

rientes y depósitos que se hallan en el punto de separación de dos formaciones distintas.

En los terrenos terciarios, como se repiten los mismos accidentes, sucederá lo propio; si bien el mayor número de los estratos y su gran variedad hace que el de los manantiales sea mayor, aunque menos caudalosos, por razón de no alcanzar tanto espesor sus estratos.

La naturaleza esencialmente permeable de los materiales del terreno cuaternario ó diluvial, y la falta, por lo común, de estratificación regular, hace que solo ofrezca manantiales cuando aquellos se presentan en capas descansando sobre un suelo impermeable, ó en el caso de ofrecer algún banco ó lecho de arcilla entre sus elementos constitutivos.

Si el terreno es de arenas ó grava, hasta cierta profundidad en los pozos comunes, es inútil buscar aguas, pues no las hay. En los terrenos volcánicos, por razón de la falta, en general, de verdadera estratificación, y efecto también de la especie de desorden que reina en sus materiales, no se encuentran, sino por casualidad, pequeños y superficiales veneros.

En cuanto á la calidad de las aguas, se observa que las que atraviesan ó proceden de terrenos de areniscas, de cuarzos ó chinás, gravas, etc., son excelentes. Son potables cuando abundan en ellos las arcillas: por el contrario, si los terrenos son esencialmente calizos, ó dominan los mármoles, las piedras muy conchíferas, la creta, las margas, etc., las aguas se cargan de principios salinos y terrosos, y se hacen crudas, frías al estómago, é indigestas; cuecen mal las legumbres y las carnes y limpian mal la ropa.

Las aguas de los manantiales contienen, en general, mucho aire y son excelentes, pues esta condición es una de las que mas directamente determinan su bondad.

Para mayor ilustración acerca de materia tan importante, véase el adjunto cuadro, copiado de la obra de Dumas.

#### Cuadro de clasificación de las aguas dulces

1. Las de manantiales que filtran á través de rocas graníticas de cuarzo, ó de los restos pulverizados de estas rocas, que pueden llamarse aguas graníticas ó cuarzosas, ocupan el primer lugar por sus excelentes cualidades.
2. La de barranco ó arroyo, clarificada por el reposo.
3. La de lluvia.
4. La de manantial común.
5. La de grandes ríos.
6. La de lagos.
7. La de nieves ó hielos.
8. La de cisternas situadas en buenas condiciones.
9. La de pozos.
10. La de ríos de escaso caudal.
11. La de cisternas establecidas en malas condiciones.
12. La de estanques.
- Y 13. La de pantanos.

Cuando las aguas filtran á través de pequeñas y numerosas hendiduras ó rendijas, constituyen veneros de escasa importancia; si, por el contrario, atraviesan gruesas capas de arenas, de tierra ó de piedras permeables, separadas por anchos espacios ó bancos de otras impermeables, forman grandes corrientes y depósitos subterráneos.

En cuanto á la cantidad de agua que puede suministrar un manantial, aunque es muy difícil de apreciar por el conjunto de circunstancias que en él concurren, sin embargo, según Paramelle, en las mesetas cubiertas de una capa de terreno detrítico de dos á ocho metros de espesor, descansando sobre otra impermeable con la conveniente inclinación,

por cada superficie de cinco hectáreas, puede calcularse un chorro de un centímetro de diámetro, que equivale á cuatro litros de agua por minuto.

Vistas y apreciadas las causas que determinan la aparición de los manantiales, esto es, la filtración y la existencia de capas ó estratos permeables, alternando con otros que no lo son, vamos á dar reglas y preceptos respecto de los terrenos en que pueden hallarse. En primer lugar, si en un mismo terreno las condiciones de permeabilidad é impermeabilidad se repiten varias veces, otras tantas se encontrarán manantiales.

