

tamos de Pozo del Cármén en San Luis, y el de Peña Pobre en el Valle de México. Por lo regular estas capas basálticas de poco espesor se encuentran en las pendientes de las montañas, en sus cercanías, y en las llanuras. Los pórfidos volcánicos de México tienen generalmente numerosos planos de separación, lo que hace que en las montañas formadas de esas rocas existan manantiales que por lo regular son de una agua excelente y de color opalino que los campesinos llaman *agua zarca*. Las montañas de pórfido, así como las de traquita, tienen generalmente espaciosa mesetas y acantilados columnares que facilitan la absorción del agua, y si las formas de las pendientes, la situación de los thalwegs, etc., son favorables, se encuentran en ellas algunos manantiales de consideración, sobre todo en las cañadas profundas en que por lo regular se ven muchos árboles frondosos contrastando con la aridez de las demás partes de la montaña, y su presencia indica la existencia de la corriente subterránea en el thalweg.

Muchos ejemplos podrían citarse de este caso, pero bastará referirse á los manantiales de Ciénega de Mata en el Estado de Jalisco, y al ojo de agua de Mimihuapam en el de Tlaxcala. En Ciénega hay una formación porfídica muy extensa, en cuyas montañas muy pobres de vegetación no crecen más que los cactus; pero en un semicírculo adonde concurren muchos thalwegs, brotan ricos manantiales sobre el terreno detrítico, y la vegetación allí es frondosa y variada.

Mimihuapam es una hacienda situada en los Llanos de Apam, donde tan escasos son los manantiales y aun las lluvias; pero hay allí unas montañas de pórfido coronadas de mesetas, y en un thalweg profundo y abarrancado brota el manantial á que nos referimos. Son suficientes los casos referidos, sobre las rocas compactas sin estratificación, porque basta que el observador recuerde las reglas citadas en este capítulo, para que en su conjunto le indiquen las probabilidades de encontrar las corrientes subterráneas á una profundidad conveniente.

Las rocas estratificadas presentan circunstancias más propicias para la cuestión de que venimos ocupándonos, á causa de

los planos de estratificación que presentan, y por los cuales pueden circular las aguas absorbidas. La cuestión principal en este caso es la de examinar las inclinaciones relativas de las capas, así como la posición de las rocas permeables respecto de las impermeables.

Entre las rocas estratificadas que con más frecuencia se pueden encontrar en México debemos citar las calizas, las margas, las tobas, las arcillas, los aluviones y las pizarras. Las montañas de roca caliza compacta, presentan por lo regular pocos manantiales á causa de las oquedades, grutas y galerías que contienen en su masa, y por donde se van las aguas subterráneas: hay algunas grutas que dan paso á verdaderos ríos, como sucede en las bocas inferiores que hay en la montaña donde se halla la caverna de Cacahuamilpa. En un barranco anexo á la montaña se ven dos grutas por donde aparecen dos corrientes, que unidas constituyen el río Amacusac. Existen, sin embargo, algunos manantiales en las montañas calcáreas, y para buscar su situación, así como la presencia de corrientes subterráneas, debe atenderse, como en los casos anteriores, á la forma de las montañas, á la posición de los thalwegs, al concurso de éstos y á la posición de las rocas permeables respecto de las que no lo son, pues muy frecuentemente se encuentran en las montañas calcáreas otras capas y formaciones de diferente naturaleza.

En las formaciones de pizarras, deben estudiarse esas mismas sobreposiciones, y además los planos verticales ú oblicuos que cortan las direcciones de la estratificación.

Las tobas, margas, aluviones y arcillas constituyen formaciones extensas en nuestros valles y en los lomeríos que en ellos se encuentran, pues esas rocas son notablemente abundantes en México.

