

R 6888 ✓

AGUAS SUBTERRANEas

T E S I S

que para optar el título
de

INGENIERO CIVIL Y DE MINAS

presenta

JUAN J. BERDUGO SOURDIS

-----ooOoo-----

UNIVERSIDAD NACIONAL
Escuela de Minas
Medellín

Presidente de Tesis:

Dr. JUAN DE LA CRUZ POSADA.

Dedicatoria:

- A mi compañera-Berenice C. de Berdugo..
- A mis padres-Juan y Rebeca de Berdugo.
- A mi primogénita-Dolly.
- A los familiares que así lo merecieron.

ESTATUTOS UNIVERSIDAD NACIONAL

"Art. 200-El Presidente de Tesis, el Consejo de Jueces de Tesis y el Consejo Examinador: NO serán responsables de las ideas emitidas por el Candidato."

Medellín--Mayo de 1936.

ESCUELA NACIONAL DE MINAS.

ESTATUTOS UNIVERSIDAD NACIONAL

"Art. 200-El Presidente de Tesis, el Consejo de Jueces de Tesis y el Consejo Examinador NO serán responsables de las ideas emitidas por el Candidato."

AGUAS SUBTERRANEAS.- INTRODUCCION.

---oo0oo---

Hay regiones que tienen que soportar las inclemencias de un riguroso verano, viéndose sometidas sus moradores a ver perder sus cultivos, sus ganados y ellos mismos las más de las veces a exponer la salud a falta de una agua pura.-He aquí lo que sucede en mi ciudad natal: Sabanalarga (Atlántico).

He visto y he palpado todos estos males; ellos van contra grandes y chico, contra pobres y ricos; y porque hasta mi lar han llegado las consecuencias; quiero con el presente trabajo hacer un ensayo que sea la primera piedra para constituir la obra que ha de redimir ésta región y aquellas que se encuentren en idénticas circunstancias, de los males antes bosquejados.

El presente trabajo comprenderá los siguientes capítulos:

- 1o.-GENERALIDADES SOBRE EL AGUA SUBTERRANEA.†
- 2o.-PERMEABILIDAD O IMPERMEABILIDAD DE LOS TERRENOS.-CONDICIONES.
- 3o.-REGIMEN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.-†
- 4o.-DEPOSITOS SUBTERRANEOS.-ESTUDIO GENERAL DE ELLOS.†
- 5o.-HIDROSCOPIA.
- 6o.-ALUMBRAMIENTOS.
- 7o.-AGUAS ARTESIANAS.
- 8o.-ABASTECIMIENTO DE AGUAS EN SABANALARGA.(Atlántico).
ABASTECIMIENTO POR MEDIO DE AGUAS SUBTERRANEAS PARA VARIOS FINES.---(Caso particular.)

-----00000-----

Para cualquier roca que consideremos, aun las mas compactas e impenetrables, hay que reconocer que se encuentran mas o menos empapadas de agua: esta agua es la que se llama agua de cantera o de impregnación y que como es natural las rocas la pierden por evaporación al contacto con la atmosfera.

Para apreciar el valor cuantitativo del agua de impregnación en algunas rocas, copio un promedio de diferentes ensayos.

Peso del agua por 100 partes de la substancia hume-

da.	115.
Piedra pómez.....	115.
Arcilla gruesa.....	66.
" plástica.....	22.
Arenisca de grano grueso.....	11.
Caliza ordinaria.....	4.
" compacta.....	2.
Yeso.....	1.50
Pizarra arcillosa.....	0.03
Granito.....	0.40
Cuarzo blanco filoniano.....	0.08

Por lo anterior bien podemos considerar

Los materiales terrestres como una esponja empapada de esta agua de cantera y aparte de esta agua hay otra mas importante para este tema y es la que existe entre las grietas y cavidades de las canteras, descubriéndose a veces en forma de filones traciones, bolsadas y verdaderas corrientes.

En Antioquia encontramos la demostración más clara y precisa de la gran cantidad de agua subterránea que la tierra contiene y que circula en su interior por grietas y cavidades.- Dada la condición de región minera, encontramos su territorio lleno de galerías de explotación y puede asegurarse no hay una sóla que no presente el problema de desagües internos debido al agua que circula por grietas .

En el túnel de la Quiebra todavía, existe gran parte sin recubrir y en la cual se encuentran gran cantidad de agua proveniente de filtraciones.

Ahora cabe preguntar: Cual es el origen primitivo de estas aguas subterráneas?

Sobre su génesis y la explicación de su movimiento continuo muchas y variadas fueron, hasta mediados del siglo anterior, las hipótesis y controversias extravagantes que se suscitaron. Para Lucrecio y para la mayoría de los sabios de la antigüedad, la tierra era una esponja, que puesta en contacto con los mares absorbían el agua de las mismas, la filtraba a través de sus poros y así purificada la reunía en las fuentes y en el origen de los ríos .

Sobre el mecanismo de la circulación completa del agua en nuestro planeta, fue De-goussé, el primero en haberlo comprendido y expresado en su Guía del Sondeador, publicada en 1847 y que textualmente dice así:

*En resumen, la cantidad de agua que, elevada por evaporación a la atmósfera, vuelve a caer bajo la forma de lluvia, de nieve, de granizo, de rocío y de niebla sobre los

continentes es mas que suficiente para alimentar las corrientes de agua que circulan por su superficie o en las cavidades interiores. Consecuencia de este principio, ya universalmente reconocido, es que la cantidad total de agua precipitada por los dâferentes hidrometeoros en todo el mundo, en un periodo de tiempo suficientemente largo, es igual a la evaporada durante el mismo tiempo.

Ultimamente se ha querido dar importancia como origen del agua, a la que se ha llamado juvenil o de nueva formación. Esta agua, cuya existencia no se ha probado con toda claridad, provendría del interior de la barisfera, por combinación directa del hidrógeno y del oxígeno desprendidos del núcleo interno o de los magmas incandescentes que deben encontrarse en las grandes profundidades. Aún suponiendo que esta agua se produjera en cantidad considerable, durante su extenso recorrido sería absorbida para la hidratación de las rocas internas, de tal manera que no es verosímil que llegara a mezclarse con las aguas que circulan en la corteza. Sin lugar a duda la porción sólida del planeta fija mas agua que produce, y el proceso general es mas de desecación que de aumento del caudal acuoso

Tampoco parece que se le pueda conceder importancia a la cantidad de agua que el terreno fije tomándola de la atmósfera; puede aceptarse perfectamente que contribuya a mantener húmeda una zona superficial, pero nunca suficiente para abastecer los caudales subterráneos. Aquí cabe hacer notar el fenómeno que constantemente observamos y que ayuda a corro-

borar lo anteriormente dicho. El fenómeno, el cual se opera durante la noche, consiste en el agua que se precipita proveniente del rocío nocturno y que observándola sobre una superficie lisa e impermeable, bien alcanza a deducirse no es suficiente para provocar la formación de corrientes subterráneas y más si se tiene en cuenta que apenas sea suficiente para humedecer una delgada capa de la superficie terrestre .

Todo lo contrario sucede en aquellos sitios en que el clima es desértico: la atmósfera roba al suelo parte de su humedad, la que asciende por los conductos capilares hasta la superficie y allí se evapora rápidamente .

Para obtener la clave inicial de todo el cielo evolutivo que el agua experimenta cuando llueve , basta poner un poco de observación cuando llueve a lo que ocurre en la superficie. Al efecto: en los primeros instantes se forman hilos delgados que van aumentando por momentos dando lugar a la formación de regatos, arroyos y riachuelos , los cuales acaban por engrosar un río que los traslada al mar. Una parte no pequeña, pero que varía según las condiciones ambientes, vuelve nuevamente a la atmósfera debido a la evaporación. Queda un saldo del líquido que pasa , al interior de la tierra y cuyo curso se explanará en el capítulo respectivo.

Las proporciones en que el agua lluvia se reparte entre evaporación, corrientes superficiales y absorción están regidas por factores diversos, siendo el principal la vegetación del terreno; porque no consideremos aisladamente cada uno de estos factores y en cambio tenemos el siguiente promedio

que nos brinda Bentabol:

De 1000 partes de agua llovida.

Se evaporan:.....325--(1/3).

Corren directamente al mar.....425--(5/12).

Son absorbidas por el suelo..... $\frac{250}{1000}$ --(1/4).

No hay para que poner de presente que cuanto mayor sea la absorción, tanto mas abundantes serán las corrientes subterráneas.

Diversos son los medios que pueden ser útilmente empleados con el objeto de obtener una mayor absorción del terreno .-Cada uno de estos medios tiene su aplicación según la topografía y la naturaleza del terreno; pero de todos los que se puedan citar; ninguno tan eficaz ni tan importante y de una aplicación general a los terrenos como la repoblación de los montes en las cabeceras de las cuencas.- No hace mucho tiempo estuvo muy generalizada la opinión de que la presencia de los árboles provoque un aumento de lluvia considerable, no se hasta donde alcance la certidumbre de esta opinión, pero lo cierto que nadie o casi nadie la sostiene últimamente.

Lo que si es innegable son las benéficas, evidentes y de gran consideración, que el arbolado presta en éste como en otros muchos respectos.-Las capas de los árboles ayudan en parte a quitar caracter torrencial, a las lluvias porque las desmenuzan; también ayudan a disminuir la evaporación en la superficie del terreno y nada mas fácil de observarlo en el verano: atravesando una región desprovista de vegetación alta, el terreno y la vegetación existente siempre están secos

y si alcanzamos a entrar en un bosque colindante experimentamos una sensación de humedad, las pequeñas plantas que abundan bajo los grandes árboles se encuentran frescas y lozanas.-Esto deja ver la menor evaporación, que se verifica en el bosque y que bien puede ser siete(7) veces menor.-

En resumen, que si los bosques no atren la lluvia como se creía, al menos en proporción considerable aprovechan el agua llovida mucho más y mejor que los terrenos corrientes de bosques.

En los países de bosques las nubes bajas que llegan a ponerse en contacto con las masas de vegetación se condensan rápidamente y desaparecen absorbidas por el suelo fuertemente higroscópico de esas comarcas.-Fernandez Navarro en un libro suyo cita el caso de como a poco de entrar una nube en un bosque desaparecía, dejando los árboles chorreando y todo como si acabara de llover.

Como ejemplo práctico de creación artificial de corrientes subterráneas, existe uno al parecer desde tiempo de los árabes en un pueblecito español al pie de la sierra Nevada: Buenvarón.) Tienen contruidos conductos que llevan el producto del derretimiento de las nieves á las llamadas simas, que no son mas que grandes depresiones a media ladera en los montes pizarrosos.-Se empapan del líquido estas rocas y en las faldas de aquellas rocas se originan numerosos manantiales que suministran agua abundante durante la estación calurosa.

PERMEABILIDAD O IMPERMEABILIDAD
DE LOS TERRENOS - CONDICIONES

Las aguas lluvias que penetran en el suelo comienzan por empapar los terrenos, luego se escurren en los vacíos y descienden hasta que encuentran una superficie impenetrable que generalmente la constituye una roca impermeable. En este punto se reúnen y experimentan una clase de régimen que nos ofrece cierta analogía con el de las aguas superficiales, sin que lleguen a parecerse.

Estos terrenos susceptibles de experimentar esta penetración provienen de la disgregación y descomposición de rocas; extendiéndose la disgregación al interior cuando las rocas están resquebrajadas o atravesadas por materiales menos resistentes.

Conviene que no se confunda la permeabilidad o facultad de dar paso al agua, con la higroscopicidad o aptitud de absorber y retener el mismo líquido. - De origen higroscópico puede calificarse lo que en el capítulo anterior se tituló como agua de cantera, que no influye sino indirectamente y de modo muy poco importante en la circulación subterránea. - Rocas muy permeables como lo son generalmente las areniscas, presentan escasa higroscopicidad, mientras las arcillas puras que son consideradas como el prototipo de la impermeabilidad, son de las más higroscópicas.

La absorción del agua por los terrenos permeables se efectúa de tres maneras diferentes:

1o.- Por imbibición en las tierras sueltas y en las rocas porosas propiamente dichas o sea lo que se llama permeabilidad interior.

2o.- Por infiltración o relleno de las cavidades menudas en los materiales fragmentarios. Esta es la permeabilidad exterior, y.

3o.- Por penetración en las hendiduras y cavidades del terreno; ésta como la anterior es una permeabilidad exterior.

Para mi concepto no veo una separación cualitativa entre los tres fenómenos, puesto que las diferencias que existen entre el poro físico, el poro sensible y la hendidura, solo y únicamente afecta al tamaño de esas soluciones de continuidad; más a pesar de todo esto hay que tener presente que las condiciones de absorción son distintas en cada caso y bien claro se ve si se recuerda que físicamente actúan dos fuerzas sobre el agua que se infiltra en un terreno: La acción de la gravedad que tiende a hacerla descender y la atracción que los granos sólidos ejercen sobre el agua y que tiende a retenerla .

Si los intersticios son muy grandes entonces tendremos gran cantidad de agua para pocas superficies atractivas y en este caso predominará la gravedad haciendo descender el líquido; si por el contrario, los huecos son muy pequeños y

y la atracción molecular es la dominante, el agua se mantiene a un nivel y hasta puede ascender en la vertical. Para las rocas hendidas nos ocurrirá lo primero y lo segundo para las de poro muy pequeño.

Volviendo a las diferentes maneras de absorción, en el poder absorbente por imbibición, las tierras y las rocas porosas retienen el agua por este efecto que es variable según la naturaleza de las sustancias y debido a la porosidad y a la capilaridad según lo explicado anteriormente.

Atendiendo a la capilaridad, tenemos un detalle que la experiencia nos demuestra fácilmente: el agua sube por capilaridad unos 30 milímetros en un tubo de vidrio de un milímetro de diámetro y en un tubo de un diámetro 10 veces menor unos 300 milímetros.

En una columna llena de arcilla y de tierra finamente dividida, el agua puede elevarse de 1.50 a 2 metros; mientras que en una capa de arena de mediano tamaño solo subirá unos 0.30 metros.

La imbibición que no tiene un mínimo, tiene un máximo que es la saturación y después de la cual el agua se escurre .

El poder absorbente máximo de tierras por imbibición es fácil determinarlo experimentalmente. Se sabe que después de la desecación:

100 Kg. de tierra turbosa pueden retener 85 Kg. de agua

"	"	"	"	arcillosa	"	"	70	"	"	"
"	"	"	"	arcillo-silicosa	"	"	50	"	"	"
"	"	"	"	calcárea	"	"	45	"	"	"

Esta determinación es mucho más difícil cuando se trata de rocas, variando además según su fragmentación; de tal modo que suponiendo un estado compacto en las circunstancias más probables, tenemos:

1 m ³ . de tufa volcánica absorbe	30%	de agua en pies.
" " " creta "	20%	" " " " "
" " " calcárea. "	0.5-10%	" " " "
" " " granito "	0.25-0.50	de agua en pies.

Cuando se trata de materiales fragmentados o polvosos, los resultados varían.-Veamos el siguiente cuadro de M. Delesse y de imbibición de materiales de construcción:

	En fragmentos---	En polvos.
100 partes de creta absorben.....	24.00 p.de a.	41 p.de a.
" " " esquisto "	2.85 ""	36 ""
" " " yeso "	2.20 ""	26 ""
" " " arenisca cuarzosa fina	0.66 ""	- - -
" " " esquisto pizarroso	0.19 ""	31 ""
" " " mármol gris	0.08 ""	17 ""
" " " granito anfibólico	0.06 ""	27 ""

Poder absorbente por relleno de vacío. Hay algunos materiales como rocas fragmentadas, piedras, guijarros, arenas⁹ retienen las aguas primeramente por imbibición y mas luego por relleno de los vacíos entre sus elementos.

Voy a dar algunos resultados obtenidos por Paul Chalen en cierto número de materiales previamente desecados por exposición al aire. llenó hasta los bordes un barril de 110 litros, con cada uno de los materiales, luego fué vertiendo agua litro por litro hasta comenzar el derramamiento por la parte superior.

El agua retenida en los vacíos, por metro cúbico de material fué:

0.200 m ³ .	en arena muy fina homogénea
0.300 "	" " fina ordinaria
0.350 "	" grava menuda hasta 8 o 10 m.m.
0.400 "	" " hasta 25 m.m.
0.450 "	" cantos rodados y guijarros hasta 6-7 cm.
0.450-0.500	" guijarros grandes hasta 10 c.m.
0.500 "	" piedras de 10 - 20 c.m.

Por éstos resultados se ve que cuanto más grandes sean los elementos, mayor es la capacidad de absorción.

La imbibición de tierras y arenas se hace lentamente, tanto más cuanto mayor es la proximidad de la tierra a la saturación. Así, una misma cantidad de agua llovida, proporcionará a la absorción un coeficiente mucho menor cuando la lluvia sea torrencial que cuando sea lenta; el mayor efecto útil corresponderá a las nieves, que se van fundiendo lentamente. Por lo anterior se comprende el porque las lluvias de verano, que son torrenciales y violentas, cayendo además en una época de gran actividad evaporatoria, tengan muy poca influencia en el régimen de las aguas subterráneas.