Por lo que toca á los terrenos mas á propósito para encontrarlos, son los compuestos de caliza oolítica, de consiguiente, el jurásico; de caliza compacta sacaroidea, silicea, conchifera, margosa y basta; en las calizas y margas de grifeas (lias); en las amonitíferas y de belemnites suelen ser muy comunes y abundantes; el terreno de toba caliza, que por otro nombre llamamos también travertino, no solo es muy abundante en manantiales, sino que la singular propiedad de ser incrustantes sus aguas, puede indicarnos también la existencia de fuentes ocultas; el horizonte de la *Molasa*; el piso de las arenas y areniscas verdes, en el terreno cretáceo; las calizas lacustres; el terreno del sílex molar y de las margas verdes, cuando se encuentran en condiciones convenientes, son muy á propósito para la existencia de manantiales: el de aluvión y las terreras ofrecen, en general, corrientes y depósitos numerosos y abundantes, si sus materiales alternan repetidas veces con capas impermeables y algo inclinadas.

Todo terreno arcilloso y de marga, cuando ocupá la superficie y se presenta en masas considerables, es contrario á la existencia de manantiales, mientras que es muy favorable cuando está cubierto por alguna capa permeable.

La gran porosidad de la creta, y la existencia en ella de tubos ó cavidades naturales, que absorben y hacen desaparecer con prontitud la mayor parte del agua que recibe su superficie, no solo determina la aridez y esterilidad del terreno, sino que le priva enteramente de la existencia de manantiales, á no ser que se llegue con la sonda á grandes profundidades. De manera que los habitantes de mesas, páramos ó llanuras cretáceas, pueden estar seguros, aunque no sea halagüeña la noticia, de no encontrar, en general, manantiales sino con la condición indicada.

De lo dicho se infiere que el ser favorables ó adversos los terrenos á la existencia de manantiales, depende unas veces de su composición ó naturaleza, y otras de la disposición que afectan sus elementos constitutivos. Así es que, por efecto de la estructura y de los accidentes particulares que ofrecen las calizas celulares y cavernosas, las Dolomias, los terrenos volcánicos, y en general los de elementos friables, son contrarios á la existencia de fuentes: en el mismo caso se encuentran, por razón de su propia estratigrafía, las colinas hundidas, los derrumbios y los sitios en que han resbalado los terrenos, las laderas ó cuevas de capas verticales, ó que ofrecen una inclinación de 45°, y también aquellos puntos en que los estratos presentan sus extremidades ó cabezas al descubierto.

Los resultados prácticos que el hombre puede prometerse de los conocimientos geológicos en cuestión de tanta importancia, son verdaderamente incalculables, y conviene dejar su aplicación al buen juicio y al grado de celo é interés que esta materia inspire á los que de ella se ocupan; en la inteligencia de que las reglas que acabamos de dar, no son absolutas; debiendo tener en cuenta antes de llevarlas al terreno de la práctica, todas las condiciones locales, así geológicas como meteorológicas del país ó región en que se

trate de utilizar estos datos. Antes de concluir será bueno, sin embargo, dar alguna idea acerca del modo de procurarse fuentes artificiales ó naturales.

Conocida la teoría de las corrientes subterráneas, el modo mas eficaz de proporcionarse una fuente consiste en imitar fielmente á la naturaleza misma. Para ello, y siguiendo el ingenioso procedimiento propuesto por el ilustre Babinet, se escoge un terreno permeable, suelto, mas ó menos arenoso ó detrítico, que ofrezca cierta inclinación ó pendiente, y de una extensión á voluntad, pero que no baje, por ejemplo, de dos hectáreas, pues si la superficie de filtración es reducida, el manantial no podrá verificarse ó rendirá poca agua. Escogido así el terreno, se empieza por abrir en la parte mas alta de la pendiente ó ladera una zanja transversal, de uno á dos metros de profundidad y de dos de anchura: despues se iguala el fondo y se cubre de una capa impermeable, que podrá ser de arcilla, de marga, de asfalto, ó de algún cemento ó argamasa; se repite esta operación, rellenando con los escombros de cada zanja el hueco de la anterior, hasta que se llega á la parte mas baja del terreno; allí se construye una pared sólida de cal y canto, si es posible, dejando en el centro un conducto por donde se dé salida al agua. Hecho esto, se planta el terreno de árboles ó arbustos de poca elevación, bastantes espesos, de modo que se evite en cuanto sea posible la evaporación; facilitando así que el agua penetre en el terreno hasta llegar á la capa impermeable, cuya dirección é inclinación seguirá aquella hasta aparecer en la parte mas baja por el punto que se le destina.