Por lo regular los lomeríos de esa naturaleza, están apoyados sobre las pendientes de las montañas de rocas ígneas ó metamórficas, y reciben las corrientes que atraviesan á éstas. En tales formaciones se encuentra con mucha frecuencia esa alternación que se requiere de capas permeables é impermeables, pues los bancos de arena, de trípoli, de toba ó de gujarros rodados,

alternan con los bancos de toba endurecida, de marga compacta y de arcilla. Lo que ántes se dijo del Valle de México puede servir de ejemplo para esta clase de formaciones, así como el acueducto formado sobre las lomas tóbricas en el valle de Guadalupe.

Las tobas poco coherentes, los arenales y aluviones extensos no pueden contener corrientes subterráneas sino hasta su apoyo sobre las capas impermeables.

Formaciones arcillosas.

Las formaciones gruesas de arcilla tampoco pueden contener corrientes en su masa, porque las aguas pluviales no las pueden penetrar, salvo el caso de encontrar juntas apropiadas para su circulación: si la formación arcillosa tuviere intercalaciones de capas de rocas permeables, podrán buscarse las corrientes subterráneas con probabilidades de éxito.

Modo de hacer las perforaciones.

Dadas las reglas para buscar los puntos más propicios para hallar las corrientes subterráneas, veamos ahora la manera de practicar las perforaciones.

Fuentes artificiales, pozos comunes y pozos artesianos.

Las aguas que se ponen á descubierto pueden conducirse á puntos más bajos, pueden quedar á cierta profundidad de la superficie del terreno ó elevarse sobre esta superficie cuando son corrientes brotantes; de aquí los diversos modos de poner esas aguas á descubierto por excavaciones y conductos, por pozos comunes y por pozos artesianos.

Fuentes ó manantiales artificiales.

Para el primer caso debe cuidarse de elegir el punto de la perforación, calculando que la capa de agua que se va á encontrar tenga un nivel suficientemente elevado para conducirla al lugar deseado.

Corriente que camina cerca de dos pendientes de roca compacta.

Cuando la corriente subterránea camina cerca de dos pendientes de roca compacta que la obligan á reconcentrarse, bastará hacer una excavación sobre el curso del thalweg: la excavación será circular y de dos ó tres metros de diámetro, ó más, según las circunstancias lo demanden.

Corriente que pasa por un terreno detrítico.

Si la corriente se hallare en un terreno detrítico, sucede generalmente que al lado de la corriente principal pueden hallarse otras, y para aprovecharlas todas, conviene hacer un corte ó vallado cortando la dirección del thalweg: la anchura y longi-

tud de esa sección se graduarán según los casos, atendiendo á la cantidad de agua que se desea aprovechar, y también á los costos de la excavación. Al hacer el vallado debe tenerse cuidado de evitar los derrumbes, poniendo ademes provisionales hasta concluir la excavación, la cual debe llevarse un poco más abajo del nivel en que sale la corriente principal; se dará un declive conveniente al piso para que el agua se reúna en uno ó en los dos extremos, y se procederá luego á ademar convenientemente la excavación y á practicar el canal de salida, al cual se pondrán tubos ó ademes de madera, mampostería, etc.

Modo de hacer y ademar la excavación.

Paramelle aconseja que los ademes de la excavación se hagan con mampostería seca, es decir, sin mezcla ni cemento alguno, para que el agua pueda pasar libremente por las juntas. A este fin se pondrán en la base de la excavación algunas duelas ó losas, siempre que el fondo sea inferior al nivel de la corriente, pues en caso contrario se pondrán solamente algunas piedras sueltas para no estorbar el paso del agua. Las paredes se ademarán con piedras labradas, acomodadas de modo que el agua pueda también pasar por sus juntas; un poco más arriba del nivel de las filtraciones se colocarán algunas losas sobre los muros para formar la caja del agua; se rellenará un poco con piedra suelta y al fin con tierra aprovechando la de la excavación.

La conducción del agua se hará por tubos ó canales arreglados convenientemente, evitando que su fondo sea permeable.

