hacer subir asimismo piedras que la maniobra ordinaria obligaria á romper antes; se han elevado por este medio



guijarros de 0<sup>m</sup>,06 de longitud por 0<sup>m</sup>,03 de grueso. La idea de hacer subir el agua por el interior de la sonda, ofrece un medio fácil de perforar más abajo de una capa de agua brotante sin necesidad de bomba; bastará cerrar herméticamente el orificio del pozo, de manera que deje libre el juego de la sonda, y cuando el agua brotante sea obligada á ir á buscar la parte baja de la varilla hueca para encontrar una salida, arrastrará y conducirá á la superficie todos los escombros. En los agujeros abiertos hasta una profundidad considerable y con un diámetro grande se podrá reducir cómodamente el peso de la sonda, haciendo de madera la varilla hueca y facilitando así la maniobra; pero en este caso como el instrumento está fijo á la sonda y se aminora el efecto útil del mismo sobre la roca, para evitar la vibración de la varilla puede interponerse una corredera entre ésta y el instrumento, solamente que esta disposición no remediará la pérdida de fuerza viva debida á la masa de la sonda y no vemos el medio de conseguirlo, porque la necesidad de conservar la circulación del agua se opone al empleo de los mecanismos ordinarios.

**POZOS INSTANTÁNEOS.** Para terminar todo lo referente á este asunto, y sin desarrollar más lo referente á pozos artesianos, nos toca decir algo de los pozos instantáneos, muy recomendados en estos últimos años.

Abrese un pozo de este género colocando un tubo de hierro, terminado en su parte inferior por un trozo cónico lleno de agujeritos, verticalmente y enterrándolo en esta dirección por medio de golpes que se le dan por su cabeza. Al efecto se disponen tres piés de madera con una polea de retorno colgada de su union, y por ésta pasa una cuerda que sostiene un peso en un extremo, destinándose el otro, con varios cordeles si es preciso, para que tiren varios hombres. Estos levantan la pesa y la dejan caer sobre el tubo, con lo cual, y á poco que se guie éste, se consigue irlo enterrando; la tierra se comprime con el cono del tubo. Si no basta uno se empalma éste con otro y se continúa la operación.

El agua penetra por los agujeritos y sube por el tubo; sale por lo alto si trae presión, como en los pozos artesianos, ó queda tan sólo á cierta altura y hay que aplicar una bomba, si no hay carga; esto es lo más común. El terreno en que esto puede hacerse tiene que ser no muy consistente, para que se apelmace y deje hueco al tubo; se usa principalmente en arenales ó tierras vegetales de bastante profundidad.

Este medio es recomendable, principalmente por lo espedito. Se ha usado en algunas guerras en Africa, desde 1870; pues el mecanismo auxiliar no puede ser más sencillo, para proveer de agua los campamentos. Es muy buen sistema en terrenos sueltos donde se sabe que hay una capa de agua á poca profundidad, como sucede en algunas llanuras de España.

El enterrar el tubo es cuestion de poco tiempo, unas horas lo más, y de aquí la utilidad de este sistema para obtener rápidamente aguas; en cambio, como la toma de agua es pequeña, no puede sustituir á un pozo ordinario, si se destina á un uso continuo y permanente.

## CAPÍTULO XII

### Máquinas para elevar el agua (1)

**TRABAJO MECÁNICO DE ELEVACION.** La elevación del agua es el problema reciproco de los motores hidráulicos, cuando el líquido obra en estos por su peso. En efecto, el agua que actúa en los cajones de una rueda, (tratado primero pág. 146) obliga á ésta á girar y se aprovecha su fuerza motriz trasmitida por un árbol en una faena industrial cualquiera; si por el contrario, aplicamos un motor á dicho árbol, por ejemplo, una máquina de vapor, y le hacemos girar en sentido contrario del anterior, elevaremos el agua de los cajones desde lo bajo á lo alto de la rueda, con una fuerza motriz igual á la que ésta suministraba en el caso primero.

Elevar aguas es el trabajo mecánico más sencillo posible, y su cálculo se hará del mismo modo que el de un motor hidráulico. Teniendo en cuenta que un decímetro cúbico ó sea un litro de agua pesa un kilogramo (pag. 6), bastará multiplicar el número de litros por la distancia vertical en metros, para tener el número de kilográmetros de trabajo mecánico necesarios para elevar el agua (Véase el tratado primero, capítulo VI pág. 144). Este trabajo teórico, dividido por 75, nos dará el número de caballos de vapor que han de aplicarse al aparato destinado á elevar el agua.

Este cálculo necesita corregirse para atender al trabajo consumido por las resistencias, esto es, por la máquina destinada á subir el agua, una noria, por ejemplo. No puede contarse sobre ésta más allá de 45 del trabajo teórico, y de aquí la necesidad de reducir la cantidad de agua que sube la máquina, multiplicándola por dicho *coeficiente*, que es 0,8. En la mayor parte de los casos no se llega siquiera á éste, y hay que emplear coeficientes 0,7, 0,6, y á veces menores. Además de esto es preciso contar con el coeficiente propio del motor, y multiplicar por él el cálculo teórico.

(1) Nuestro guía para este asunto, son las obras de Nadault, de Buffon y de Barral, varias veces citadas; y además hemos consultado, para algunos datos españoles, la monografía del ingeniero industrial Sr. Balaguer, titulada: *Riegos por medio de norias, bombas, etc.*