A primera vista se creará que este es un medio mas bien teórico que práctico, y podrá dudarse de sus resultados: semejante duda solo puede fundarse en la ninguna atención que se presta á la cantidad de agua que anualmente cae sobre una superficie dada de terreno, cantidad que excede en mucho á la que los ríos llevan al Océano, y también á la que por filtración penetra á través de los estratos terrestres. Para convencerse de ello, y con el objeto de tener una base sobre que fundar la realización de las fuentes artificiales, el agricultor debe servirse de un *pluviómetro*, por medio del cual podrá saber la cantidad de agua que anualmente recibe de la atmósfera el punto que ocupa. Bueno será también saber que el manantial cuyo chorro ofrezca una pulgada de diámetro, suministra 20 metros cúbicos de agua al día, ó lo que es lo mismo 7,300 al año.

El pluviómetro es una especie de vasija con un tubo de vidrio graduado que comunica con el interior, y que sirve para determinar la cantidad de agua que cae en un tiempo determinado y en una superficie dada; para averiguar el agua que recibe una comarca, bastará multiplicar la superficie de esta en piés cuadrados ó en la que tenga el pluviómetro, por las pulgadas ó líneas de líquido que en este se hayan recogido.

El Sr. Dumas, en su recientísima obra titulada la *Ciencia de las Fuentes*, dice: que en cualquier punto del globo en que los terrenos ofrezcan ondulaciones bien marcadas y salientes, ó uno ó muchos valles bastante extensos y dispuestos para recibir en gran cantidad las aguas procedentes de las laderas de las colinas ó montañas inmediatas, pueden construirse fuentes que él llama *naturales*, por cuanto el procedimiento de que el hombre se vale para ello, es igual al que emplea en otros puntos la naturaleza. Para conseguir este feliz y trascendental resultado, hé aquí las reglas que establece tan distinguido hidrógrafo.

Levántense en el fondo de los valles ó en las ondulaciones del suelo diques ó malecones transversales de tierra ó sillería, con el objeto de recibir en parte las aguas, y facilitar la filtración, dificultando su marcha en la superficie. Hecho esto,

ábranse en la parte inferior de los diques acequias ó azarbes cubiertos, uno longitudinal siguiendo la pendiente, y otros trasversales en comunicación con aquel; con esto las aguas cuya filtración facilitan los malecones, penetran y circulan por los conductos subterráneos hasta la desembocadura del valle, en donde debe formarse un depósito que las reciba y las distribuya despues, según las necesidades de la comarca, dirigiendo desde allí cañerías á los puntos mas bajos.

Esto en tésis general ó como principio teórico es excelente, pero es susceptible de muchas modificaciones, y no siempre corresponderán los resultados á los dispendios que las obras ocasionen. Para esto se necesita un examen minucioso del terreno, pues de su composición, de la extensión de la cuenca, y de sus accidentes orográficos dependerá la posibilidad de su ejecución, las probabilidades del éxito y la cantidad probable de agua que puede obtenerse; teniendo que ajustar igualmente á estas condiciones el número y disposición de los diques, las dimensiones y la profundidad á que deban establecerse las acequias, etc., etc. Cuando la región ofrece poco desnivel, la acequia longitudinal seguirá uniforme su pendiente; pero si aquel fuese muy pronunciado, se establecerá en ella una serie de rompimientos ó saltos para que disminuya la impetuosidad de la corriente.

A beneficio de este sistema ingenioso adoptado ya en algunos puntos, y entre nosotros con especialidad en la villa de Morella, no solo, según el Sr. Dumas, se pueden crear fuentes naturales en aquellos puntos privados de este gran elemento de vida, que muchas veces pierde el hombre por ignorancia ó incuria, sino que retardando el curso de las aguas, puede hasta cierto punto impedir las inundaciones, ó atenuar al menos sus efectos, evitando que las aguas se acumulen en un punto y momento dado, que es precisamente lo que las determina.