El cuadro siguiente nos da una idea de lo que es la velocidad de imbibición. Son el resultado de un experimento verificado por el francés M. Fichard con diferentes muestras constituidas por materiales en proporciones diferentes.

Materiales de las muestras.	Proporción	Duración de la imbibición.
I Arcilla grasa.		55 días.
II Arcilla.	30	
Arena caliza palpable.	70	45 "
III Arcilla.	20	
Caliza palpable.	80	42 "
IV Arcilla.	30	
Caliza impalpable.	15	
" palpable.	55	36 "
V Arcilla.	20	
Caliza impalpable.	25	
" palpable.	55	20 "
VI Arcilla.	30	
Sílex impalpable.	15	
" Palpable.	55	16 "
VII Arcilla.	20	
Sílex impalpable.	30	
" palpable.	50	8 "
VIII Arcilla.	10	
Sílex impalpable.	40	
" palpable.	50	5 "
IX Arcilla.	10	
Caliza impalpable.	90	6 "
X Arcilla.	10	
Sílex impalpable.	90	28 horas.

Con la verificación de los experimentos anteriores M. Pichard sacó la siguiente conclusión:

*No teniendo en cuenta que la arcilla y los materiales impalpables que juegan el papel principal bajo el punto de vista de la estancabilidad y desechando la pérdida debida a la evaporación, se puede, refiriéndose a las indicaciones del cuadro anterior, estimar que un terreno, superficial o bajo la superficie, en las condiciones ordinarias, poco guijarroso o pedregoso, es apropiado a la submersión y retendrá el agua sin renovación durante cincuenta horas cuando se refiere a

uno de los elementos o mezcla de los materiales siguientes:

1 Arcilla pura.	30%
2 Arcilla.	20%
Caliza impalpable.	20%
3 Arcilla .	20%
Sílex impalpable	30%
4 Arcilla.	10%
Sílex impalpable	60%
5 Arcilla .	10%
Caliza impalpable.	45%

Así pues, no se debe considerar las arcillas puras o menos puras como tierras impermeables; es necesario sin embargo hacer una excepción para la greda variedad de arcilla que contiene cal y óxido de hierro .

Conviene observar que la impermeabilidad existe en hecho cuando se trata de capas arcillosas superficiales que tienen al menos 50-60 centímetros de espesor, puesto que el agua lluvia en las condiciones ordinarias no tiene tiempo de penetrarlas siéndole más fácil retornar a la atmósfera por evaporación; lo mismo puede decirse de los bancos arcillosos bajo la superficie y que tienen varios metros de espesor.

Muchas veces sucede que estos bancos arcillosos aun cuando sean de un espesor muy grande, no son impermeables mas que en apariencia, ya que frecuentemente están atravesados por capas permeables de arena o otro material permeable que son o mejor dicho sirven como canales conductores de agua .

Cuando no se trata de la imbibición de la roca, sino del paso del agua a su través, fenómeno que mas directamente nos interesa, se llega también a la conclusión de que estos procesos son muy lentos; como confirmacion a lo anterior es-

tán los experimentos del agronomo francés M. de Gasparin, quien determino el tiempo que una capa de agua de medio metro de altura empleaba en atravesar un espesor de 30 cms. de tierra previamente saturada. He aquí los resultados :

<u>Rocas</u>	<u>Tiempos</u>
Arena cuarzosa fina	1.57 horas
Tierra caliza con 11% de mantillo	7.94 "
Polvo fino de mármol	88.11 "
Creta	201.60 "
Arcilla de tejar	252.00 "
Caolin	603.00 "
Arcilla refractaria	Indefinido

Como indicios mas o menos apreciables para reconocer la impermeabilidad o permeabilidad de los terrenos tenemos:

Los terrenos graníticos se caracterizan por sus cumbres redondeadas y formas bajas, denudadas y casi siempre esteriles; son cortadas por un gran número de pequeños valles .

En cuanto a los macizos de granito se les ve salir en gibosidades por encima de los esquistos cristalinos o de transición que atraviesan.

Las tierras y arenas provenientes de su descomposición se amontonan al pie de las vertientes formando suelos ligeros muy permeables y que tienen una vegetación característica.

Si la capa permeable de recubrimiento es delgada, las aguas lluvias difícilmente se escurren, dando lugar a que se formen pantanos .

Las traquetas se lanzan en macizos de monta-

ñas cónicas ^{en las cuales} las cimas son algunas veces muy elevadas.

Los esquistos viejos y cristalinos, las cuarcitas toman formas mas agudas con aristas salientes. Dan arenas finas análogas a las anteriores, pero que forman suelos generalmente muy silicosos y ~~propio~~ ^{poco} apropiados al cultivo. Las rocas particularmente se denuncian por su esterilidad.

Los porfiros presentan formas agudas y de líneas serradas. Los derrames y diques porfiríticos abundan en los periodos carboníferos y permiano, siendo muy raros en las épocas antiguas .

Los terrenos arcillosos y algunos otros que son más o menos impermeables, se manifiestan por sus formas y pendientes suaves y sobretodo por la presencia frecuentes de aguas estancadas, lagos, pantanos, etc. Sobre los terrenos más o menos húmedos se encuentran una vegetación más o menos apropiada como juncos y otras semejantes , cuando se tornan estos terrenos turbosos, son caracterizados por plantas musgosas .

Ahora Para los terrenos permeables, las rocas calcáreas, que son extremadamente esparcidas, son fáciles de reconocer. Toda calcárea cualquiera que sea su color blanca, gris, amarilla, etc. da una raya blanca en la punta de un cuchillo.

Las rocas terminan en crestas mas o menos alineadas en las cuales se distinguen roturas y desplomes.

Las vertientes toman a menudo la disposición en gradas, que corresponde a roturas de estratos en aferramiento.

Al contrario de los terrenos impermeables, los

terrenos calcáreos estan cruzados muy raramente por valles, pero quando ellos suceden generalmente son profundos.

Todos estos caracteres pierden su particularidad cuando las rocas calcáreas alternan con esquistos, arcillas o arenas; estos elementos modifican el relieve general y por superposición, suavizan las crestas y las vertientes.

Los suelos provenientes de la disgregación de calizas son ricas en cal y a menudo en ácido fósforico, así como también muy fértiles.

Muchos son los detalles que nos indican a simple vista cuales terrenos podemos considerar como permeables y cuales como impermeables.-Los accidentes topográficos, orografía y la vegetación son factores muy importantes.

En general se puede decir: cuando el terreno es plano, poco accidentado y muestra pocos arroyos, es permeable, porque las aguas lluvias no hacen alto y lo atraviesan rápidamente.

Si sucede lo contrario o sea que el terreno está surcado de valles, barrancos y sembrado de gran número de cursos de agua, es impermeable.-Las aguas reposan en la superficie, forman lagos, pantanos, etc., y luego se escurren dando lugar a las formaciones de valles y barrancas.

Esta clasificación bastante simple de los terrenos teniendo en cuenta sus caracteres físicos, tiene una gran importancia bajo el punto de vista hidrológico, para aquel que proyecta buscar agua subterránea.-En efecto, en el primer caso se puede inmediatamente concluir que las aguas de infiltración se encuentran a una profundidad pequeña, en la base de la

capa permeable superficial.--En el segundo caso uno no podrá atenerse a algo sino después de atravesar la capa impermeable; bajo ésta uno tendrá el chance de volver a encontrar un nuevo terreno impermeable, pero precedido de un banco permeable embebido por sus afloramientos superiores o por fracturas accidentales de la cubierta impermeable, alimentados por una corriente de agua.

REGIMEN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.-

En el primer capítulo quedó sentado que todas las aguas subterráneas tienen un origen meteórico; así como también que del agua precipitada en la forma de meteoros acuosos, una parte que en general puede calcularse en un 25%, pasa al interior de la corteza.

Trataré ahora de explicar de que manera tiene lugar éste fenómeno, punto de partida de todo lo que a la circulación interna del agua se refiere.

Ha habido siempre una tendencia a figurarse que las aguas subterráneas son amontonadas en depósitos naturales, de los cuales el exceso se derrama formando corrientes internas que dan origen a las fuentes.

El mismo abate Paramelle dijo que las infiltraciones se reúnen poco a poco para formar cursos de agua subterránea en las cuales el volumen de agua acrecienta a medida que se aleja del lugar de su origen.-

"M. Daubrée dice al respecto: Las fuentes son alimentadas por corrientes subterráneas que circulan en las fisuras e intersticios de las rocas, y que reciben generalmente el nombre de cascadas de agua".

"Los nombres de cascadas de agua y niveles de agua han dado a menudo lugar a errores.- No se trata de una verdadera cascada de agua que estaría interpuesta entre dos rocas sólidas, sino del agua alojada entre los intersticios de las rocas sólidas en las cuales ella no representa sino una pequeña porción del volumen total".

"En el caso donde una de las tales cascadas im-

pregna rocas porosas tales como arena o gravas, es en general continua.-No pasa lo mismo cuando el agua ocupa fisuras o cavidades mas o menos espaciadas."

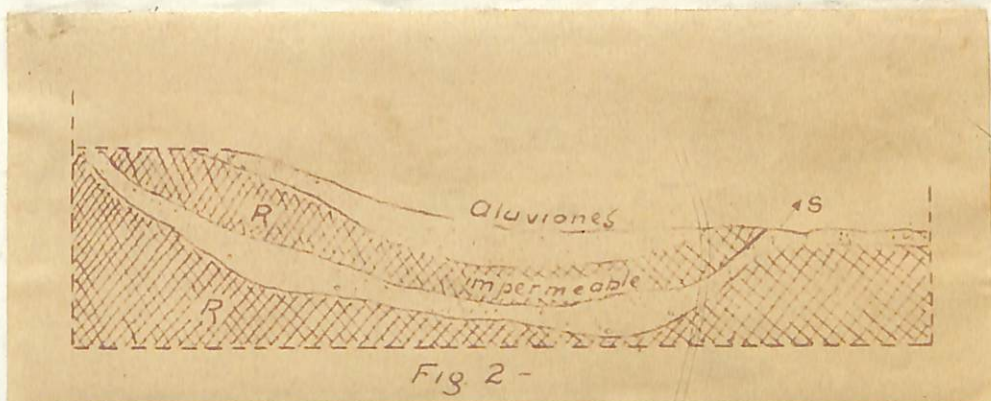
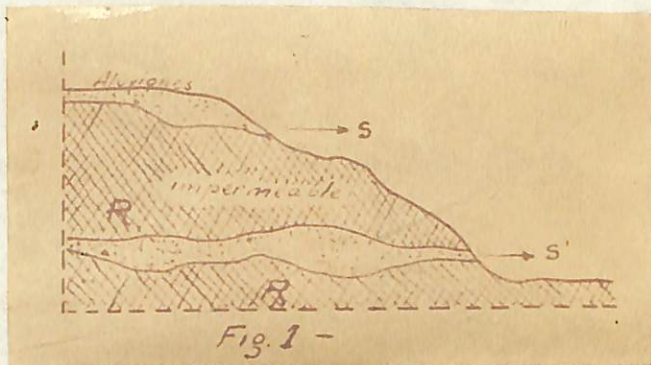
Al efecto: se ha podido comprobar que en realidad los rios y arroyos subterráneos, así como también los depósitos de aguas estancadas, son excepciones y que en general existe una circulación líquida continua en forma de hilos, venas, rezumos y escurrimientos capilares a través de las arenas y las rocas permeables, que forman lo que apropiadamente se debiera llamar lechos o yacimientos acuíferos.

Los infiltraciones de las aguas lluvias penetran en los terrenos permeables que comienzan por empar y saturarlos completamente; después continúan los aportes llegando a un exceso que se desplaza lentamente por encima de la roca impermeable subyacente; el descenso está limitado en profundidad por una superficie impenetrable que es lo que constituye un nivel de drenaje.

Se concibe que puedan existir varios niveles de drenaje, es decir varias capas acuíferas superpuestas y contenidas entre dos bancos impermeables.) En este caso es de considerar más especialmente las capas más cercanas a la superficie o sean aquellas cuyas aguas se denominan freáticas o que alimentan los pozos ordinarios; denominándose freáticas en oposición a las llamadas aguas artesianas que son mucho mas profundas que las otras que generalmente circulan a menos de cincuenta o sesenta metros de profundidad.

El agua circula entonces en un medio permeable que descansa sobre una capa impermeable.-La capa per-

meable puede aflorar por cualquier causa; la figura # 1 nos muestra el caso en que el afloramiento da origen a una fuente en la vertiente de un valle; En los puntos F y F'. La figura # 2 nos muestra el caso en un valle, allí existen los dos a-



floramientos de la capa inferior y dada la diferencia de nivel entre los dos aflora-

mientos, la fuente se origina en el de nivel inferior debido a un sifoneamiento en F.- Este caso es análogo al que origina la formación de aguas artesianas.

Mientras la circulación del agua a través del banco permeable sea efectiva, la fuente marcha bien; pero la capa acuífera puede disminuir, bajando el nivel hidrostático debido a una época seca que no permite un aporte suficiente de aguas lluvias o que cesen por completo trayendo como consecuencia el que la fuente disminuya o se seque. Cuando comienza la época lluviosa, viene el fenómeno a la inversa: la capa acuífera se llena, restableciéndose la fuente hasta llegar a su estado normal.

Como ya he anotado antes, el descenso de las aguas meteóricas hasta la capa acuífera y su desplazamiento hasta provocar el origen de la fuente, se efectúa muy lenta-

mente.-Es precisamente por ésta causa que el efecto de una sequía prolongada demora muchas veces la manifestación del Punto de origen de una fuente; así como también hay que tener en cuenta el que las fuentes se hallan sometidas a variaciones en lo que podemos llamar su descarga.

La descarga de una fuente está directamente influenciada por la elevación del nivel hidrostático, o freático, así:

A un nivel hidrostático o freático máximo en una fuente dada, corresponde una descarga máxima, la que sirve para el cálculo de los conductos de aguas captadas; para el nivel hidrostático o freático medio corresponde una descarga media o normal y que es la que hay que tener en cuenta para la evaluación de la fuente y por último el nivel hidrostático o freático mínimo al que corresponde una descarga mínima que coincide prácticamente con el agotamiento de la fuente.-La figura # 3 nos muestra de una manera gráfica lo anteriormente expuesto.

Ya que he mencionado "nivel hidrostático" conviene explicar que se tiene como tal.



Las aguas lluvias ejercen un efecto de descomposición en los terrenos superficiales que penetran, efecto que tiene un límite de profundidad lo que se debe a que las aguas van siendo cada vez menos activas a medida que penetran en el suelo a causa de la pérdida de oxígeno

al contacto de las primeras capas ; de tal manera que al llegar a cierto límite el efecto de las aguas es nulo.

Debido al proceso anteriormente expuesto se va formando una zona de oxidaciones , disoluciones, hidrataciones y reacciones químicas bajo la cual el agua continúa su descenso en sentido vertical a través de los estratos permeables que ellas empapan; estas aguas finalmente forman una capa húmeda interrumpida, en la cual las partículas, gotas e hilos líquidos se escurren por encima de un lecho líquido que constituye su nivel de drenaje.

La superficie superior de este yacimiento acuífero, a partir de la cual las aguas son drenadas en un libre escurrimiento, constituye lo que se ha convenido en llamar nivel hidrostático. - El encuentro de este nivel indica a los cateadores la presencia de agua subterránea. X

Este nivel hidrostático no sigue exactamente el perfil de la superficie del terreno, pero si las principales sinuosidades. La figura # 4 nos muestra como es-

tá formado el nivel hidrostático.

La figura # 5 nos

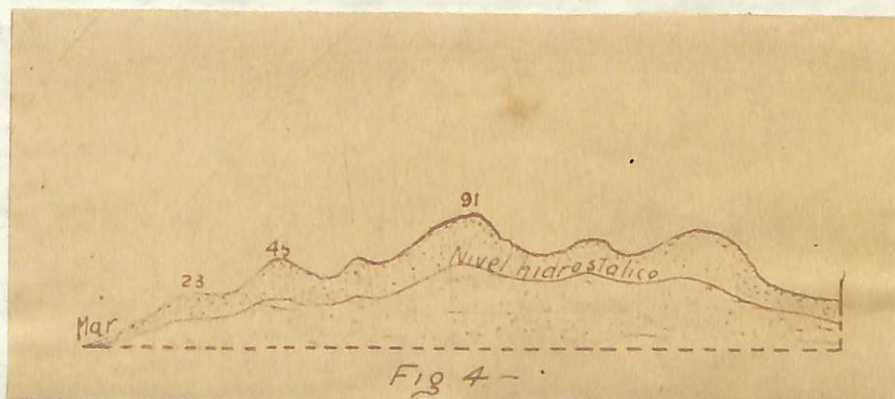
muestra también

como el nivel hi-

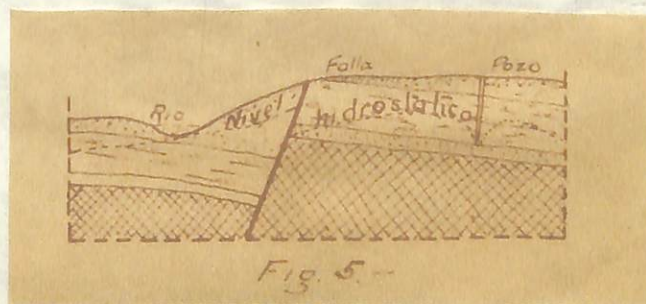
drostático sigue

los principales accidentes

del terreno.