Si la excavación tuviere que efectuarse sobre el thalweg exterior, se apartará la corriente superficial por un dique ó canal de desviación para que en tiempo de lluvias no atierre ni descomponga la excavación. Para la mejor conservación de las cajas receptoras del agua, hay necesidad de dejar un pequeño respiradero que se cubre con una losa, y sirve para dar salida al exceso de agua en tiempo de lluvias, así como para la entrada del aire en la caja y la fácil circulación del agua por los tubos.

Derivación de la corriente superficial.

También se puede construir una bóveda sobre el corte del terreno, como se hace en los acueductos ordinarios, teniendo

cuidado solamente de dejar los intersticios inferiores para facilitar la filtracion del agua en el origen de la corriente.

No debe ponerse ningun dique á la corriente subterránea, que la obligue á subir su nivel natural.

Aconseja Paramelle que por ningun motivo se ponga algun dique ú otra construccion, sea en el fondo del pozo ó en un costado, con el fin de represar el agua para que suba de nivel, porque la corriente al retroceder por un canal natural, puede encontrar otra salida más fácil y perderse por allí.

Pozos comunes.

POZOS COMUNES.—En éstos, cuando no se trata de llevar el agua por un canal, se debe buscar el lugar más apropiado, siguiendo tambien las reglas para encontrar los puntos en que las corrientes subterráneas se hallan á menor profundidad, y son más abundantes en agua. Los pozos deben ademarse conforme á lo indicado, y dando al revestimiento la estabilidad necesaria, sobre todo cuando el pozo tiene una profundidad considerable: debe recomendarse que la excavacion se profundice un poco más que el nivel de la corriente. En cuanto á los medios de elevar el agua á la superficie, son bastante conocidos para detenernos en detallarlos; sólo sí recomendaremos el uso de los molinos de viento, aplicados á las bombas, cuyo uso no se ha generalizado como debiera en el país pues es sabido que en varias épocas del año, especialmente en la estacion de secas, soplan vientos capaces de mover esos molinos. El agua de las bombas puede irse depositando en atarjeas ó estanques, y servir para los ganados ó emplearse en las irrigaciones.

Modos de elevar el agua de los pozos.

Pozos artesianos.

POZOS ARTESIANOS.—Los mencionaremos adoptando la clasificacion de la obra de Vilanova, es decir, considerar tres sistemas de pozos: *tubulares*, *ascendentes* y *artesianos* propiamente dichos. Antes de emprender este estudio, conviene explicar el ascenso de las aguas artesianas, no obstante que debe comprenderse con la lectura de lo expuesto en este capítulo acerca del régimen de las aguas subterráneas.

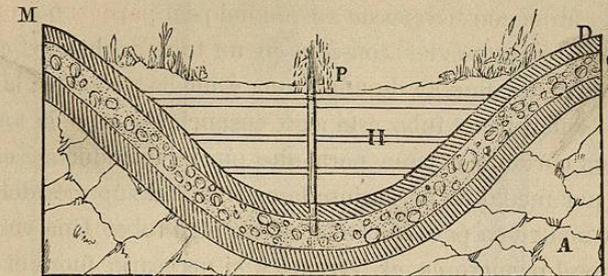
Tres sistemas de pozos.

Explicacion del ascenso del agua.

Toda la explicacion se reduce á considerar las leyes de equilibrio de los líquidos, teniendo presentes las condiciones que ellos requieren en los vasos comunicantes. Para mayor claridad se inserta aquí la figura que en los tratados de fisica da cuenta de ese equilibrio, considerando las aguas subterráneas compri-

midas entre capas impermeables, y que tienden á ocupar su nivel.

Fig. 43ª



Corte de un valle.

En esta figura se representa una cuenca geológica, formada en tres épocas diferentes: la primera parte A está constituida por rocas informes, no estratificadas y que pueden ser de pórfido ú otra roca; sobre ella se acomodaron más tarde las capas sedimentarias B C D que sufrieron el mismo movimiento que aquellas: despues se depositaron las capas horizontales H. Las B y D se suponen ser de arcilla ú otra roca impermeable y la C de arena ó aluvion de guijarros. Se supone que la filtracion de las aguas se hace en M, y que se encuentran comprimidas por las capas B y D, como si corriesen por un tubo. Si en estas circunstancias se rompe la capa D por una perforacion P, equivale á formar así un brazo corto de sifon, y en virtud de las leyes hidrostáticas citadas, el líquido ascenderá por el tubo P, tendiendo á llegar hasta la altura M, á lo cual no alcanzará, tanto por el rozamiento que la corriente irá sufriendo en las paredes y obstáculos que encuentra en las capas que atraviesa, como por la resistencia del aire.