#### Pozos artesianos ó ascendentes

Para terminar este capítulo, solo falta decir algo sobre los pozos artesianos; asunto del mayor interés para un país eminentemente agrícola como el nuestro, y que con tanta frecuencia padece de sequía.

Los pozos artesianos, llamados así por ser clásica para este ramo de industria la antigua región de Francia llamada Artois, llevan también el nombre de fuentes ascendentes, y se abren con el fin de procurarse por medio de la sonda ó barrenos, aguas de saltos. Estas fuentes se distinguen de las comunes por el modo de aparecer al exterior, y mas particularmente aun por el punto de su procedencia, pues así como en las fuentes ordinarias proceden de filtraciones y veneros locales, con frecuencia de escasa extensión, las artesianas son hijas, por el contrario, de filtraciones profundas, y de corrientes de largo curso, que arrancan de depósitos subterráneos colocados á diferentes alturas.

En contraposición de los artesianos, hay otros pozos llamados absorbentes ó inversos fundados en los mismos principios, pero cuyo objeto es tragar, á la manera de los sumideros, aquellos materiales líquidos que pueden ser nocivos al hombre cuando se acumulan en la superficie de la tierra, en las fábricas ó en otros puntos.

Aunque la explotación de los pozos artesianos como la de las minas no ha recibido una dirección racional y científica hasta estos últimos tiempos, esto es, hasta que la Geología prestó su apoyo eficaz á todos estos ramos de industria, sin embargo, unos y otras datan de épocas muy remotas; lo que parece muy natural si se tiene en cuenta que con ellos ha tratado el hombre de satisfacer, en todas épocas, sus mas apremiantes necesidades. Así es que Olimpíodoro de Alejandría ya describió en el siglo vi de nuestra era, algunos pozos



ascendentes construidos en uno de los oasis del desierto para beneficio de la Agricultura. También en Italia, y particularmente en Módena, los había ya hacia el siglo VIII y IX; en Francia el pozo artesiano artificial mas antiguo de que se conserva noticia, es el de la cartuja de Sillers en el Artois, abierto en 1126. También en tiempo inmemorial los ha habido en el desierto de Sahara. Este ramo importantísimo de la industria, empero, no se cultivó con interés, ó no excitó la atención del hombre hasta que los geólogos franceses, y en especial los Sres. Arago, Elie de Beaumont, Mulot y otros obtuvieron en 1841 el éxito tan brillante en el pozo de Grenelle en París á la profundidad de 548<sup>m</sup>; el salto que da el agua es de 31<sup>m</sup>, abasteciendo á la quinta parte de esta gran ciudad, y á una porción de establecimientos importantes.

Posteriormente se abrió en la plaza de la calle de Spontini en Passy otro pozo artesiano cuyas aguas sirven para todas las necesidades del inmenso bosque de Bolonia. En la actualidad se trabaja en la Chapelle (París) en un pozo de 1<sup>m</sup>,40 de diámetro, habiendo alcanzado la enorme profundidad de 684<sup>m</sup>.

¿En qué se funda la teoría de los pozos artesianos? ¿Puede la Geología prestar al hombre algun servicio en este ramo de industria? Indudablemente que sí; vamos á demostrarlo.