En tésis general el nivel hidrostático se hunde a lo largo de las fa



llas, al rededor de los pozos en uso constante, en los suelos secos y áridos; sucediendo lo contrario, es decir sube en las colinas debajo el lecho de los cursos de agua y hasta su contacto, en las regiones cultivadas y mantenidas húmedas; varía igualmente según las estaciones.- La misma Fig.#5 nos indica las variaciones antes anotadas.

Volviendo a las variaciones de la descarga, ésta se encuentra igualmente influenciada por la velocidad con que las aguas subterráneas recorren la capa permeable.- Esta velocidad depende no solamente de la naturaleza de la capa permeable en la cual se verifica el derramamiento, sino también de la pendiente del nivel de drenaje y de la cantidad más o menos abundante de las aguas ^{te} mecánicas.

El medio permeable ejerce su influencia en la velocidad de circulación. Al efecto, mientras más grandes sean los vacíos, rellenos de arenas, gravas, etc., mucho más rápida será la circulación.- Igualmente sucede con las fisuras en las rocas: mientras más grandes sean, mucho mayor será la velocidad con que las corrientes líquidas las atraviesen.

El siguiente cuadro indica las velocidades máximas con que el agua puede correr sobre un lecho sin que los diversos materiales que forman dicho lecho sean arrastrados por la corriente.

<u>Materiales.</u>	<u>Velocidad Max/seg.</u>	
Tierra remojada-lodo-cieno-limo	0.075 m.	} Cursos lentos de agua.
" arcillosa, arena muy fina	0.15 "	
Arena hasta de 4 mm. Ø	0.20 "	
Arena o grava menuda		
hasta 8m.m. Ø	0.30 "	

Arena hasta 25 m.m. ϕ	0.60	} m.	Cursos regu-	
Cascajo de 20-50 m.m. ϕ	0.90			lares.
Rocas fragmentadas	1.20 m.)	}	Cursos rápidos	
" esquistosas blandas	1.40 "			y avenidas.
" lajeadas	1.80 "			
Rocas duras	3.00 m.		Torrentes.	

Apenas estas velocidades son sobrepasadas, los materiales que forman el lecho son arrastrados; para el cálculo de las velocidades anteriores se ha empleado la formula:

$V = \frac{V_{40}}{3} d.$ $V \frac{40}{3} d.$ establecida por el profesor Uzielli para determinar la velocidad de un torrente teniendo en cuenta el mayor diámetro de los materiales arrastrados en forma de gujaros.

\underline{V} representa la velocidad del fondo y esta relacionada a la velocidad superficial \underline{v} según la relación: $v = k \underline{v}$, en donde k es un coeficiente que varía con la altura del agua y la naturaleza del lecho.

En general k varía de 0.60 m/ a 0.85 m. para una altura de agua inferior a 2 metros y en un lecho rugoso.

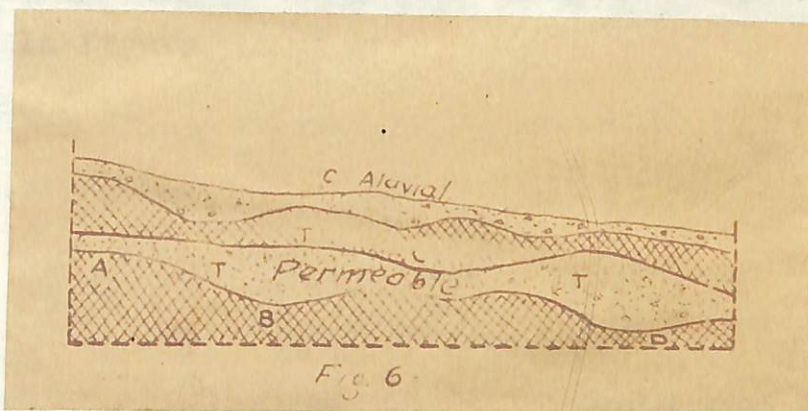
Ya hemos visto más o menos la influencia que sobre la velocidad de circulación ejerce el medio permeable; veamos algo sobre la influencia que la pendiente ejerce sobre la velocidad ya mencionada.

El fondo de la capa permeable o mejor dicho la superficie de la capa impermeable y que según hemos visto anteriormente es lo que se llama nivel de drenaje; puede compararse dentro del límite apropiado, al fondo de los mares. El nivel de drenaje al igual que el fondo de los mares es accidentado: nos

presenta ya una pendiente más o menos pronunciada, ya depresiones, en fin, todos aquellos accidentes que puedan presentarse en el fondo del mar.

Puede perfectamente el lecho impermeable presentar en algunos puntos de su relieve interrupciones a la regularidad del curso subterráneo de las aguas, pero mientras los aportes sean continuos el movimiento de las aguas puede proseguir.

Tomando como ejemplo la Fig. # 6 se ve que no hay estancamiento en los bajos fondos B y D, pues los cambios son continuos



y se suceden los unos a los otros hacia arriba y hacia abajo, es decir, en el sentido de la pendiente de los terrenos o de la gravedad.

Si la capa A.B.C.D. es de arena o grava continua entre dos superficies impermeables, la imbibición es la misma en toda su extensión y las corrientes líquidas que la atraviesan lo hacen con la misma velocidad.- Un aumento de velocidad en un punto cualquiera implicaría un desplazamiento de la arena, una modificación en el equilibrio general, lo que tendría lugar accidentalmente.

En la misma Fig. # 6 podemos notar en su parte superior la capa M. y que está constituida por material detrítico. Es evidente que la circulación en ella es diferente debido a las influencias atmosféricas que se ejercen en su parte supe-

rior.- Aquí la capa acuífera de saturación estará limitada a determinado espesor que varia según el estado de evaporación y el calor exterior, siendo asimilable a un curso de agua que formaría su lecho siguiendo las sinuosidades del terreno.- Bien se comprende que mientras más profundos, es decir, mientras más se acerquen al terreno impermeable los pozos que se construyan en estos estratos superficiales, mucho mayor será el agua que ellos den.

Ya se mencionó en el capítulo sobre impermeabilidad, uno de los casos como el agua penetra en el interior de la tierra, el tercero o sea a través de hendiduras a las cuales ya no puede aplicarse el nombre de poros. Las rocas incoherentes que existen son el menor número, casi siempre de poco espesor, aunque a primera vista parece mas abundante, es porque los agentes atmosféricos atacando las rocas compactas las reducen parcialmente a tierras, pero casi siempre a poca profundidad se encuentra la roca viva aun cuando éstas sean por si misma, en la mayor parte de los casos impermeable, cuenta casi siempre en toda su extensión con fracturas a través de las cuales va a tener lugar la circulación.

La importancia de estas fracturas para el régimen subterráneo de las aguas es muy grande, por lo cual conviene anotar y extenderse algo en su clasificación y determinación. Para ellos seguiré a M. Daubrée quien ha tenido muy en cuenta su importancia y su influencia preponderante en la circulación subterránea.

Aun cuando no estudie aquí los planos de estratifi-

cación, puesto que no se pueden considerar como verdaderas fracturas, cabe observar que ambos accidentes comparten la influencia en la circulación de las aguas subterráneas .

Daubreé denomina^{en} general litoclasas a las fracturas y las divide en tres grandes grupos: leptoclasas, diaclasas y paraclasas. Pudiendo subdividirse las primeras en sinsaclasas y piezoclasas.

Las leptoclasas son todas fracturas de pequeñas dimensiones, al menos en un sentido y que descomponen la corteza terrestre en fragmentos pequeños . Daubreé supone que han podido originarse por dos procesos distintos .

1o.- Por acciones moleculares , generalmente retracciones, debidas al enfriamiento o a la desecación; son las sinsaclasas, que casi siempre observan como una regularidad geométrica . Como ejemplos tenemos las formas prismáticas de los basaltos y la poliédricas de las arcillas que con tanta frecuencia observamos en los charcos agotados .

2o.- Por acciones mecánicas externas que hallan producido presiones ; éstas, llamadas piezoclasas y que no suelen tener ninguna regularidad aparente, rompen las rocas en fragmentos menudos. Los mármoles veteados nos presentan un ejemplo.

Las diaclasas, que son las fracturas mas frecuentes en la naturaleza , son también las menos conocidas en sus caracteres generales. Son roturas planas que atraviesan toda clase de rocas paralelamente a ciertas direcciones, a veces con gran regularidad, descomponiendo la corteza en volumi-

nosos fragmentos paralelepípedicos . Algunas veces se extienden con formas planas en mas de 100 metros en sentido horizontal y conservan la misma orientación media durante varios kilómetros aun a través de rocas diversas. Según las experiencias de Daubreé, Las diaclasas han sido producidas por presiones o torsiones que sufrieron las rocas después de su consolidación.

Las paraclasas son las fracturas que los geólogos y mineros conocen mas generalmente con el nombre de fallas . Aunque parecidas a las anteriores, suelen tener mayor dimensión , ser casi siempre curvas y sinuosas e ir acompañadas de cambios de nivel entre los dos planos o labios de la falla . Son originadas por acciones tectónicas análogas a las que dieron lugar a las diaclasas .

Sea cualquiera el proceso de absorción del agua, el descenso de la misma en la vertical es ilimitado mientras no encuentre en su trayecto una capa impermeable sin litoclasas de ninguna especie. La diferencia, según que el paso del líquido se haga por uno y otro procedimiento , será tan sólo de cantidad absorbida en la unidad de tiempo. Mientras la imbibición y filtración propiamente dichas son procesos lentos, el paso a través de las ^plitoclasas es mucho mas rápido y las diaclasas y fallas pueden hacer desaparecer en poco tiempo , grandes cantidades de agua .

En todo el mundo se conocen caudales de agua que en un punto de su trayecto disminuyen de caudal y aun se pierden totalmente, unas veces para reaparecer mas lejos, y otras sin que se conozca el ulterior destino de sus aguas. En todos los casos se ha comprobado la existencia de fracturas en el le-

cho de las corrientes en el punto de su pérdida.

Casi todas las grandes fuentes del mundo deben su origen a la reunión de aguas a través de litoclasas, observándose en consecuencia que brotan en los terrenos calizos, que siendo por su naturaleza ^{poco} permeables, están casi siempre acribillados por fracturas de toda clase.

En Francia existe un manantial que ha sido muy celebrado y estudiado. Se trata de la fuente de Vaucluse que ha sido objeto de trabajos numerosos y profundos por parte de los señores Mouvier, Gras, Daubreé y otros geólogos. Su caudal oscila entre 7 y 720 metros cúbicos por segundo. Brota al pie de un acantilado calizo de 200 metros de altura, formando su salida una cascada en la cual comienza su curso el río Sorgue, afluente del Rodano. La cuenca de alimentación de esta fuente es una meseta de cerca de 70 metros de largo con un anchura variable de 5 a 26 kilómetros y una superficie de más de 100.000 hectareas. Toda ella está formada por una caliza llena de hendiduras y sumideros apoyado en una capa margosa, correspondiendo el punto más bajo del contacto de dichos materiales al lugar en que brota la fuente.-Las aguas lluvias son rápidamente absorbidas por el suelo y sin duda se concentran en el más bajo nivel, por donde salen a la luz del día.-Tan clásico se ha hecho el caso de este manantial, que a todos los de régimen análogo se les designa por los hidrólogos con el nombre de fuentes "vauclyusianas".-

En general, el aflujo del agua a estas fuentes se hace por hendiduras muy finas, que tejen como una especie de red a través de la roca.-El líquido busca el nivel más bajo

por estas grietas, uniéndose unos a otros los hilitos que la llenan y concentrándose así hacia los puntos de salida.-No hay, pues, en este caso, como se suele decir, capas de agua profunda, sino venas, arroyitos, riachuelos subterráneos, tanto más caudalosos cuanto más profundos.-Estas aguas, produciendo en las rocas acciones disolventes y erosiones mecánicas, pueden por sí mismas, ensanchar sus conductos primitivos y hasta constituir verdaderos rios interiores.-Si en su trayecto encuentran anchorones o cavernas, en ellas se formarán verdaderos lagos, que también pueden originarse en cavidades interiores sin comunicación con ninguna corriente de importancia.

Accidentalmente las capas acuíferas pueden ser recortadas o interrumpidas por depósitos naturales de agua en comunicación con la atmósfera, aunque a menudo tienen profundidades de mas de trescientos(300) metros.-

La existencia de éstos depósitos, verdaderos pozos materiales, no son más que un accidente en la historia general de la hidrología; es necesario considerarlos como vastas diaclasas donde el agua se acumula y circula con una actividad más o menos grande.

La velocidad con que el agua marcha a través de las rocas y el conocimiento perfecto de las cuencas de recepción, nos darán ~~en~~ la clave del régimen de las fuentes vauculsianas, permitiendo predecir, a veces con muchos meses de anticipación, las variaciones de caudal, que en último término dependerán con un período fijo, de los meteoros acuosos de su cuenca.

Como en el caso de que se trata, la influencia de atracción sobre el agua puede ser despreciada, la velocidad dependerá tan sólo del valor de caída (relación del desnivel con la distancia recorrida en la horizontal) y de las dimensiones y complicación de las litoclasas. - El primer dato es fácilmente deducible en muchos casos, pero en este último no se puede conocer, sino muy imperfectamente en la mayoría de ellos. - Cuanto más capilares y tortuosos sean los conductos, más lenta será la marcha de las aguas, cuya velocidad llega en el caso de las cavernas a alcanzar cifras comparables con las de las corrientes exteriores.

Experimentos recientes dan como velocidad k , en metros por segundo, para el agua que atraviesa un espesor de tierra igual a la altura de carga, bajo la sólo acción de la gravedad, los siguientes valores:

<u>Composición de las tierras.</u>	<u>valores de k.</u>
Grava con arena.	0.03330.
Arena gruesa	0.01000.
Arena de grano medio	0.00270.
Arena fina	0.00060.
Arena con arcilla (caso muy frecuente).	0.00017.

Para un lecho de arena gruesa apoyado sobre capa impermeable, con una pendiente de 0.005 y el valor de k igual a 0.01, la velocidad será de 0.00005 por segundo, lo que una velocidad para las aguas subterráneas, más o menos quinientas (500) veces menor que en las superficiales.

Por consideraciones más o menos análogas, deduce Bentabol que el agua que en un día penetra vertical-

mente en un terreno poroso y homogéneo y cuyo desague tiene que verificarse a través del mismo, con una pendiente del uno por mil (1/1000), tarda en perderse por curso subterráneo tres años por cada metro de descenso vertical de la corriente.

Esta lentitud con que los caudales subterráneos atraviesan los terrenos es un factor indiscutiblemente favorable para la constancia de dichos caudales; y es precisamente por esto que a la creación de corrientes subterráneas hay que concederles importancia en ciertas regiones donde es difícil el abastecimiento por cualquier causa.

Las cosas sin embargo no ocurren con la absoluta regularidad antes descrita; para ello será preciso también una homogeneidad completa en todos los terrenos atravesados durante todo el recorrido.-Aparte de la distinta disposición de los materiales que constituye cada estrato, en los de una misma naturaleza, sobre todo en los calizos, abundan los accidentes que regularizan la marcha de las aguas.- Tales son sobre todo las cavernas, sobre las cuales trataré someramente.

Las cavernas o grutas que en ocasiones toman las formas de simas, pozos, abismos, etc., son cavidades irregulares, a veces series de ensanchamientos unidos entre sí por estrechas fracturas.- Suelen tener una orientación general según alguna gran diaclasa, y están recorridas por el agua o presentan señales de haberlo estado.- Casi siempre sus paredes se encuentran revestidas de concreciones, estalactitas y estalacmitas, que les dan aspectos pintorescos.- Han sido objetos de grandes estudios que dieron lugar a todo un cuerpo de doctrina,

la ESPELEOLOGIA; y la Hidrología subterránea, la Antropología y la Geología en general, deben muchos descubrimientos a la exploración metódica de estas oquedades interiores.

Puede ser muy variado su proceso de formación, pero casi siempre tiene por origen una fractura primitiva que las aguas corrientes ensancharon por sus acciones disolvente y erosiva. La fractura primitiva es en la mayoría de los casos una diaclasa, y de ahí su orientación general y la existencia de todos los tránsitos entre la caverna y la diaclasa. Con frecuencia las aguas abandonan las grutas que recorrieron a causa de una profundización del valle, por un cambio del régimen, etc., pero siempre dejan huella de su pasada actividad.

Otras veces un depósito de roca soluble, sal común o yeso principalmente, es arrastrado por las aguas circulantes, dejando un hueco entre los estratos. Con frecuencia esta clase de grutas producen hundimientos. En los terrenos yesosos se encuentran con frecuencia cavidades en forma de embudo y que son debidas a pequeños hundimientos de esta clase.

En las corrientes volcánicas son frecuentes tambien las cavernas producidas por refracción de la roca al enfriarse y ensanchadas o no por las corrientes interiores.