Este caso explica el ascenso de las aguas artesianas y apoya lo que ántes se ha asentado sobre las observaciones geológicas y topográficas, que deben preceder á la eleccion del lugar donde debe abrirse un pozo artesiano, para calcular si podrá haber aguas que procedan de puntos elevados y corran ó se hallen depositadas entre capas impermeables. Hechas estas explicaciones, emprendemos el estudio anunciado.

Pozos tubulares.

POZOS TUBULARES.—Llámanse así á unas perforaciones de poca profundidad que en general no pasan de diez metros, y en los que el aparato perforador queda introducido en el terreno, sirviendo al mismo tiempo de ademe del pozo.

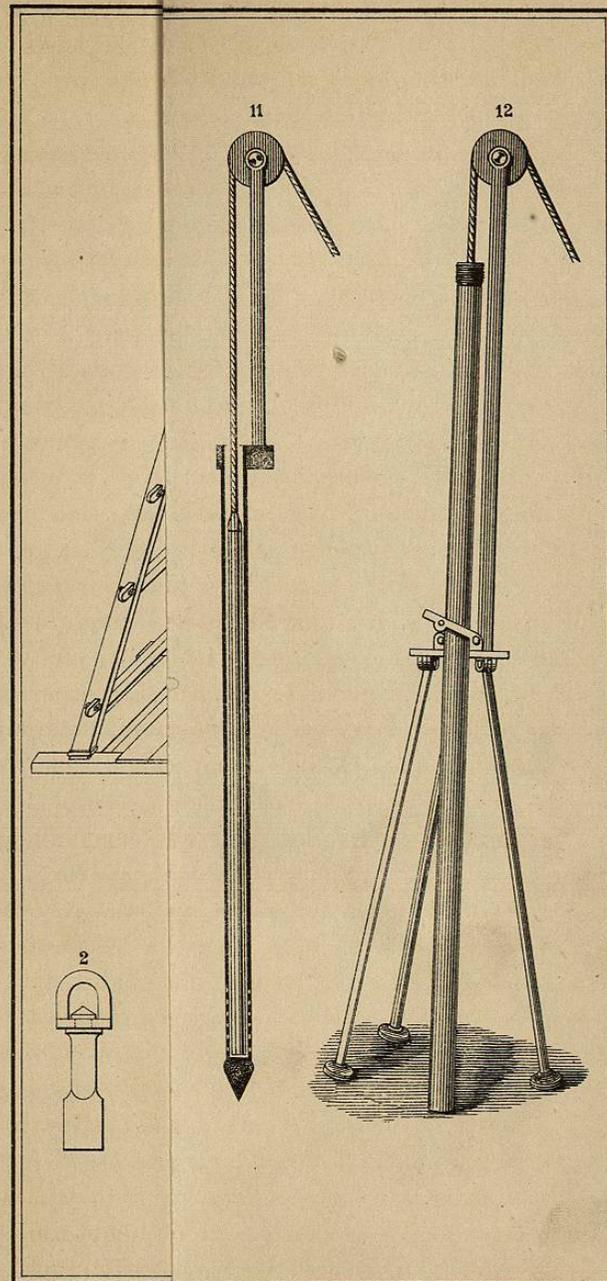
Aparato de Norton.