En cuanto á la teoría es muy sencilla y fácil de comprender despues de los detalles que preceden sobre las fuentes comunes y naturales, pues se reduce á la filtracion y circulacion á través de los estratos terrestres del agua que en forma de meteoros acuosos se precipita desde la atmósfera. La filtracion continúa hasta que las aguas encuentran una capa impermeable, en cuyo caso si su posicion es enteramente horizontal permanecen mas ó menos tranquilas formando especies de lagos ó grandes receptáculos subterráneos; y si por el contrario, las capas están inclinadas, aquellas siguen necesariamente la pendiente, impelidas por su propio peso. En el trayecto que recorren las aguas, puede suceder una de dos cosas; ó que las capas sean continuas, ó que ofrezcan alguna interrupcion; en el último caso aparecen las fuentes naturales: en el primero no encontrando salida al exterior, circulan interiormente hasta que el hombre les abre paso por medio de excavaciones ó de la sonda, obteniendo en el primer caso los manantiales artificiales comunes, y en el segundo los llamados artesianos. Estos se distinguen de aquellos, no solo por los instrumentos de que se sirve el hombre para obtenerlos, sino tambien por la profundidad á que se encuentran las aguas. En último resultado, el pozo artesiano puede decirse que es una rama de un tubo encorvado ó sifon; la otra que completa este aparato tan sencillo de Física, se halla representada por la direccion mas ó menos tortuosa que siguen las aguas desde su receptáculo superior, hasta el punto á donde llega la sonda. De manera que el agua se eleva en estos pozos en virtud de la ley de hidrodinámica, ó lo que es lo mismo, por la tendencia de todo líquido á equilibrarse ó á establecer su propio nivel, cuando sus moléculas comunican entre sí por conductos cerrados, como demuestra prácticamente la figura 160.

En la parte superior de la region que representa el corte, se supone existir, á diferentes alturas, lagos, rios ó algun otro depósito de agua, marcados por las letras F, G, H. La colocacion de estos receptáculos es tal, que el primero ocupa el espacio que media entre los terrenos ígneos ó cristalinos y los de sedimento antiguos; el segundo se encuentra en el punto de contacto entre estos y los secundarios, y el tercero entre estos y los terciarios ó de acarreo y aluvion modernos.

Ahora bien, partiendo de este supuesto, si el lago, rio ó

depósito descansa sobre materiales permeables, ó si su fondo ofrece alguna cavidad ó grieta, las aguas penetrarán en el seno de la tierra determinando en unos puntos grandes receptáculos, como se ve en K, I, ó bien corrientes subterráneas unidas ó bifurcadas y lagos interiores, como se observa en M, N, O, P y R.

Los mismos resultados puede determinar de un modo directo la filtracion de las aguas, las cuales por lo comun, establecen su circulacion interior en los planos de contacto de unos terrenos con otros.

Pero esta figura no tiene por objeto exclusivo manifestar el régimen y la procedencia de las aguas subterráneas, sino que tambien se propone demostrar los dos axiomas siguientes que resumen, segun Dumas, toda la teoría de las fuentes ascendentes, á saber: 1.º Las diversas alturas que el agua alcanza en los pozos artesianos están en razon directa de la presion que aquella experimenta en el seno de la tierra. 2.º La presion que el agua sufre en el interior del globo, depende de la altura del manantial ó del venero que lo determina, y no del punto del yacimiento ó de existencia de las aguas subterráneas.

En virtud de estos principios, resulta que en el pozo A, que aboca en el depósito R R, alimentado por la filtracion ó receptáculo H, las aguas no saltarán, limitándose á llegar al horizonte H X.

En el pozo B que alcanza el depósito P P, darán un pequeño salto, por ser aquel punto mas bajo que el nivel H X.

El pozo C que descende hasta el receptáculo O O, procedente de la filtracion del punto G, suministrará aguas ascendentes hasta el limite G. S. Otro tanto sucederá en el pozo D, puesto que alcanza en su fondo el depósito N N, procedente de la filtracion G.

Por el pozo E aunque llega hasta el depósito M M, procedente del receptáculo I K, alimentado por el venero F, no saldrán aguas ascendentes, pues estas, lejos de llegar al nivel F T, no pasarán de la línea Y Y, en razon á no contarse la presion de las aguas del depósito M M desde el principio de la filtracion F, sino del receptáculo I K, verdadera procedencia del depósito que el pozo alcanzó por medio de la sonda.

Este último caso demuestra la posibilidad de que un depósito ó corriente muy profunda, pueda ser alimentada por un receptáculo colocado á muy poca altura sobre las aguas interiores. En este caso, como que la columna de líquido se halla interrumpida en el receptáculo I K, la presion solo debe contarse desde este punto.

Las cosas se hallan por otro lado dispuestas de modo que el depósito I K despues de determinar la corriente ó depósito M M, se descarta del sobrante por el conducto K L, dando existencia al manantial L que aparece al exterior.