Con frecuencia la gruta se forma en la superficie de separación de dos estratos o en los labios de una falla. No es tampoco raro el caso de que las cavernas resulten por acumulación de grandes bloques, a consecuencia de deslizamientos superficiales.

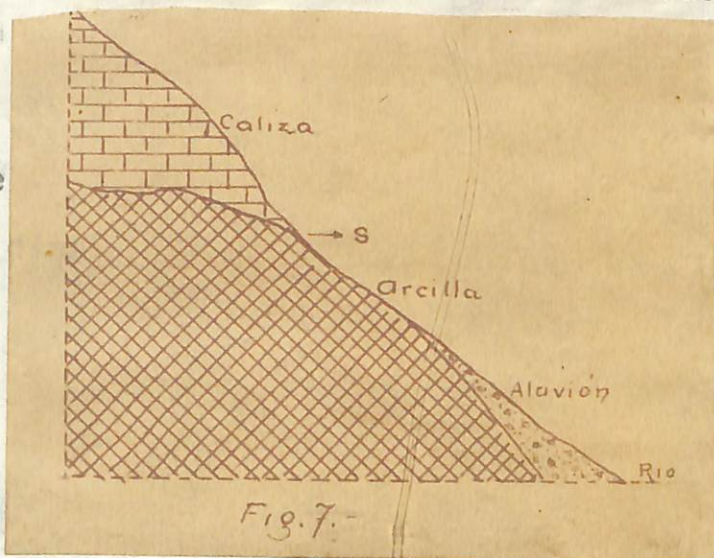
Sea cualquiera su forma y origen, el efecto de las

cavernas sobre el régimen acuoso de la zona en que influyen será el de verificar un verdadero drenaje para todos los terrenos situados a más alto nivel. Las aguas correrán, a través de todas las hendiduras para acumularse donde un mayor espacio, les permita más fácil y rápida circulación. Se crearán así verdaderas corrientes subterráneas en que se concentran grandes cantidades de líquido, cuya salida cuando estos conductores se interrumpen al exterior, originan los grandes manantiales que se han citado como característicos de los terrenos calizos.

Hasta ahora, en todo lo que llevo dicho no he presentado el caso de que se alternen capas de distintas permeabilidad y sólo tratado como si las aguas subterráneas encontraran a su paso una sola clase de materiales; lo que no sucede en la corteza terrestre. Sabido es que ésta se encuentra formada por capas o estratos superpuestos mas o menos gruesos, extensas de rocas diversas, entre las cuales las hay permeables como las arenas, las calizas hendidas, tobas volcánicas etc., o impermeables como las arcillas, margas, granitos y otras muchas. El contacto de unos y otros materiales no puede menos de influir poderosamente en el régimen de las aguas subterráneas y cuya influencia ocupará la atención del resto del capítulo.

Si una roca permeable, una caliza fracturada por ejemplo, se apoya sobre otra impermeable, una arcilla, las aguas contenidas en su marcha por el lecho arcilloso irán empapando la roca superior, hasta que esta se halle saturada,

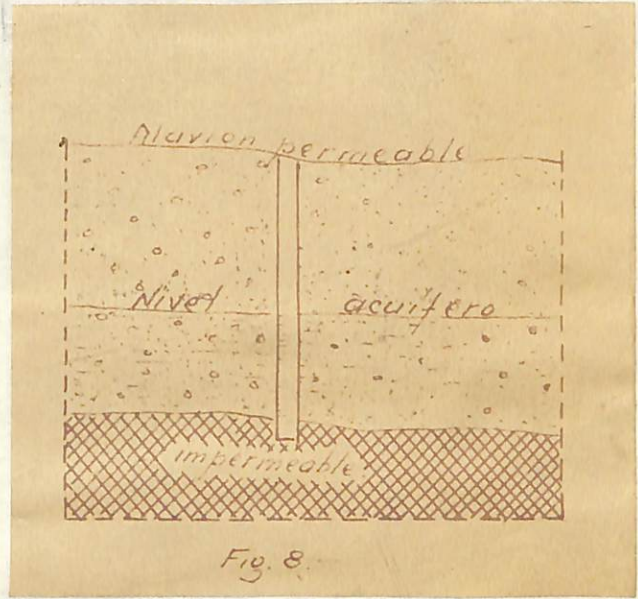
en cuyo caso correrán por la superficie del suelo si antes no han encontrado más fácil salida, como ocurre casi siempre.- Si el contacto de ambos estratos es cortado por una ladera, las aguas, deslizándose por una especie de suelo subterráneo hacia los puntos mas bajos de la línea de unión, llenarán ésta de manantiales cuyo nivel se delata a la vista por una faja de abundante vegetación.- El hecho es frecuentísimo y apenas hay valle, corte ni fractura del terreno donde no pueda observarse en mayor o menor escala. Aquí en Antioquia al recorrer sus caminos vemos con harta frecuencia sucederse este caso en las faldas de las montañas.- Un corte del terreno, más o menos indicativo de como están dispuestas las capas, nos lo muestra la figura # 7..



Obsérvese que para este efecto no es absolutamente necesario que el estrato inferior sea completamente impermeable, sino que bastará que su impermeabilidad sea menor que la del que se encuentra encima.- Con esto, siendo mayor la velocidad de filtración del superior, el de abajo no da salida a las aguas con igual rapidez y se acumulan en la superficie del contacto.- Por supuesto que cuanto mayor sea la diferencia de permeabilidad, en mayor cantidad y mas rápidamente se verificará la acumulación del líquido.

Dada la heterogeneidad de la corteza terrestre, puede decirse que todas las rocas superficiales están interrumpidas a una pequeña profundidad por otras menos permeables y sostienen así una cierta cantidad de agua subterránea.- Tales son las que se ha con-

venido en llamar aguas freáticas, por ser las que alimentan los Pozos ordinarios.-La figura # 8 nos muestra un pozo ordinario abierto en terreno de acarreos y que nos dá una indicación.-Cuando impregnen rocas porosas formarán una masa continua y podrá con propiedad hablarse de niveles de agua o capas de agua, términos que se emplean con una



generalidad que puede estar reñida con la verdad; en una roca atravesada por leptoclasas no habrá capa, sino una red acuosa de mallas más o menos grandes y si los accidentes son diaclasas, fallas, cavernas, etc., ni siquiera podrá llamarse red, sino un verdadero sistema de venas líquidas muy análogo al de las corrientes superficiales.-Todo esto sin perjuicio de una circulación más profunda, puesto que como he dicho, la capa inferior que detiene las aguas no ha de ser precisamente impermeable, y aun puede llegar a afirmarse que nunca lo será en absoluto.

Estudiemos ahora la influencia que la interposición de capas impermeables puede ejercer en la distribución de las aguas subterráneas, que en la inmensa mayoría de los casos será tanto como investigar el régimen de las aguas freáticas.

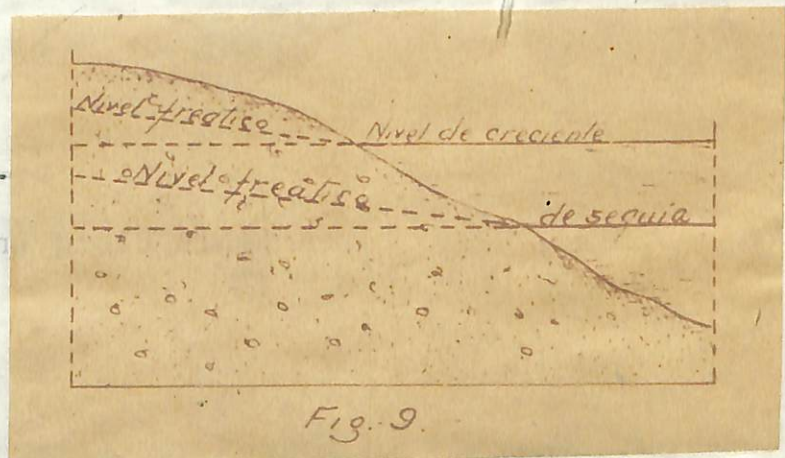
El caso más general es el de los terrenos sueltos superficiales, interrumpidos a una profundidad pequeña por capas algo permeables.-Estos terrenos pueden haber sido transportados por corrientes acuosas, antiguas o modernas, por los hielos y aún por el aire mismo, constituyendo según los casos los terrenos diluviales, los de aluvión, los depósitos gla-

ciaras, etc., que todos pueden ser comprendidos con la denominación de terrenos de transporte.

Estos terrenos cubren grandes superficies de los continentes, generalmente con espesor poco considerable, pero que a veces llega a cientos de metros, existiendo además manchones aislados de menor importancia.-Su constitución es siempre de arenas más o menos fijas, mezcladas con arcilla en proporción variable.

El nivel superior de la capa freática es variable según la abundancia de meteoros acuosos, pero sigue siempre las desigualdades superficiales, conforme quedó explicado al principio de este capítulo, en donde figura con el nombre de nivel hidrostático.

Aquí se puede traer como ejemplo los terrenos inmediatos al Rin y especialmente los comprendidos entre dicho río y su afluente el Ill; son suelos de transporte saturados de aguas freáticas.-Constituyen una faja de gravas y arenas conforme nos lo explica la figura # 9 y que tiene más de veinte (20) kilómetros de anchura con una profundidad considerable, siempre superior a 10 metros y drenada



por el Rin a un lado y el Ill al otro. En esta amplia extensión se observa que el nivel de los pozos cercanos o mejor dicho situados en ésta extensión, sube o baja con las crecidas o sequías de los ríos, aunque la amplitud de las oscilaciones sub-

terráneas es en general menor que la de las corrientes exteriores.-Las variaciones llegan a los pozos con varias horas y aún con varios días de retraso por consecuencia de las resistencias que al paso del agua opone su mayor o menor trayecto subterráneo.

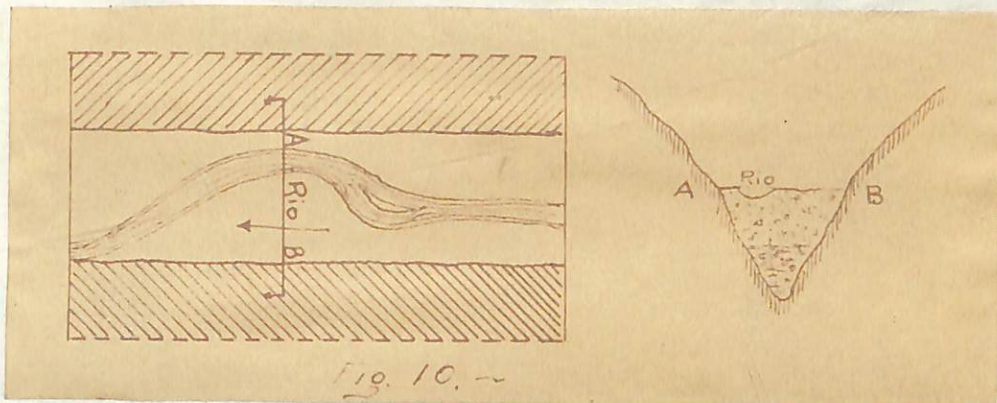
Existe un punto donde el nivel de ambos ríos comienza a igualarse y desde allí empiezan a observarse oscilaciones más complejas a consecuencia de que estando las respectivas cuencas en condiciones meteorológicas diferentes, las crecidas pueden no coincidir en ambos ríos.-Si es el Rin el que crece, el nivel freático va aumentando a partir del Ill y este río viene a recibir una porción del agua de aquel.-En caso contrario es el Ill el que va a verterse parcialmente en el primero.

En estos terrenos pueden presentarse además otras variaciones, debidas ellas a que la llanura aluvial no es completamente homogénea, principalmente por la diversa proporción en que los limos se encuentran mezclados con las gravas y arenas.-Donde aquellos se acumulan forman verdaderos diques subterráneos que se oponen al paso de las aguas; mientras que donde faltan, es mucho mayor la permeabilidad de los terrenos; así, se han podido reconocer verdaderas galerías permeables a través de las cuales se realizan principalmente estos movimientos subterráneos.-El pozo que alcanza en su perforación a uno de estos canales, es más abundante, pero también es cierto que es más sensible a las variaciones del nivel de los ríos.

Hay una ligera variante del caso de las aguas freáticas y es el de las aguas subálveas; se presenta en la mayoría de los casos en aquellos ríos o quebradas de régimen

torrencial que durante las crecidas arrastra cantos, limos y arenas con lo que rellena el talweg.-Durante su régimen ordinario o en el de la sequedad, la pequeña cantidad de agua que forma su curso, generalmente corre según una línea tortuosa excavada en es

tos materiales sueltos.- Al respecto véase la figura # 10.



Pero como casi todos estos materiales son en general muy permeables, parte del agua será absorbida y descenderá hasta el punto en que convergen las laderas, donde se encontrará con la filtrada por la superficie de contacto de dichas laderas con el aluvión.-Puede presentarse el caso de que en el talweg subterráneo haya alguna falla o cualquier otro accidente tectónico que tenga sus litoclasas y que por lo tanto permita al agua descender a niveles inferiores; pero generalmente dicho talweg es poco permeable y entonces es explicable la formación de una corriente oculta más o menos paralela a la exterior y que debe ser más caudalosa por estar defendida de la evaporación.

Precisamente, por correr oculta una gran parte del caudal de los rios, sucede que frecuentemente sea más abundante de lo que parece.

Sin ir muy lejos, aquí muy cerca de Medellín, en la quebrada "La Iguanã" tenemos la comprobación de lo anteriormente expuesto; en épocas normales tiene un curso insignificante que no alcanza la mayoría de las veces a un metro de

profundidad por unos 8 a 10 de ancho, más en épocas de invierno se convierte en un torrente, aumentando el ancho de su lecho, en las cercanías de Hobledo a algo más de 100 metros en algunos puntos.- Arrastra consigo cantidades prodigiosas de cascajo, arenas, etc., materiales ambos muy permeables.- Es ésta quebrada y en sus puntos mas anchos la despensa que surte a toda ésta ciudad y fracciones vecinas, de los materiales antes anotados y es precisamente en la extracción de ellos, cuando se profundiza demasiado, que se forman pequeños pozos que comprueban la existencia de aguas subálveas.

Terrenos de acarreo son también las dunas y médanos, cerros o pequeños montículos que se forman, como es bien sabido, tanto en los desiertos arenosos como en las playas que reúnen ciertas condiciones.- Siendo la arena suelta perfectamente permeable, las dunas mantendrán un nivel freático que puede ser de inapreciable valor para aquellos sitios donde existan.

El régimen de éstas aguas freáticas no ofrece hecho alguno distinto del de las que hasta ahora se han considerado, salvo el caso de cuando se trata de dunas marítimas que tienen la influencia de las mareas.- Para las capas filtrantes puestas en contacto con el mar, la superficie libre de éste debe hacer el efecto de un plano de drenaje y así el nivel freático debe oscilar con las mareas, en el sentido de las mismas, y con cierta diferencia de horas relacionada con la distancia al borde del agua salada.

Hasta ahora sólo he tenido en cuenta o mejor dicho he supuesto que el acarreo de materiales sueltos sobre una roca preexistente los ponía en contacto con la capa menos permeable, dando lugar a las aguas freáticas, pero lo que más generalmente ocurre en toda la serie de terrenos estratificados son numerosas altera-

ciones de capas permeables e impermeables que no pueden menos de originar niveles acuíferos.-

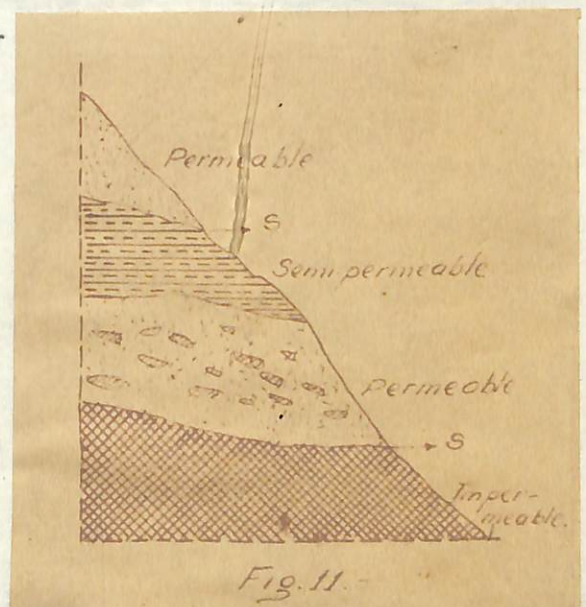
Si los valles están a un nivel más bajo que la capa impermeable, se producirá, como ya se dijo, una línea de manantiales a la altura del contacto de las capas de impermeabilidad diferente.- Cuando el estrato impermeable que sostiene el valle pasa por debajo del talweg del valle, las aguas lluvias que se infiltran se acumularán en un cauce subterráneo que caso de ser muy profundo no se manifestará al exterior y que en el caso contrario producirá fuentes abundantes, vegetación fresca y abundante o llanuras pantanosas en los puntos más bajos.

Como las capas permeables pueden ser varias y ya sabemos que la permeabilidad de las otras no es nunca absoluta, se podrán establecer varios niveles acuíferos o niveles de fuente como indica la figura # 11.- En este caso los niveles mas altos pueden ser los más copiosos, pero al mismo tiempo gozan de mayor constancia los inferiores.