El aparato perforador consiste en un tubo de hierro, cuya seccion es generalmente de una á una y media pulgadas; la extremidad inferior del tubo está algo ensanchada bajo la forma de lámina cortante ó cuña para que pueda introducirse en el terreno por medio de percusion; la extremidad superior del tubo tiene una rosca para atornillarse con otro tubo. Una vez introducido el primero en el terreno, y si necesario fuere el ir á mayor profundidad, se atornilla un nuevo tubo que tendrá sus dos extremos con rosca, y así deberán estar arreglados los demás tubos adicionales. Colocado el primero sobre el terreno, en una posicion perfectamente vertical, se le pone una pieza de acero sobre su extremo superior para evitar que los golpes deterioren el tornillo, y se golpea fuertemente con un mazo, martinete, etc., hasta que se haya introducido en la tierra. Los tubos tienen generalmente una longitud de uno á uno y medio metros. Debe advertirse que la extremidad inferior del primer tubo, y hácia arriba de la cuña, tiene un gran número de pequeñas perforaciones para facilitar la entrada del agua y evitar que penetre la arena ú otras sustancias al interior del tubo. Para mayor claridad presentamos la siguiente lámina, tomando los dibujos de las obras de Vilanova y de Degousée.

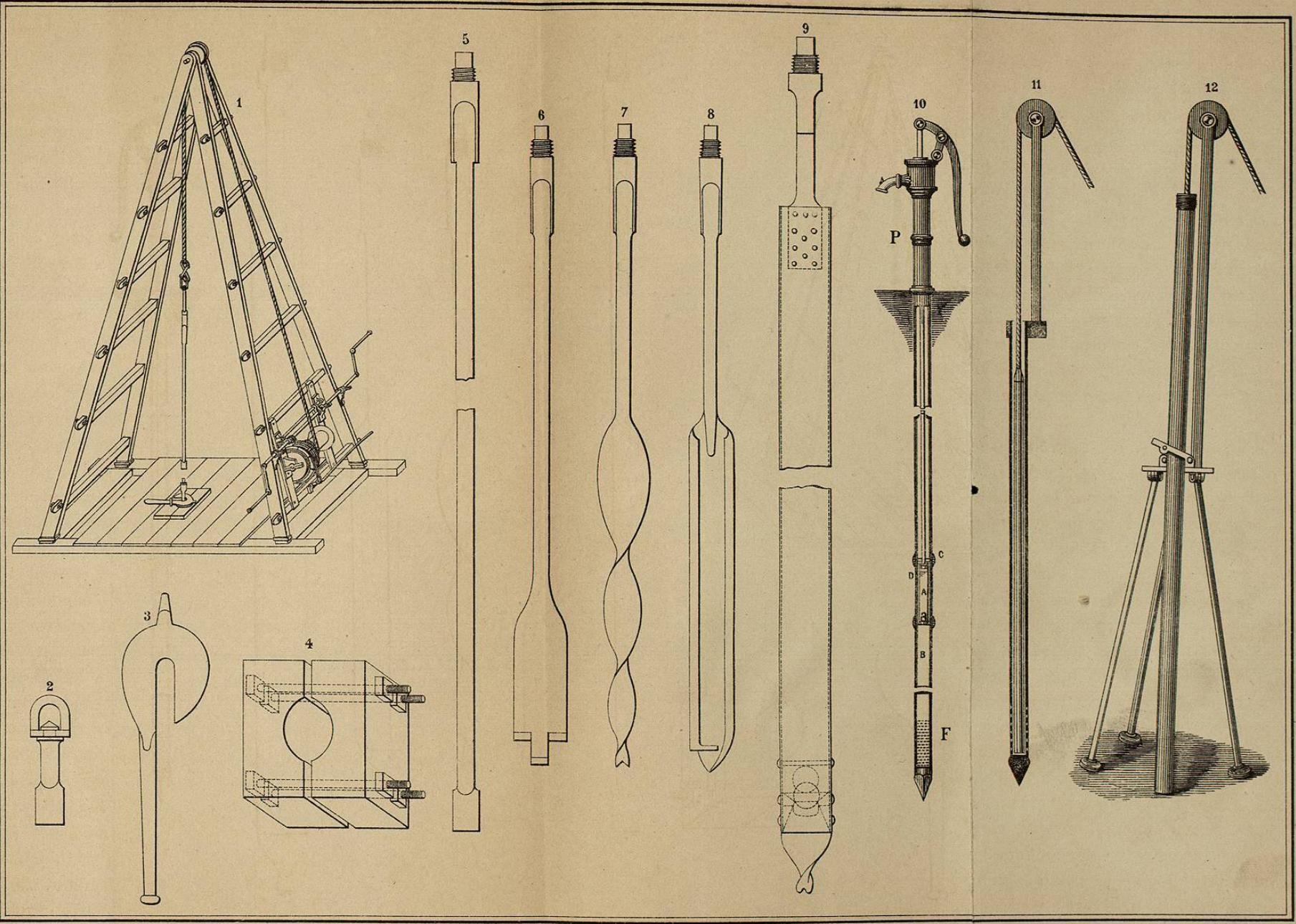
En la Fig. 10 de la lámina adjunta se ven: la extremidad afilada, la parte perforada F del tubo inferior, y la bomba P que completa el aparato. La Fig. 11 manifiesta la barra que golpea en la extremidad del primer tubo: esta es una modificacion introducida por los ingenieros ingleses Legrand y Sutcliff, á fin de que el golpe para la introduccion del tubo sólo se efectúe sobre su fondo, lo que se consigue por medio de la barra: la Fig. 12 manifiesta el aparato montado sobre un trípode.