El salto que se obtiene en las fuentes artesianas depende, segun la teoría admitida, del punto de donde procede el agua, ora sea que circule por filtracion directa, ó que arranque de los grandes depósitos que existen en el interior de las montañas, resultado á su vez de filtraciones y avenamientos. Desde el punto de procedencia las aguas establecen una corriente cuya direccion é inclinacion la marca la de las capas terrestres, con tendencia constante á establecer el nivel; es decir, á subir hasta la misma altura del punto de partida; en una palabra, las aguas en sus corrientes subterráneas representan el tubo encorvado de un sifon. Ahora bien, si en su trayecto, ó en la extremidad, por mejor decir, de este sifon, encuentran una gran resistencia á su salida, resistencia tal que no les sea posible vencer, las aguas sufren una presion extraordinaria; de manera que en el momento en

que el hombre les procura una salida, por cualquier medio que sea, tienden á equilibrarse, produciendo un salto que estará en razon complexa de la altura de los depósitos de reserva, de la estrechez y tortuosidades del tubo, de las hendiduras ó grietas que les permiten escapar á su través, de la influencia del calor central, y de otras varias causas.

Además, se comprende que si por efecto de la inclinacion de las capas las aguas corren muy profundas, naturalmente han de experimentar la influencia del calor central de la

tierra, calor que puede reducirlas á vapor en parte, y cuya elasticidad contrarestará la presion que experimenta el líquido, contribuyendo ó ayudándole á salir al exterior, cuando el hombre le abre comunicacion. Tan cierto es esto, que en la mayor parte de los pozos artesianos el acto de saltar ó aparecer las aguas va acompañado de alguna explosion. Tambien se deduce de lo expuesto, que el agua ha de llevar una temperatura proporcionada á la profundidad de que procede, siendo este uno de los medios de que la ciencia se