Siendo siempre las aguas subterráneas de origen meteórico, en su abundancia y en las alteraciones de su caudal, tendrá una importancia

primordial, como ya se ha indicado, el régimen de las lluvias.- Claro que de ésta influencia estarán exceptuadas las aguas que en su largo trayecto subterráneo alcanzan profundidades considerables, como pasa a las termales y las verdaderamente artesianas.

Si hay que observar que aun cuando los años secos



hacen bajar el caudal de las fuentes, la tierra ejerce un papel regulador y las diferencias de gasto son menores que las de lluvia caída.-En ciertas localidades en que normalmente devuelven los materiales un cuarto ($\frac{1}{4}$) y un quinto ($\frac{1}{5}$) del agua llovida, en años excepcionalmente secos la proporción puede ser de siete sextos ($\frac{7}{6}$); es decir, sale al exterior más agua que el total precipitado.-Esto se justifica debido a que las rocas abandonan una parte del exceso del líquido recibido en los años precedentes.

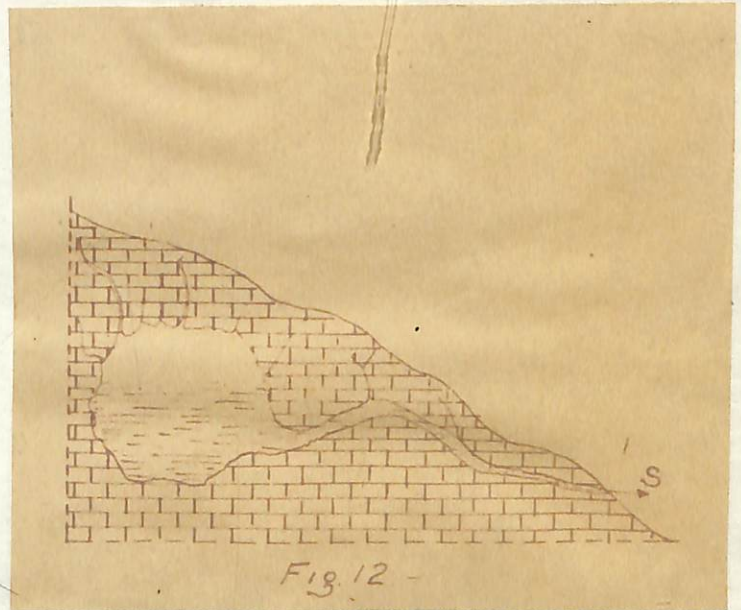
El nivel del orificio de salida no puede menos de influir grandemente en el gasto de las fuentes, puesto que a su tenor varía la carga y por consiguiente la velocidad.-En éstas condiciones es claro que no se puede asimilar los depósitos subterráneos a los que los experimentadores tienen a su disposición en los laboratorios cuando estudian los principios a que está sometida la salida de los líquidos.-La manera determinada y especial como yace el agua entre los materiales de la corteza terrestre es de por sí una causa que no permite la aplicación de leyes, ya que los efectos se traducen en cierta atenuación o debilitación de dichas leyes, aun cuando se conserva el sentido de las mismas.-En los pozos artesianos se puede comprobar muy fácilmente: la descarga será tanto menor cuanto mas se eleve el orificio de salida, y si se eleva demasiado se llega a un nivel, el punto hidrostático o línea de carga, a partir del cual no saldrá agua.

Como final del capítulo, viene la explicación del mecanismo de las curiosas fuentes intermitentes.-No hay que confundir con éstas las que por agotamientos de sus depósitos llegan a secarse en algunas épocas para reaparecer poco después de las grandes lluvias, como ocurre con frecuencia en las de terreno gra-

nítico o en las de cuencas receptoras muy limitadas.-Fuentes intermitentes serán aquellas que presenten períodos constantes y alternativos de correr y secarse, generalmente de poca duración e independientes, como regla general, del régimen de las aguas subterráneas.

Pueden considerarse también como fuentes intermitentes los geisers, con los que surgen de tiempo en tiempo grandes columnas de agua hirviendo acompañadas de vapores y gases.-Se explica muy bien su mecanismo suponiendo que las aguas salen empujadas por su propio vapor acumulado en conductos más o menos tortuosos; cuando dichos vapores alcanzan tensión suficiente, empujan la columna líquida superpuesta y la obligan a lanzarse violentamente al exterior.

En las fuentes intermitentes frías el mecanismo suele ser distinto y se explica por la teoría de los sifones.-Sea una cavidad interior como nos la muestra la figura # 12, que por medio de un conducto en forma de sifón vaya a comunicar con el exterior por el punto F.-Si el aflujo de las aguas hace subir su nivel en la cavidad hasta una altura igual a la del punto más alto del sifón, el líquido saldrá por F hasta agotar el depósito, no volviendo a salir hasta que de nuevo en el depósito se alcance un nivel igual al del sifón.-Bastaría con que el agua que afluya sea menos que la que puede salir por el sifón para que en ese caso se establezca una fuente intermitente .-



Hay otras fuentes que no dejan nunca de manar, pero que con intervalos fijos y regulares dan alternativamente cantidades de agua diferentes; se les llama fuentes intercalares y su explicación se ve claramente en la figura # 13.-La fuente F está alimentada de una manera constante por una red de fisuras y en comunicación con un depósito interior D mediante un conducto en sifón C, cuando éste alcance la altura de la línea de puntos de la figura, el caudal suministrado por la red en grietas, se sumará al descargue del depósito; una vez vaciado éste totalmente, volverá la descarga primitiva.



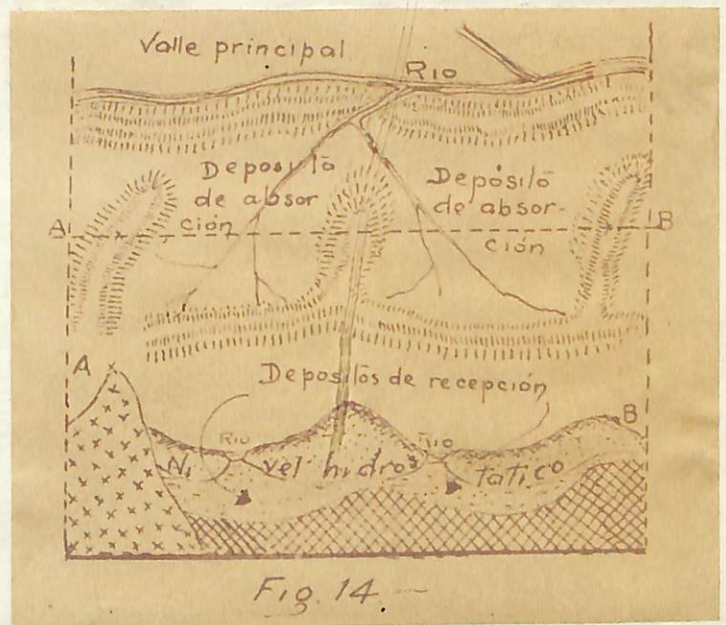
DEPOSITOS SUBTERRANEOS.

Estudios general de ellos.

La cuenca hidrográfica de una región es más o menos, con las debidas modificaciones que impongan la permeabilidad e impermeabilidad de los terrenos, lo que constituye la llamada cuenca de absorción o de alimentación. Las aguas caídas y absorbidas por los terrenos permeables de dicha cuenca, así como también las aguas que encuentran pasaje por las fracturas del terreno y por las zonas de contacto, como también las que se infiltren provenientes de algún río o quebrada que pueda existir en dicha cuenca, van ha reposar y permanecer en reserva en lo que llamaremos cuenca de absorción.

Por la figura #14 nos explica^{mos} como está constituido el terreno para dichas cuencas .

Una cuenca de absorción es casi siempre un valle encerrado por montañas más o menos altas; la reunión de varias cuencas constituye un valle hidrográfico .



Cuando se quiera estudiar de una manera completa, bien sea el valle hidrográfico o una parte de él, con el fin de conocer los recursos de agua de la región, se necesita:

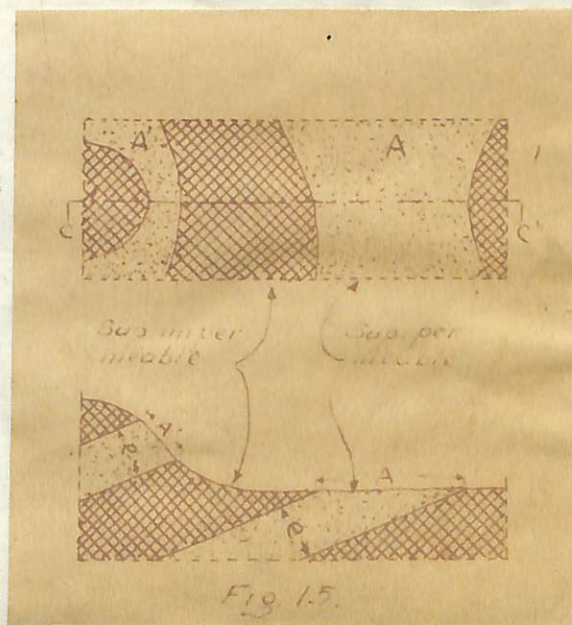
1o.- Determinar la superficie absorbente y permeable de la cuenca de absorción, con el perímetro del sinclinal que limitan las líneas del comienzo de la pendiente en las faldas dirigidas de arriba abajo o sean líneas de división de las aguas.

20.- Calcular aproximadamente las cantidades de agua que llegan por infiltración a la cuenca de recepción. Esto se puede hacer averiguando primero por medio de pluviómetros bien distribuidos en la cuenca, la cantidad de agua que cae, y luego la permeabilidad del o de los terrenos que forman la cuenca, tomando muestras y averiguando la cantidad de agua que infiltran en un tiempo dado.

No hay para que observar que se hacen necesarios mapas topográficos y geológicos de la cuenca y que comprendan con claridad la región que se desea estudiar. Caso de faltar los mapas geológicos se puede hacer un estudio estatigráfico regular.

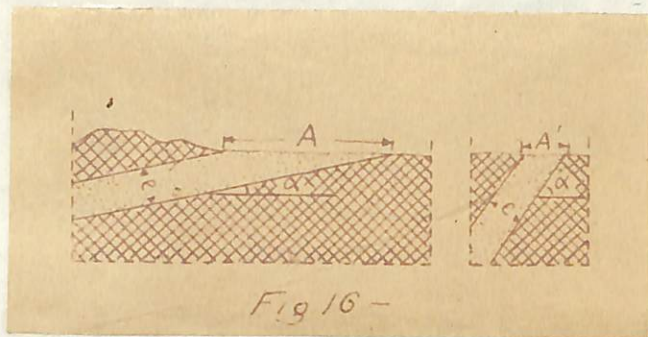
Por lo general, debido a los escombros y desperdicios que recubren muchos terrenos se hace defícil el reconocimiento de ellos, debiendo en este caso aprovechar el estudio que nos permita hacer todos los accidentes del terreno para estudiar las rocas subyacentes y sus condiciones.

Atención sobretodo debe prestarse a los afloramientos permeables, ya que son los únicos lugares por donde las aguas lluvias pueden infiltrarse; puede darse perfectamente el caso que debido a que se verifica en una pendiente o con una inclinación dada. Así la figura número 15 nos muestra en plano y corte dos afloramientos que vienen de un estrato que tiene el mismo espesor, pero que el uno se sucede en una falda con una anchura A' y el otro con la misma inclinación se sucede en



una parte plana y con una anchura A mucho mayor que la del otro.

La figura #16 nos muestra el caso de dos estratos con un mismo espesor y con diferente inclinación, ambos afloran en una parte



plana, obteniendo ^{el uno} una ventaja muy grande en su ancho debido a lo bastante que tiende a ser horizontal mientras que el otro con su acercamiento a la vertical ofrece poca anchura.

Si en el caso de la figura # 16 conocemos el ancho A de su afloramiento y el ángulo de inclinación del estrato, por medio de la fórmula de Manclaren podemos calcular el espesor real del estrato:

$$e = A \frac{\alpha}{60} \quad \text{En donde:}$$

e = espesor real del estrato

A = ancho del afloramiento

α = ángulo de inclinación del estrato .

Tomando como ejemplo $A = 480$ mts. y $\alpha = 18^\circ$ tenemos $e = 480 \times 18/60 = 144$ mts.

Para todas aquellas inclinaciones menores de 45° , esta fórmula resulta suficientemente exacta.

Para la determinación del ángulo y además, de la dirección del estrato, se usa la brújula de geología .

Hecho los estudios anteriores en una cuenca de absorción, viene ahora calcular el agua que por absorción va a la cuenca respectiva . Anteriormente se ha dicho que hay que tener en cuenta la capacidad absorbente de los terrenos . Pero para

no traer fórmulas podemos aplicar el porcentaje dado en el primer capítulo, y que es de 25% para la absorción; de tal manera que conocida la cantidad de agua que ha caído en una cuenca, si tomamos el 25% tendremos un resultado regularmente exacto con respecto a la cantidad de agua absorbida por el terreno que va a la cuenca de recepción.

Ya podemos contar con la reserva almacenada en una cuenca de recepción, nos queda algo muy importante por determinar y es la descarga que puedan tener las fuentes o pozos de una cuenca.

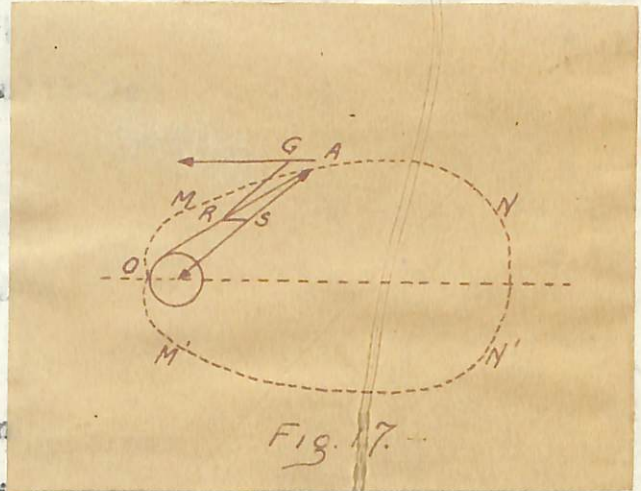
Podremos notar que cuando se excava una cavidad profunda bien sea una galería de captación o de mina, un tunel, en fin, cualquier profundidad grande en un terreno permeable, casi siempre afluye agua, afluencia que es debida a una especie de atracción o succión de las aguas vecinas de la zona húmeda ejercida por el vacío resultante. Si se trata de un pozo, se formará alrededor de éste como un embudo de aspiración y si se trata de galerías, el aflujo de agua se hace a lo largo de la galería. Pero todos estos efectos son transitorios, ya que después de un tiempo, la corriente de agua que al principio es muy abundante, entra en un curso regular que en adelante no varía sino bajo la influencia de infiltraciones más o menos variables de las aguas superficiales, es decir, se produce el equilibrio.

Cuando la galería se ejecuta en un terreno impermeable, pero que ha sufrido movimientos tectónicos y presenta agrietamientos, fallas, etc. que atraviesan la galería, los efectos de drenaje que se manifiestan son los mismos; al cabo de algún tiempo la corriente se regulariza pudiéndose disponer de ella para el fin que se persigue.

Existen dos fuerzas que actúan sobre los hilos de agua que propenden de todas partes al rededor de un pozo de sección circular y paredes permeables que atraviesa una capa acuífera; dichas fuerzas son: 1^a. la que resulta de la gravedad y las arrastra en el movimiento general de la zona situada encima de su nivel de drenaje, y 2^a. que consiste en el fenómeno anteriormente explicado o sea aquella fuerza que los atrae por succión hacia el centro de los pozos.

Una partícula A que se encuentra hacia arriba del pozo, se encontraría solicitada por ~~las~~ dos fuerzas antes mencionadas y que están representadas en la

Fig.# 17 por A G y A S, cuya resultante A R puede atravesar el pozo, serle tangente o pasar por fuera; caso en que la molécula pase atravesando el pozo, forma junto con las otras que estén en las mismas condiciones un depósi-



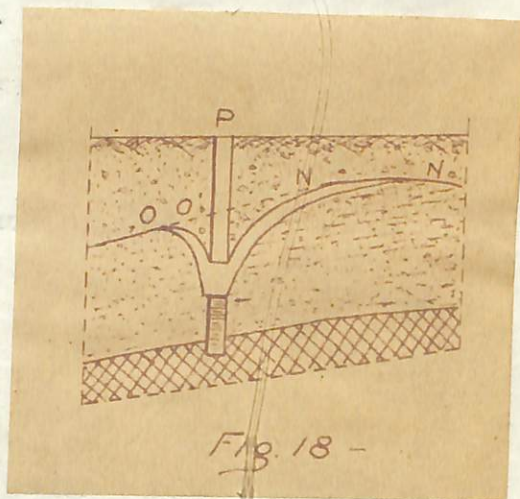
to que se puede considerar captado; en los otros casos sigue con la corriente de agua que digamos no cae dentro del radio de atracción del pozo.