Origen de los nombres de estos pozos.

Estos pozos tubulares se llaman tambien instantáneos ó de Norton; el primer nombre es debido á la prontitud con que se hacen, y el segundo al ingeniero americano Norton, que en es-



Lit. de Salazar.



tos tiempos puso en uso ese sistema de perforacion. Se cree que los pozos tubulares son de antigüedad muy remota, y que en el Asia se hacian valiéndose de los tubos de la planta llamada *bambú* que tiene tallos huecos y muy resistentes.

Antigüedad de los pozos tubulares.

Como se comprende, los pozos tubulares sólo pueden practicarse en los terrenos detríticos ó de aluvion, donde haya probabilidades de encontrar aguas someras, guiándose siempre por las reglas establecidas para la busca de aguas subterráneas.

Lugares en que pueden hacerse pozos tubulares.

Si en la introduccion del tubo en un terreno de aluvion, se tropezare en una piedra resistente, más bien que forzar el tubo conviene sacarlo y emprender la perforacion en otra parte.

Caso de encontrar piedras gruesas en la perforacion.

Para conocer si ya penetró el agua dentro del tubo, se introduce de vez en cuando un fragmento de esponja, suspendido con un hilo.

Modo de conocer si ha penetrado el agua en el tubo.

Esta es, en resúmen, la descripcion de pozos tubulares, que en muchas localidades de México pueden dar buenos resultados, sobre todo en las expediciones de tropas ú otras caravanas de viajeros en las tierras calientes; tambien pueden servir para dar agua á los ganados que se trasportan á largas distancias, pues una vez hecho uso del pozo, se puede sacar el tubo y llevarse para emprender la perforacion en otra parte. Creemos que seria conveniente hacer perforaciones en otras partes de los tubos, y no solamente en la base de uno, porque es fácil pasar el nivel de una ó más corrientes que ya no tendrian entrada al tubo.

Utilidad de los pozos tubulares.

POZOS ASCENDENTES.—Son los que abiertos con las mismas circunstancias que los artesianos propiamente dichos, las aguas que producen solamente llegan á la superficie del terreno, sin producir salto, pues las corrientes que los surten proceden de niveles poco elevados, ó son de escaso caudal.

Pozos ascendentes.

Siendo, por lo demas, los aparatos de perforacion iguales á los empleados para los pozos brotantes ó de salto, pasamos á ocuparnos de éstos, conformándonos con haber citado la definicion de los ascendentes.