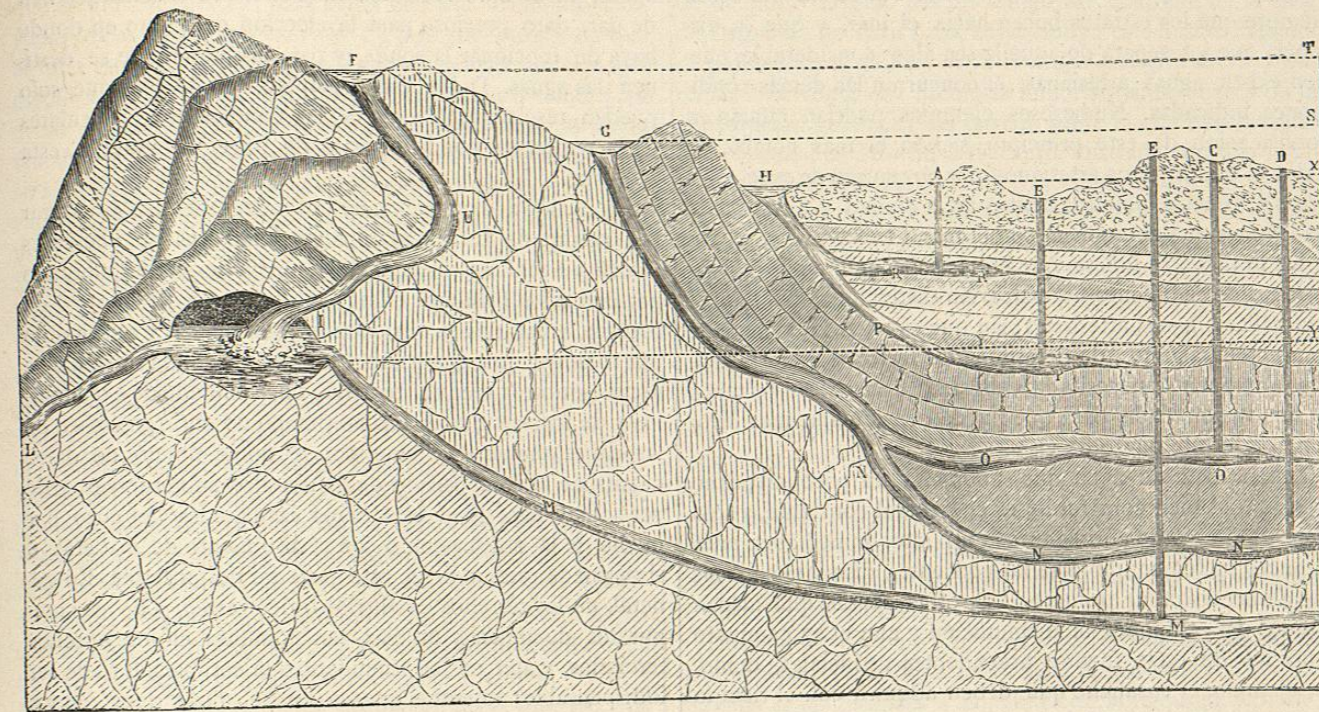


Fig. 160.—Corte demostrativo de la teoría de las fuentes ascendentes naturales y de los pozos artesianos

ha valido, en estos últimos tiempos, para establecer la teoría del calor central.

Algunos, como Azais, han exagerado la influencia de esta causa ó agente hasta el punto de creerle único en el movimiento ascensional de las aguas. A las razones aducidas ya anteriormente para combatir este error, que en la práctica podria ser de fatales consecuencias, hay que añadir la poderosa consideracion de que si tal fuese la causa del movimiento subterráneo de las aguas, en cualquier punto de la superficie terrestre podria encontrarse este elemento, y de consiguiente, en todos podrian intentarse los pozos artesianos con seguridad. ¿Se ve esto confirmado en la práctica? De ningun modo. Así es que en los terrenos de rocas cristalinas ó ígneas, cuya estructura compacta impide la filtracion, no hay corrientes que puedan alimentar los pozos artesianos, teniendo que ir á buscarlos en los llamados de sedimento, por la disposicion en lechos ó capas de sus materiales; y aun son preferibles los que no han sufrido grandes dislocaciones ó trastornos. Si las aguas existiesen en el interior del globo, resultado de las reacciones químicas que allí se verifican, ó de la comunicacion directa de las aguas del mar, no habria la distincion entre terrenos aptos y terrenos impropios al establecimiento de este ramo de industria; distincion que se explica perfectamente partiendo de la teoría y del hecho real y verdadero de la filtracion y circulacion subterránea.

Desechada la teoría de Azais, y tomando por punto de partida en la aplicacion de este ramo de industria la filtracion de las aguas, naturalmente ha de haber ciertas condiciones que sean mas favorables que otras para la realizacion

de estas empresas, y tambien puntos de eleccion para llevarlas á cabo.

En cuanto á las condiciones que ha de reunir un terreno para la existencia de aguas ascendentes ó artesianas, las principales son: primera, que aquel esté compuesto de estratos ó capas, ó en otros términos, que sea un terreno de sedimento; segunda, que se hallen sus elementos en estado normal, ó por lo menos que no hayan sido trastornados ó dislocados hasta el punto de presentar interrupciones, fallas, saltos, etc.; tercera, que los materiales sean alternativamente permeables é impermeables, ocupando la superficie los que con mas facilidad den paso al agua; cuarta, que los estratos ofrezcan cierta inclinacion no interrumpida, lo cual podrá conocerse examinando las dos pendientes de una llanura ó las laderas del valle donde se quiera poner en práctica la perforacion; quinta y última, cuando las capas se encuentran levantadas en las montañas ó cordilleras que determinan los limites naturales de una cuenca, ofreciendo además sus cabezas ó extremidades al descubierto y alternando las permeables con las impermeables, es cuanto se puede desear para poner en práctica esta industria. En este caso el agua procedente de ambas laderas remansa en el fondo de la cuenca y sufre todo el peso de la doble columna, esperando solo el momento en que se abra un conducto para salir al exterior, con un salto proporcionado á la altura de que procede. Podria compararse la cuenca en este caso á una vasija en la que flotara un cuerpo lenticular que ocupase casi todo su diámetro, y que se le perforara de parte á parte, pues el agua saltaria hasta nivelarse con el líquido exterior.