El lugar geométrico de las moléculas, de las cuales la resultante de las fuerzas así definidas son tangentes a la sección circular del pozo, es una curva O M N N M, estrechada hacia abajo y con un punto de retroceso en O, allí donde las dos fuerzas activas son opuestas y cortan el eje del pozo.- El plano de ésta curva es sensiblemente paralelo a la dirección general del nivel de drenaje y todas las moléculas líquidas que le correspon-

den son atraídas al interior del pozo normalmente al eje.-El conjunto de las curvas sobre toda la altura filtrante del pozo da lugar a una superficie de revolución limitada al nivel del agua.

Cuando se extrae agua del pozo, se rompe el equilibrio general del pozo y la pérdida tiende a ser compensada por un aporte más considerable; si este aporte es suficiente, el nivel permanece estacionario en el pozo.- Si se saca más del agua que entra, el nivel baja y la capa acuífera urgida constantemente en su entrega se profundiza más; la curva extrema $O'N'$ del embudo se alarga hasta $O''N''$, aumentando la alimentación Fig.# 18.

Si las pérdidas ocasionadas por una extracción continua no pueden ser compensadas con el nuevo aporte, el equilibrio no se restablece y el pozo se angosta hasta tanto que un período de reposo permita rellenarse.



La determinación exacta de la superficie de depresión representaría por consiguiente un gran interés si no resultara de cálculos también variables, sin hablar además de otras circunstancias como la pendiente más o menos acentuada del nivel de drenaje, el aporte de las aguas vecinas a la depresión y que ella misma hace por succión a su alrededor.

Dicha determinación ha sido intentada por muchos célebres ingenieros de varios países, quienes partiendo de igual base teórica suponen que la superficie de depresión es simétrica con relación al eje de los pozos y que tanto el nivel de dre-

naje como el límite superior son horizontales.- Por otra parte admiten que la descarga hidráulica por segundos es constante para todas las secciones circulares del embudo.

Admitiendo que los elementos de una capa acuífera no están animados sino de una velocidad pequeña, se establece la siguiente relación:

$$R_i = av$$

Con la aplicación de las leyes de escurrimiento en paredes delgadas y de la fórmula de Pronel

$$R_i = av + bv^2 \quad \text{en donde:}$$

R = relación de la sección al perímetro húmedo.

v = velocidad de escurrimiento sobre una pendiente i.

La descarga por segundo para una sección

S, es: $q = Sdv = Sdi \frac{R}{a}$

haciendo $R/a = K$ tenemos:

$$q = S K d i \quad \text{en donde:}$$

d = relación del volumen ^{descargado} por la sección S, al volumen descargado por la sección total de la zona acuífera.

M. Dupuit partiendo de ésta fórmula da para la descarga por segundo en un pozo de sección circular:

$$Q = 2\pi K e l y \frac{dy}{dl} \quad \text{en donde:}$$

K = coeficiente que depende de la permeabilidad del terreno y que es igual a $v \cdot \text{seno } \alpha$

α = ángulo que la tangente hace con la horizontal en un punto O de la curva.

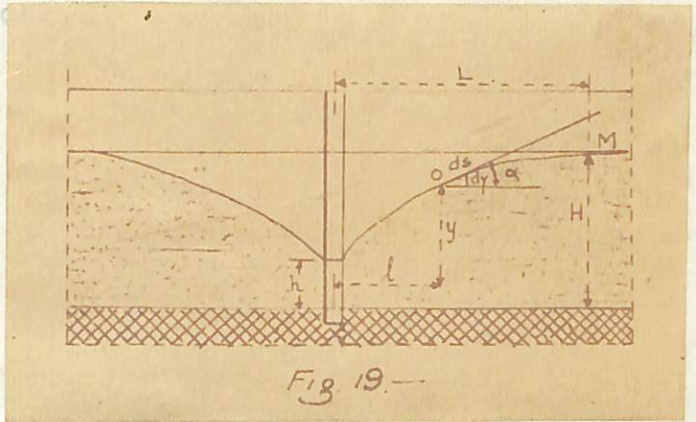
v = velocidad de infiltración.

e = relación de los espacios vacíos a la sección total permeable

l y y = abcisas del punto O.

$dy/dl = \text{seno } \alpha$, coeficiente de la pendiente.

A la formula de Dupuit propuso M. Brouhon una modificación consistente en substituir ^{al} el coeficiente de pendiente dy/dl el coeficiente de carga dy/ds sobre un elemento ds de la curva de depresión, en un punto O (Fig. 19) asimilado a un orificio de escurrimiento en pared delgada;



La formula vendría a ser :

$$Q = 2 \pi K e l y \frac{dy}{ds}$$

y en la cual $\frac{dy}{ds} = \operatorname{tg} \alpha$

y la velocidad de filtración $V = k \frac{dy}{ds}$.

La ecuación diferencial de la capa de depresión se obtiene al mismo tiempo de ésta formula:

$$2 \pi k e l y \frac{dy}{ds} = \text{constante.}$$

Si tenemos:

r = radio del pozo;

H = altura maxima de la capa acuífera que corresponde a una depresión de radio L ;

α = inclinación de la curva de depresión.- La descarga maxima del pozo será:

$$Q_{\max} = 2 \pi K e r H L \operatorname{sen} \alpha$$

Tomando como base estos cálculos, M. Brouhon estableció la siguiente formula que permite calcular la descarga de un pozo ordinario, en función de la altura máxima de agua h :

$$Q = 0.43429 \pi K e \frac{L}{S} \frac{H^2 - h^2}{\log s/r}$$

Conociendo a L, H y h se puede trazar por puntos la curva S .- Se ha podido comprobar que la descarga máxima

es proporcional al radio del pozo, de donde se ve que es mucho más ventajoso darle un diámetro lo más grande posible a los pozos; la distancia de la capa límite de la zona acuífera al fondo del pozo es también proporcional a H , y como el límite anterior es susceptible de subir o bajar según las infiltraciones de las aguas superficiales, hay que concluir que estas infiltraciones regulan la descarga de los pozos.

Copio a continuación las conclusiones sacadas por M. Pochet en su Hidrología de las aguas subterráneas, para el caso de un pozo establecido sobre una capa acuífera.

1^a.- La descarga de un pozo ordinario es proporcional a la descarga de la fuente a la cual él pertenece, a la relación de su depresión a la altura total de la capa acuífera en éste punto, llamamiento o atracción en la sección transversal y a un coeficiente A que representa la influencia de su posición.

2^a.- El coeficiente A varía de 1 a 2 cuando el pozo pasa del punto de profundidad máxima de la capa acuífera al punto de emergencia de la fuente.- Disminuye bastante a medida que el pozo se acerca a su cuna y tanto más cuanto más fuerte sea la pendiente de drenaje y de la capa acuífera.

3^a.- En resumen: los pozos ordinarios establecidos a lo largo de una capa acuífera descargan tanto más cuanto más abajo estén colocados y la diferencia es tanto más considerable cuanto que la pendiente de drenaje sea más acentuada.

En resumen: aun cuando las formulas precedentes carecen de bases seguras y prácticas, ellas pueden sin embargo ser utilizadas cuando se deba establecer un anteproyecto de capta-

ción de aguas subterráneas.

Para pozos ordinarios de pequeña descarga, lo más corriente es usar el método experimental.

Se puede constatar casi enseguida la cantidad de agua que durante un tiempo dado entra a un pozo.

Si q es el volumen de agua infiltrada en t segundos, la expresión $v = q/t$ dará una idea aproximada de la velocidad de infiltración en los pozos.

H I D R O S C O P I A .

La investigación de las aguas ocultas o sea la hidros-copia, tiene en la Geología, la Meteorología, la Hidrostática y la Hidrodinámica sus fundamentos y por lo tanto debe ser rigurosamente científica; pero hasta el día de hoy no lo es por completo, ésta rama de los conocimientos humanos no pasa de ser un arte, ya que no ha sido posible establecer un conjunto de leyes rigurosas y precisas que lo gobiernen.

El precursor de lo que todavía puede considerarse como un arte fué el abate ^FParamelle.- Este abate publicó por el año de 1.856 un libro muy interesante titulado "El arte de descubrir las fuentes".- Antiguamente eran tan sólo algunos signos exteriores los que guiaban a los llamados fontaneros o buscadores de agua y que más tarde han venido a llamarse zahoríes.

Como se viene viendo, hasta hoy día no ha habido un autor que en asuntos de Hidrología subterránea haya encontrado conclusiones absolutas, si bien es cierto que en determinados casos ha sido posible, por lo tanto lo que en el presente capítulo podemos dar como reglas y pueden ser comprendidas con lo anterior - mente dicho, no debe tomarse en absoluto.- Son sumamente variables las circunstancias en la naturaleza y por ello se debe tratar, cada caso independientemente en lo tocante a su resolución.- Para contar con verdaderos fundamentos que nos permitan dictaminar en cualquier caso, debe tenerse en cuenta primero que todo, un examen de las condiciones topográficas y geológicas de la región, conocer la característica pluviométrica de la región, así como también la situación, condiciones y número de los manantiales que existan;

la hidrografía superficial, etc.- Ya con todos estos datos reunidos sólo resta su correcta interpretación para poder deducir de ellas las consecuencias lógicas.

El encuentro de una capa impermeable es el punto final de las aguas, que, atravesando los diversos materiales que encuentran a su paso, marchan hacia el interior de la tierra.- De tal manera que podemos ^S considerar que el problema en la hidroscopia se reduce siempre, en último término a calcular la profundidad a que dicha capa se encuentre.- Conocida ésta, se relaciona con las condiciones topográficas y la característica pluviométrica, teniendo así todos los datos necesarios que nos permitan ^d determinar con grandes probabilidades de éxito, sobre la existencia y condiciones de las aguas subterráneas.

Los indicios de humedad que se presentan en algunos terrenos sirvieron anteriormente y aun hoy día existen quienes consideren esto como una guía segura para el encuentro de agua subterránea.- Bien puede comprenderse que estos indicios son de ese caso valor y llegan a ser completamente malos si se manifiestan en grandes extensiones, ya que son entonces signos de impermeabilidad del terreno.- Dado que se presenten casos aislados en espacios de poca extensión no hay razón para considerarlos como elementos suficientes que permitan aconsejar obras de alumbramiento en donde se obtengan resultados que no compensen los gastos.- Estos indicios a duras penas asegurarán éxito para pequeños pozos ordinarios, ya que el agua que se obtenga será muy escasa.

De todo lo anteriormente dicho respecto al régimen de las aguas subterráneas, se pueden deducir ciertos principios generales de alguna importancia.

En primer lugar, se ha visto que la corteza terrestre está formada por capas alternantes de capas más o menos permeables; y como la existencia de una de estas capas no puede menos de establecer un nivel de agua, se deduce claramente que: "en cualquier punto del suelo se podrán encontrar aguas con tal de profundizar lo suficiente". Se puede agragar que, en general, los veneros procedentes de aguas profundas son mas caudalosos y mas constantes que los que se originan en niveles poco lajamos de la superficie. Mas debe tenerse en cuenta que esta mayor riqueza no compensa los gastos excesivos que demanda una excavación a gran profundidad, pasada la cual es económicamente inconveniente el aprovechamiento del agua subterránea.

Toda aquella persona que se dedique a la búsqueda de aguas subterráneas, no debe perder de vista un principio de gran importancia y que consiste en la correspondencia más ó menos completa entre la red hidrográfica externa y la interna, consecuencia precisa del hecho de que los diferentes estratos suelen seguir en el interior los accidentes que presenta la superficie. De aqui que en todo valle exista además de la corriente externa visible, otra interna y oculta que marcha en el mismo sentido que aquella, y aun puede presentarse el caso que es más frecuente, de que faltando la corriente superficial exista la interior siempre, de tal manera que puede afirmarse como un principio que en todo valle, desfiladero, estrecho o repliegue del terreno exista una corriente oculta, acompañada o no de otra externa.

También por la anteriormente dicho debemos saber y tener siempre presente que las aguas pueden presentar dos modos muy diferentes de distribución en el interior de la tierra.

Habrán verdaderas capas de agua en los terrenos muy permeables y

porosos, en el sentido de que existe un nivel superior y una masa líquida más ó menos uniforme. No habrá capas o mantos acuíferos sino corrientes más ó menos defundidas y ramificadas en aquellos materiales que no son propiamente permeables pero que debido a la presencia de litoclasas, combinados a veces con los planos de estratificación, son prácticamente permeables. Tratándose del primer caso es más ó menos fácil encontrar el agua por medio de una labor investigadora exenta de complicaciones, mientras que en el segundo caso puede verificarse una perforación a pocos metros de un verdadero río subterráneo sin conseguir la menor cantidad de agua. Sin lugar a duda cuando se trata de buscar aguas subterráneas, éste segundo caso es el verdaderamente difícil, pero también se obtiene grandes veneros cuando se acierta.

Existen algunas circunstancias, las que hay que examinar determinadamente, tales como el aspecto físico de un terreno, su edad geológica y la naturaleza de los materiales constitutivos, los cuales pueden proporcionar los más preciosos datos para resolver el problema de la busca de aguas subterráneas.

Si los terrenos son impermeables, sus formas generales son redondeadas, las pendientes suaves, los valles y barrancos muchos en número y poco profundos. En estos terrenos las aguas lluvias corren por la superficie en múltiples cauces y cuando encuentran lugares bajos y cerrados se estacionan en lagunas, pantanos y charcos que duran mucho si la evaporación no es demasiado activa.

Por el contrario, los terrenos permeables son

de formas mas ásperas con grandes exten⁵siones planas y crestas agudas alineadas, con barrancos profundos y poco numerosos, de laderas muy violentas en formas escalonadas. Las corrientes de aguas son en ellos escasas en número, pero muy caudalosas ; Las lluvias los atraviesan rápidamente sin que haya formación de charcos. Las calizas casi siempre pertenecen a este grupo de terrenos, en los que entran así mismo las areniscas, conglomerados, arenas y en general los formados por materiales sueltos .

Esta clasificación de los terrenos tiene gran importancia desde el punto de vista hidroscópico, porque permite establecer dos principios fundamentales: 1o.- En los terrenos impermeables las aguas subterráneas se encontrarán a gran profundidad; 2o.- En los suelos permeables el subsuelo presenta venenos numerosos, abundantes y a escasa profundidad .

En cuanto a la edad de los terrenos, en general puede afirmarse que la probabilidad de encontrar aguas a pequeña profundidad será tanto mayor cuanto más recientes, pero cumpliéndose la ley general ya enunciada de que en este caso el caudal será poco importante. Así se puede decir que las formaciones diluviales cuaternarias y los aluviones modernos son propios para pozos comunes, norias y los llamados pozos abisinios, pero rara vez para grandes alumbramientos por galerías o socavones extensos, salvo el caso de ocupar grandes extensiones superficiales y presentar espesores considerables.

Los terrenos terciarios suelen ser poco abundantes en aguas. Sin embargo, cuando conservan las calizas de su coronamiento, presentan por debajo de éstas, al contacto con las arcí-

llas infrayacentes, un nivel de agua abundante y buena, susceptible de ser explotado por medio de alumbramientos importantes. Si las calizas superiores no existen, las aguas son malas y escasa, casi siempre cargada de sales minerales.

Los terrenos mas apropiados en general para los grandes alumbramientos son los mesozoicos o secundarios, especialmente los jurásicos y cretáceos, presentandose el agua, en estos terrenos, en corrientes caudalosas subterráneas. Esto hace que su busca sea en cambio mas difícil, sobre todo porque la irregularidad de los cauces hace que no haya posibilidad de establecer reglas fijas para su captación.

En cuanto a los terrenos paleozoicos y arcaicos, sus aguas proceden casi siempre de grandes profundidades y por caminos pocos conocidos, que es muy difícil prever en la generalidad de los casos. Son por eso los terrenos en que con mas frecuencia surgen los manantiales calientes y las aguas mineralizadas.

Todas estas relaciones entre la edad y las condiciones hidrológicas del terreno son muy vagas y sujetas a modificaciones más ó menos importantes según la localidad. Mayor influencia ejerce, cualquiera que sea la edad del terreno, su naturaleza, determinando la permeabilidad o impermeabilidad del terreno.

No solo importa la naturaleza del terreno, sino tambien su estructura, es decir: la estatigrafía, la dirección e inclinación de sus capas, el punto del horizonte hacia donde buzan, los plieques y accidentes diversos que puedan presentar, datos que sólo el geólogo sabe apreciar debidamente y que son

indispensables para deducir con algún acierto el régimen de las aguas subterráneas. Este conjunto de propiedades a la que se llama tectónica del terreno, determinan independientemente de la composición, una especial permeabilidad o impermeabilidad en grande, casi siempre de más importancia que la debida a su naturaleza y por las cuales pueden inferirse los puntos en que más probablemente se acumularán las aguas.