POZOS BROTANTES.—No se precisa con claridad la época ó el país en que se hayan hecho las primeras perforaciones terrestres, sea con el fin de buscar aguas brotantes ó descubrir filones y

Historia del sondeo.

mantos minerales; pero desde muy remota antigüedad se han practicado esas perforaciones, en China, en Siria, en Egipto y en Europa: el nombre de *artesianos* dado á esos pozos procede de los que fueron hechos en la antigua provincia francesa de Artois. La invencion de tales perforaciones se la disputan los ingleses, alemanes, etc., pero el que expuso de una manera racional el uso de la sonda fué Bernardo Palissy, que existió en el siglo XVI, y que al proponerse buscar las capas de marga para su establecimiento de alfarería, decia que podria encontrar aguas que viniendo por debajo de tierra, de niveles elevados, pudieran salir sobre la superficie del terreno.

Sin tener espacio suficiente para mencionar en este tratado de Geología las investigaciones históricas que se han hecho sobre el sondeo, sólo mencionaremos que en muchos países, aun los desiertos de Sahara, se han fertilizado desde tiempos muy antiguos por las perforaciones artesianas.

Sistemas de perforacion.

Los sistemas de perforacion que se usan ó han usado más generalmente, pueden reasumirse del modo siguiente, como vemos en la obra de Degousée y Laurent:

1º *Sistema chino*, que consiste en una maza pesada, movida verticalmente, ó por percusion por medio de una cuerda.

2º *Sistema inglés ó aleman*, que sustituye la cuerda por barras rígidas, de hierro.

3º *Sistema prusiano*, que aligera el peso de las barras, combiándolas con algunas de madera.

4º *Sistema frances de la Sociedad de Fremenville*, que emplea la sonda china en el extremo de una columna de garantía que descende con el instrumento perforador.

5º *El de sonda hueca*, que se separa por partes, como barras que se atornillan, y á la extremidad de la que se opera la percusion por medio de una cuerda que descende al interior. Añade Degousée, que este sistema difiere del anterior en que la columna del primero sólo sirve de guía á la cuerda, y en el último queda en el terreno para ademarlarlo.

6º *El sistema Fauvelle*, compuesto de barras huecas y con bomba impelente para arrojar los detritus.

7º *Los diferentes sistemas empleados por Degousée y Laurent*, segun los terrenos y las profundidades, sirviéndose de las sondas inglesas y alemanas, con los perfeccionamientos que ellos han introducido.

8º *Sistema Kind*, de caida libre por efecto de un disco que mueve la propia resistencia del agua.

9º *El de Degousée y Laurent* tambien de caida libre, por medio de un peso muerto añadido al trépano y que se emplea en los sondeos más profundos.

Ánnes de exponer algunas de las ventajas, así como los inconvenientes que presentan los sistemas referidos, conviene dar á conocer algunos de los aparatos é instrumentos que se usan en las perforaciones artesianas, para que se facilite la inteligencia de las explicaciones que de dichos sistemas va á hacerse. Es de advertir que no es posible dar la descripcion de todos los instrumentos usados en las perforaciones, así como de los perfeccionamientos que sucesivamente han ido sufriendo, pues esto solamente podrá consignarse en una obra especial de sondeos terrestres; aquí procuraremos solamente dar idea de los instrumentos más sencillos para facilitar la inteligencia de este estudio, como hemos indicado. En la adjunta lámina se encuentran dibujados algunos de esos aparatos é instrumentos entresacados del atlas de la obra de Degousée y Laurent.

Para indicar el uso de los diversos aparatos é instrumentos, los agruparemos de la siguiente manera:

Aparatos de sosten.

Sirven éstos para suspender las cuerdas y barras á las cuales están relacionados los instrumentos que perforan el terreno y extraen los detritus, así como los tubos y muchos instrumentos auxiliares. El aparato fundamental de sosten consiste en algunos maderos verticales en que se apoyan las poleas por las cuales corren los cables ó sogas; esos aparatos se llaman cábricas, en general.

La Fig. 1 representa una cábria sencilla; para mayor resis-

Aparato de sosten.