Cuando en todo el contorno de una meseta o montaña se ve aparecer un estrato impermeable inclinado, será inútil buscar alumbramientos en su parte alta; el punto mas apropiado para éste objeto será el más bajo

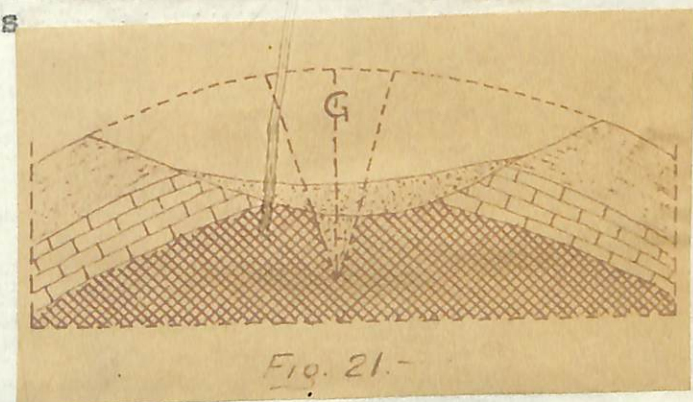
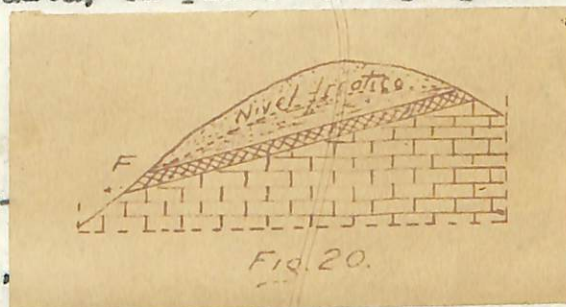
F de todos los apuntamientos (fig. #20). Si el mencionado estrato estuviera plegado una o varias veces,

formando anticlinales y sinclinales sucesivos, los puntos preferibles serían los vértices de los sinclinales y tanto mejor cuanto más bajos.

También el método para el alumbramiento variará de uno a otro caso,

pues si bien en este segundo caso basta casi siempre con un socavón, en el primero serán además necesarias galerías convenientemente dirigidas.

Los valles, tanto los internos como los exteriores, están casi siempre abiertos en las aristas de los pliegues, que por razón natural han de ofrecer menos resistencia a la erosión o desgaste por la corriente y a la apertura del cáuce por lo tanto. Las corrientes de agua deberán buscarse, por consiguien-



te, en éstas aristas o talwegs, sobretodo en los que corresponden a los sinclinales. Sin embargo, no debe olvidarse que muy frecuentemente se presentan roturas, de los estratos en dichos puntos, lo cual puede originar la pérdida de los caudales subterráneos, como indica la fig. 21 en la página 61: en el talweg del valle sinclinal se encuentra una fractura G, por donde las aguas se pierden rápidamente. Cuando en un valle se pierde una corriente superficial sin accidente alguno que aparentemente lo determine, es casi seguro que debajo los terrenos sueltos superficiales existen en la roca viva litoclasas importantes.

Los casos en que puede hacerse palpable la influencia de la estructura en la distribución del agua son numerosísimos, a continuación se estudiarán los principales, siendo realmente imposible separar en absoluto las consideraciones estratégicas y topográficas,. Si se puede establecer como regla general, que las probabilidades para encontrar aguas abundantes y someras serán tanto más numerosas cuanto menos trastornada este la estratificación y más próximos a la horizontal los estratos; tan es así que algunos geólogos afirman que no deben intentarse alumbramientos en terrenos cuyas capas alcancen una inclinación de 45° . con el horizonte .

Después de las reglas generales dependientes de los diversos datos que han de tenerse en cuenta, para la resolución de un problema, hay que considerar éste en relación con las condiciones topográficas, que en cierto modo vienen a resumir las demás, puesto que son, en consecuencia, sus resultante.

Claro que la cuestión no se reduce tan sólo a encon-

trar agua; en éste caso sería bien sencilla, puesto que como ya se ha dicho antes, perforando un pozo en el terreno, hay todas las probabilidades de dar con ella, con tal de que se profundice lo suficiente. La cuestión primordial consiste en encontrar un agua pura, en la cantidad necesaria y en condiciones económicas convenientes.

Generalmente, en la práctica los casos que suelen presentarse se reducen a tres: investigación de agua en una meseta, en una vertiente y en un valle. En todos ellos se habrá de tener en cuenta previamente las reglas generales que se deducen de las circunstancias de aspecto, edad, naturaleza, estructura, etc., ya consideradas.

Caso de una meseta- Aún cuando éste nombre solo conviene a llanuras de extensión considerable, bastante elevadas sobre el nivel del mar, aquí se tratará de toda elevación del terreno, cualesquiera que sean sus dimensiones. Es imposible marcar un límite preciso entre mesetas y cúspides de montañas, habiendo todos los tránsitos posibles desde el vértice agudo de un volcán homogéneo y la superficie extensa y accidentada de una verdadera meseta.

En el primer caso, cuando se trate de un monte terminado en vértice o cúpula es inútil, si está aislado buscar aguas en su cumbre, puesto que falta superficie de filtración que pueda originar yacimientos subterráneos. Los manantiales de las montañas se encuentran siempre en los callados hacia los cuales se inclinan los estratos, al pie de grandes acantilados, etc., es decir, siempre dominados por masas del terreno que puedan constituir capa filtrante.

Puede, sin embargo, encontrarse agua en la misma cumbre de una montaña, aún cuando sea muy aguda, cuando ésta se halle dominada por otras no lejanas y de la misma naturaleza. Es necesario y condición indispensable, que los estratos vayan de uno a otro monte sin fallas intermedias, ni interrupción de ninguna clase, en cuyo caso las aguas contenidas entre sus capas se hallarán en las mismas condiciones que las de un sifón invertido de ramas desiguales, que entrando por el extremo mas elevado, deben salir por la rama corta.

Si la montaña o colina forma meseta, el caso es ya distinto y podrán encontrarse yacimientos por encima del nivel de la vertiente, tanto mas ricos cuanto mayores sean las superficies y las capacidades filtrante y absorbente. -Entonces puede ocurrir, si la meseta no es de gran extensión, que se presente tan nivelada que sea difícil determinar en ella los puntos bajos apropiados para el alumbramiento. -En tal caso será útil observar los sitios en que cuando llueve se hacen charcos más permanentes y sobre todo los en que concurren las corrientes superficiales para unidas lanzarse hacia la vertiente; estos sitios son los que presentan más probabilidades de éxito en la investigación de aguas subterráneas. -El único alumbramiento que en estos casos suele ser económicamente factible, es el de los pozos ordinarios.

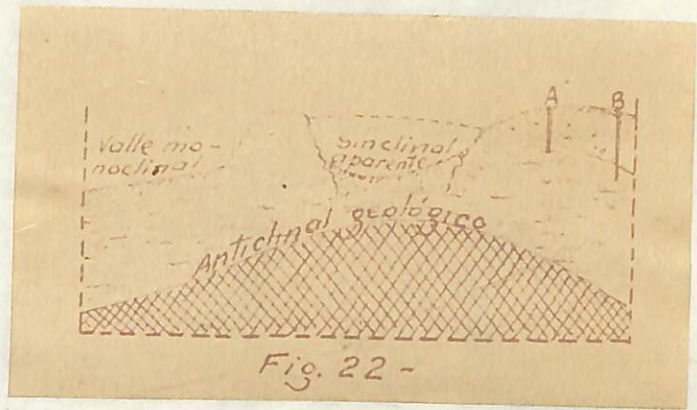
Cuando la meseta tenga extensión un tanto considerable, siempre presentará accidentes que puedan guiarnos en las investigaciones. -Por lo pronto, podrá ocurrir que la estratificación sea monoclinial y los estratos pocos separados de la horizontalidad, que con la misma estratificación las capas estén fuertemente inclinadas o que la superficie se asiente sobre uno

o varios pliegues del terreno.

La estratificación monoclinal muy inclinada es la más desfavorable para el encuentro de aguas. Estas, caso de encontrarse, serán escasas, profundas y habrá que buscarlas hacia el punto donde se dirigen los estratos, que es el lugar más bajo de la línea de máxima pendiente. El pozo que se construya tendrá que llevar galerías transversales que se elevan suavemente de modo que interrumpan lo más pronto posible el plano inclinado que forma la superficie del estrato. Además, como éstos no serán nunca absolutamente iguales en cuanto a permeabilidad, la perforación del pozo deberá suspenderse al llegar a uno de los más impermeables, y las galerías se abrirán en el contacto del mismo con el inmediatamente superpuesto a él.

Si el terreno presenta un plegamiento importante, las condiciones serán muy distintas según que se trate de un anticlinal o de un sinclinal. El primer caso determinará dos fuertes vertientes hacia los bordes de la meseta. Las aguas lluvias que cargan sobre ésta meseta se escurrirán según dos direcciones opuestas de uno y otro lado de la línea de división. Si ésta línea divide a la meseta en dos partes más o menos iguales, las aguas circularán por mitad a cada lado; en éste caso el agua en los pozos será más abundante mientras más alejados se encuentren estos de la línea divisoria, encontrándose que la profundidad también será mayor cuando se alejaren. La figura # 22 de la página 66 muestra el caso en los puntos A y B

Un sinclinal determinará un aflujo grande de aguas hacia el centro de la meseta, en cuyo punto habrá probabilidad de encontrar aguas abundantes, aun cuando



casí seguro profundidad. No hará falta advertir que si los pliegues fueran varios en cada uno se repetirán las condiciones expresadas, tanto mas acentuadas cuanto mayor sea la amplitud del accidente geológico.

La mayor importancia corresponde a las mesetas formadas por estratos ^{vinc} inclinados poco trastornados. En ellas los accidentes topográficos debidos a hundimientos locales o a la erosión de las aguas exteriores, son siempre relativamente poco considerables. Bastan, no obstante, para determinar vertientes más ó menos acentuadas y una línea divisoria de aguas, de cuyas circunstancias dependen las condiciones hidrológicas. Hay, pues, que proceder siempre, lo primero, a la determinación de esta divisoria y las vertientes.

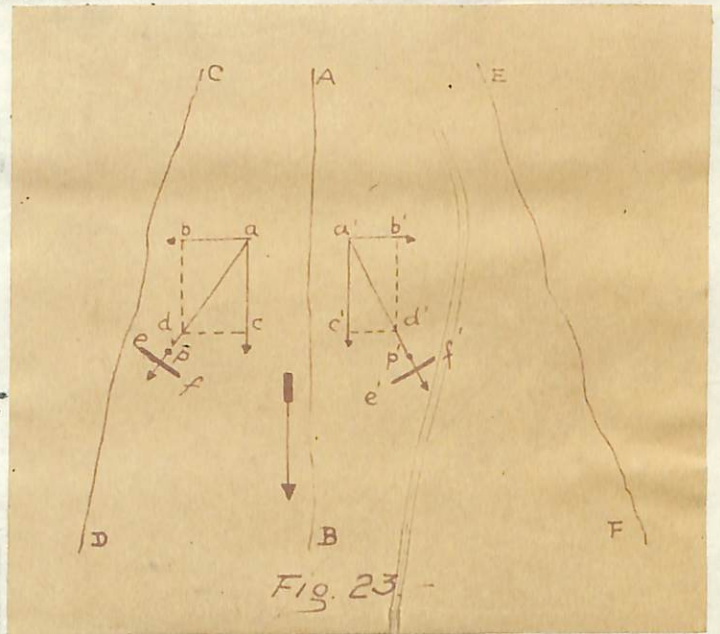
Cuando la divisoria este próxima a los bordes de la meseta, existirá una vertiente corta y rápida mientras la otra será más extensa y suave. En la primera no habrá que pensar en buscar las aguas, que corren todas por el plano de la segunda tanto mas someras y escasas cuanto mas próximas a la divisoria, tanto mas abundantes y profundas cuanto mas lejanas.

En todos los casos anteriores se ha supuesto que la línea divisoria es horizontal y que por consiguiente la línea

de máxima pendiente de los planos le era normal. Pero no ocurre así en la generalidad de los casos, sino que suele combinarse una vertiente de la divisoria y por consiguiente general de la meseta, con la peculiar de cada plano; además, la relación entre ambas inclinaciones puede variar al infinito.

Veamos las condiciones en que las aguas se hallan en éste caso y las que por consecuencia debe llenar el alumbramiento.

Sea una meseta (figura # 23) drenada por dos valles CD y EF, cuya divisoria AB tiene una pendiente general en el sentido que indica la flecha. Si las líneas ab y ac, ab' y a'c' representan las direcciones en



las cuales son solicitadas las aguas lluvias o también sea la relación entre las dos pendientes, las aguas profundas seguirán una dirección y sentido marcados por las líneas ad y a'd'. Si se quiere interceptar su marcha, será preciso construir presas subterráneas en las direcciones ef y e'f', colocando los pozos en los puntos p y p'.

Respecto a las condiciones de los casos que se han venido considerando uno a uno, la naturaleza no las presenta aisladas, sino casi siempre reunidas y estorbándose unas a otras, lo que suele dar lugar a un problema complejo que se puede solucionar convenientemente teniendo en cuenta lo anteriormente

dicho al respecto.

Paramelle decía que una meseta cubierta por detritus de 2 a 8 metros de espesor, apoyados sobre una capa impermeable ligeramente inclinada, puede originar, por cada 5 hectáreas superficiales, en época de sequía ordinaria, un manantial de 4 litros por minuto.

Caso de una vertiente. Es el más sencillo, ya que la vegetación, las filtraciones o los manantiales espontáneos, permanentes o accidentales, nos indican los puntos adecuados en donde se ha de buscar el agua; la que es también más abundante casi siempre que en las mesetas, ya que en las vertientes, además, del agua meteórica que cae directamente sobre ellas, llega por escurrimiento la que cae sobre la colinas y puntos elevados vecinos.

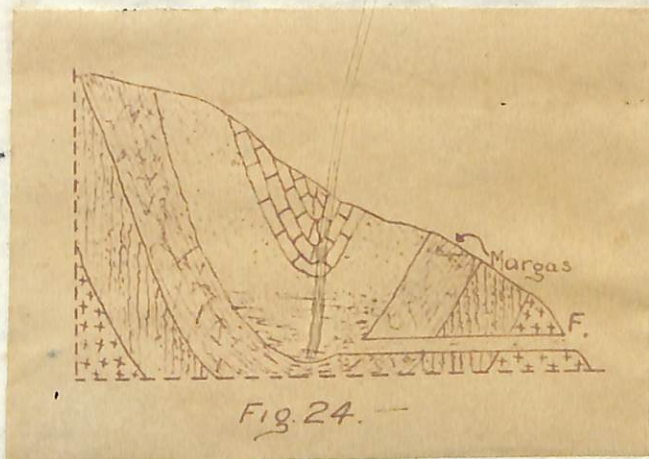
Lo expuesto anteriormente sobre las mesetas indica desde luego que las pendientes rápidas serán menos acuíferas que las suaves, no sólo porque el agua permanecerá menos tiempo sobre el punto en ^{que} cae, sino porque su proyección es menor, siendo por consiguiente menor la cantidad de lluvia recibida. Como además estas vertientes corresponden siempre a la parte más elevada de los estratos, mucha parte del agua filtrada marcha por entre los mismos a desembocar en la vertiente opuesta. Pudiendo ocurrir que el agua que se necesita en un punto de la vertiente fuerte hay que buscarla en la opuesta, trayéndola al punto debido por medio de canales, túneles o tuberías.

Tiene mucha importancia también en el régimen de las vertientes la influencia de la estratigrafía. En todo lo que

vá dicho se ha supuesto que el plano de la ladera corta a una serie estratigráfica monoclinal; pudiendo también ocurrir, que las capas esten plegadas, bien cortando, las aristas de los pliegues al plano inclinado de la vertiente o bien conservándose paralelas al mismo.

Cuando sea lo primero lo que ocurre, naturalmente que los vértices de los sinclinales serán los puntos más favorables, que por otra parte rara vez dejarán de manifestarse por líneas de filtraciones o de fuentes. Para el alumbramiento bastará en éste caso la apertura de socavones cuyo suelo esté apoyado en la capa menos permeable.

Si los pliegues son paralelos a las laderas como indica la figura # 24, no dejará de aparecer una capa M menos permeable que las otras, la cual establecerá a todo lo largo de la pendiente un depósito acuífero aprovechable. Sólo que éste no se alumbrará por socavones como



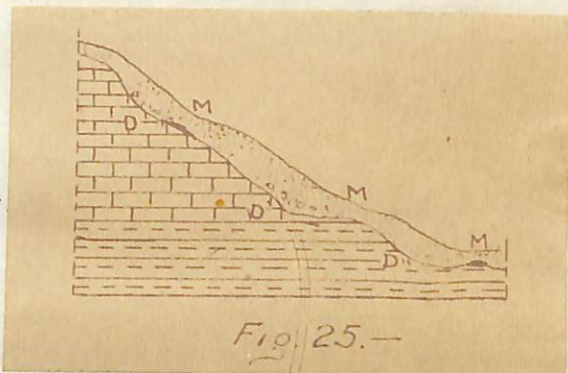
en el caso anterior, sino buscándole desde puntos más bajos F por medio de una galería ligeramente inclinada.

Las vertientes de cierta extensión raramente se presentarán lisas, sino por el contrario con barrancos o depresiones que complican su perfil. - Estas desigualdades son siempre indicios de cauces subterráneos, que por ser verdaderos valles, aunque secundarios, estarán en un caso que mas adelante se tratará.

Si como sucede con la mayor frecuencia, los accidentes superficiales están ocultos por una capa detrítica más o

menos gruesa que los protege de la vista, la perspicacia del hidrólogo debe dirigirse a deducir la verdadera forma y naturaleza de ésta pendiente, muy distintas de su aparente uniformidad.- Si la observación y los informes de los naturales de la región no bastan para éste objeto, se impone el hacer varias exploraciones, cosa que no suele ser difícil dado el escaso espesor y la débil coherencia a éstos depósitos.

La Fig. # 25 representa una vertiente de éste género en que los puntos M se denotarán por la presencia de manantiales en las épocas muy lluviosas.- Mientras los depósitos D y D' serán fácilmente alumbrados mediante galerías, el punto D'' será más apropiado para el establecimiento de un pozo.- El caudal suministrado por D, casi exclusivamente superficial, será mucho menor que el de D', en cuya depresión se reúnen las aguas interceptadas por el contacto de los materiales impermeables con los permeables.



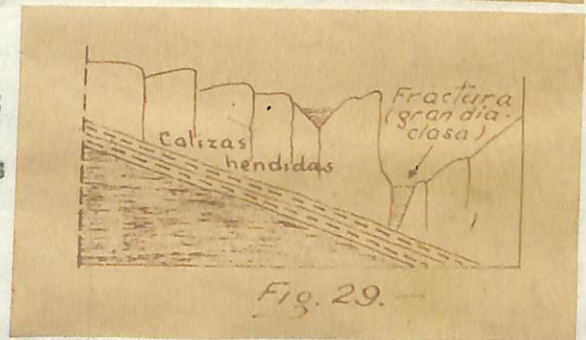
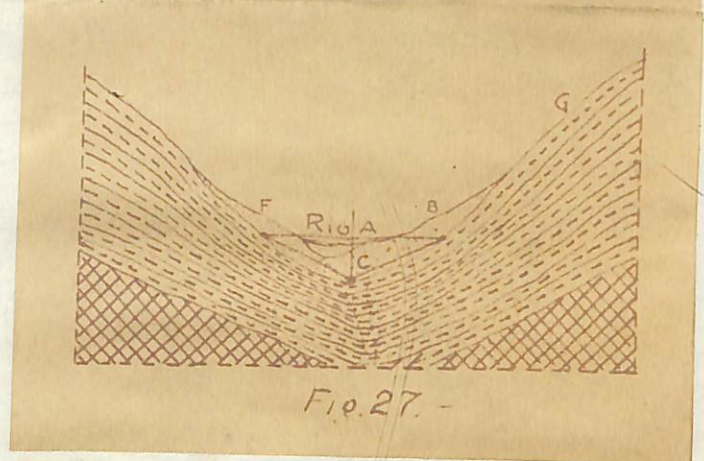
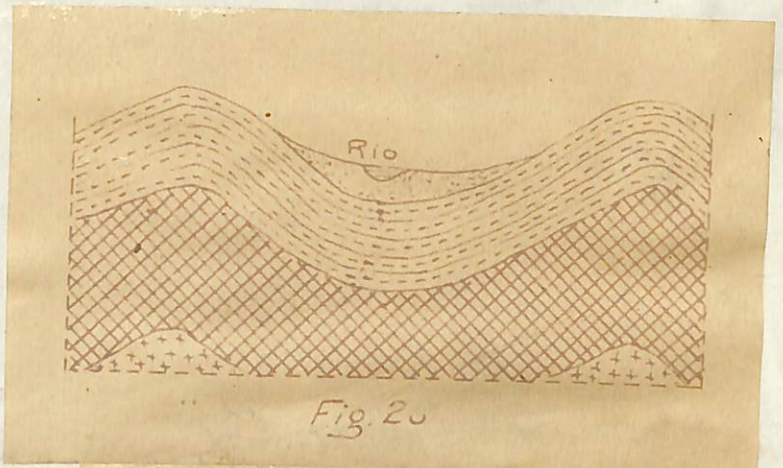
CASO DE UN VALLE.- Un valle es una depresión mayor o menor del suelo, dependiente originalmente de la estructura del mismo y concluida casi siempre de modelar por las aguas superficiales.- En consecuencia puede asegurarse que el talweg del valle representa una línea de menor resistencia, bien una falla, un pliegue monoclinial, un sinclinal o anticlinal, o simplemente la zona de contacto de dos terrenos de diversa consistencia.- Además de las influencias de la extensión y del régimen pluviométrico, las condiciones hidrológicas de un valle dependerán de

su estructura geológica.-
Las Figs.## 26,27 y28 re-
presentan respectivamente
valles anticlinal, sincli-
nal y monoclinal y la Fgu.
29 nos da idea de la in-
^x
fulencia que las paraclisas

pueden ejercer en la apertura
de una de éstas depresiones.

Los valles son natu-
ralmente el lugar de concentra-
ción de las aguas y los gran-
des conductos de drenaje de las
mesetas y montañas, pudiendo de-
decirse que es en ellos donde
deben buscarse los grandes ya-
cimientos de agua, pero sin ol-
vidar que a su vez son los lu-
gares donde más se acumulan ma-
teriales detríticos muy permea-
bles, los que será necesario perforar;
de aquí que el llegar a éstos niveles
acuíferos importantes exige siempre
perforaciones profundas.- Además, cu-
anto más abajo se busque el agua, mayor será el espesor de los de-
tritrus acumulados, así como también será más considerable el cau-
dal, por la mayor extensión de la superficie drenada.

Si el valle es anticlinal conforme nos muestra la fi-



gura # 26-la depresión no recibirá sino las aguas que caigan en sus mismas laderas debido a que la inclinación de los estratos no permite la llegada de las que caigan fuera; aún de las que caigan dentro, marcharán algunas a otras cuencas superficiales o subterráneas por entre las capas.- No habrá grandes corrientes interiores sino tan sólo el caudal recogido por el mismo valle, que correrá por debajo de los detritus de su fondo, en el sentido general del mismo.

Cuando se trate de valles establecidos a lo largo de una línea de fractura, todavía será peor el caso, pues entóces lo probable es que pierdan sus aguas a través de la misma.- En estos valles no existirán corrientes ni en el exterior ni en el interior a menos que tengan una extensión desmesurada.

Los valles monoclinales son los que con menos frecuencia presentan éstas fracturas ocultas.- Suelen tener una vertiente más desarrollada que la otra, y los estratos al llegar al pliege, suelen estrecharse, dando lugar a que afloren muchos de ellos en la vertiente extensa; tal como se representa en la figura # 28.

Todas estas condiciones son apropiadas para la abundante acumulación de aguas, que habrá que ir a buscar, no solo al contacto de los materiales sueltos, sino también y seguramente con más éxito, en el nivel de alguna capa impermeable.- Puede ocurrir, sin embargo, que los estratos no se modifiquen por el plegamiento y pasen de uno a otro lado del valle sin dar salida a las aguas o sea que se presenta un caso análogo al de una meseta.

Esencialmente acuíferos, así como también los más fre-

cuentas, son los valles sindlinales:- Una inspección^a de la figura # 27, la cual ilustra un valle sinclinal, bastará para explicar la acumulación de las aguas en el fondo del talweg.

Es muy fácil averiguar la situación de ésta corriente oculta cuando el valle es simétrico, puesto que estará equidistante de ambas vertientes.- En cuanto a su profundidad se obtendría calculando el lado AC del triangulo ABC, en el cual conocemos el cateto AB y el ángulo agudo ABC = 180° - ABG.- La formula será:

$$\underline{AC} = \underline{AB} \text{ tg. } \underline{ABC}.$$

Pero cuando el valle sea disimétrico como el de la figura # 30, la corriente subterránea no está en la proyección del punto medio A.

Consideremos lo triángulos EDF y EDB en los cuales tenemos:

$$\underline{FD} = \underline{DE} \text{ cotg. } \underline{DFE}$$

$$\underline{BD} = \underline{DE} \text{ cotg. } \underline{DBE} \quad \text{de donde:}$$

$$\underline{FD/BD} = \underline{\text{cotg. } \underline{DFE} / \text{cotg. } \underline{DBE}}.$$

proporción que nos permite determinar el punto D.- Ahora, cualquiera de los dos triángulos nos permitiría determinar DE; por ejemplo, el triángulo DEB, mediante la fórmula:

$$\underline{DE} = \underline{DB} \text{ tg. } \underline{DBE}$$

Aquí se ha supuesto en éste ejemplo que el fondo del valle subterráneo es perfectamente regular e impermeable, lo que simplifica bastante el problema, pero ésto no suele ocurrir.- En el caso de que la roca en que se abre la depresión fuera de las que dan paso a las aguas, dicho se está que las perforaciones, de cualquier clase que sean, habrán de continuarse hasta el encuentro del estrato impermeable.

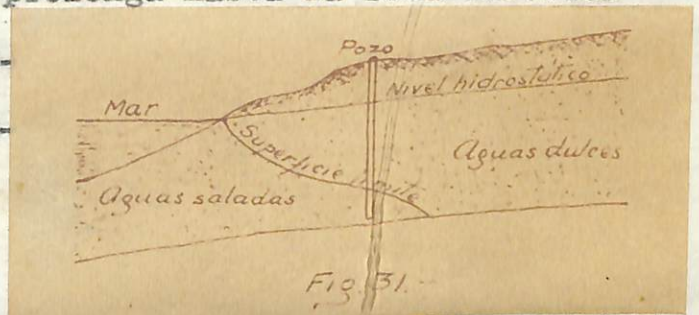
Muchas veces el depósito de materiales detríticos oculta las irregularidades que presente el fondo del valle; y caso de que éstas existan, no habrá, aunque sea impermeable, una verdadera corriente (cárriente) continua, sino una serie de cavidades escalonadas, de forma que el agua que rebose de cada una se vierta en la siguiente.- Entonces dos pozos próximos, pero uno de ellos con su emplazamiento sobre algún depósito y el otro lo tiene encima de la zona de separación, darán caudales muy distintos: el primero conservará alguna agua aún en las épocas de grandes sequías, mientras el otro se secará frecuentemente.

Pueden los valles ser originados por un solo barranco, por varios de éstos o una depresión circular en forma de circo.- En el primer caso en el punto en que la vertiente rápida del torrente se une al valle, es el primero donde podrán alumbrarse aguas en cierta abundancia y no a gran profundidad.- Cuando los barrancos que forman la cabecera del valle son varios, el emplazamiento apropiado estará en el eje del más importante, donde los demás convergen con él.- Por último, en el caso de un circo, el sitio a elegir será el centro del mismo, en el origen del valle.- Todas estas depresiones constituyen la cuenca de recepción del valle, que es preciso no confundir con la de alimentación.- Esta comprende toda la superficie cuyas aguas meteóricas van a engrosar las corrientes subterráneas del valle.

Muchas de las consideraciones anteriores pueden aplicarse igualmente a las costas; al efecto, se puede considerar una costa marítima como un valle monoclinico hacia el cual convergen las aguas de la costa, que es su única vertiente.

Más hay que tener en cuenta que el agua salada tiende a infiltrarse en la costa permeable y por consiguiente a oponerse al escurrimiento de las aguas freáticas hacia el mar, las que se encuentran solicitadas por la resultante de dos fuerzas opuestas; y según que la una o la otra de éstas fuerzas la lleve, habrá flujo de agua dulce en el mar o penetración por difusión de las aguas saladas en la zona freática hasta una cierta distancia de la costa.

El efecto de la difusión está limitado por una superficie que divide la capa acuífera en dos partes; la una inferior que contiene aguas saladas o salobres y la otra superior donde las aguas permanecen dulces.-En éstas condiciones los pozos que se perforen por encima de la superficie separadora serán de agua dulce, pero si se prolonga hasta la zona inferior darán aguas salobres.-Lo anteriormente expuesto queda ilustrado por medio de la figura # 31.



En general tenemos que aguas en mayor abundancia habrá que buscarlas en lugares más bajos y más alejados de la cabecera.-En éste caso, si no se quiere profundizar demasiado, pueden servir como indicio seguro las inflexiones de la corriente superficial cuando coinciden con la desembocadura de un barranco o de un valle secundario.-Es un hecho comprobado que la influencia de una corriente subterránea con la principal del valle, produce en la superficie una inflexión, como si ésta fuese al encuentro del afluente oculto.-Una perforación por fuera y junto a la parte más convexa de la inflexión, cortará con seguridad la

corriente subterránea. De ésta regla se valió el abate Parramelle para señalar en un mapa la situación de numerosos manantiales en una región completamente desconocida para él.-

Al parecer, se ha llegado a conclusiones precisas en cada uno de los casos considerados, pero cuando en la práctica se trata de darles aplicación, las dificultades salen numerosas al paso del hidrólogo. Hay que advertir que en la naturaleza no abundan las mesetas, valles y vertientes tan concretamente definidos como se han considerado aquí; hay ondulaciones y desigualdades que más ó menos se asemejan a estos accidentes, pero que tienen de todo un poco. Sobre ésto, el dato estratigráfico, tan decisivo para el régimen hidrológico subterráneo, es muchas veces difícil y algunas veces imposible apreciar. Tampoco suelen ser muchos los datos que entre nosotros se poseen acerca del régimen pluviométrico de comarcas limitadas.

Hay que terminar recordando que en asuntos de hidrología subterránea la ciencia no puede dar, la mayor parte de las veces, más que probabilidades de acierto.

ALUMBRAMIENTOS.

El sistema de alumbramiento de las aguas subterráneas es muy diverso según la manera como estén dispuestas en el terreno, según la naturaleza del mismo, la cantidad que se necesita alumbrar, el empleo que ha de darse al agua, etc. Dada las anteriores circunstancias, es imposible imponer principios generales, siendo distinta la solución adecuada para cada caso particular; pudiendo decir que hay necesidad de inventar el sistema de alumbramiento más adecuado.

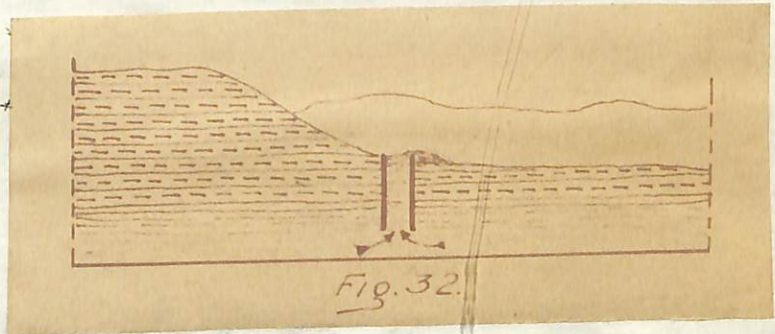
Para citar algunos de los diversos sistemas existentes, comenzaremos por el ingenioso de las fontanelas.

Este sencillo sistema es de gran uso en algunas regiones del norte de Italia, donde la cuenca de algunos rios se desarrolla en una amplia llanura de aluviones cuaternarios y recientes formada por arenas y gravas con lechos de arcilla interpuestos. En la zona permeable comprendida entre cada dos estratos arcillosos existe un nivel acuifero bastante rico, que en su parte superior no suele distar mas de 2 a 3 metros de la superficie.

Este método de alumbramiento se funda en la fuerte pendiente del manto de agua y en su proximidad a la superficie, siendo muy económico. Los habitantes de la región mencionada obtienen por medio de éste sistema suficiente cantidad de agua para el riego de sus cultivos, disponiendo el terreno en forma adecuada.- La Fig.# 32

muestra una fontanela.-

En el punto escogido se introduce un tubo de un metro de diámetro por unos tres metros más o menos de largo, ligeramente cónico.- Una



vez alcanzada la capa acuifera, el líquido se eleva por el tubo y mediante una escotadura abierta en el borde superior se desagua a un canal de conducción.

Para utilización de las aguas freáticas, hay un procedimiento actualmente muy generalizado y es el de los tubulares, americanos o de Norton, más conocidos hoy con los nombres de instantáneos por su rapidez en la construcción y por el de abisinios por haberlos vulgarizado el ejército inglés en su campaña de Abisinia, donde les fueron de gran utilidad por ser éste país

sumamente cálido y escaso en aguas superficiales.

La construcción de estos pozos consiste en clavar en el terreno un tubo fuerte de hierro cerrado por su extremidad inferior, pero que lleva en la pared de la misma una multitud de agujeros casi capilares, que dejan paso al agua y no a la tierra y materias sólidas que pudieran obstruirlas.- Cuando éste tubo alcance las capas acuíferas, el líquido penetrará en él y generalmente se elevará más o menos dentro del mismo; puede muy bien rebasar la parte superior y aún surgir con cierta fuerza, en cuyo caso se convertirá en un pequeño pozo artésiano.

Para construirlos se empieza por clavar un primer tubo de metro y medio, que en su tercio inferior lleva los agujeritos mencionados y que termina en una punta de acero un poco más ancha que el cuerpo del tubo, con lo cual se facilita su introducción en el terreno.- Cuando ya está clavado el primer tubo, se le atornilla otro por la parte superior y así se van agregando nuevos segmentos a medida que los primeros van entrando en tierra, hasta dar con el agua.- La presencia de esta sino se eleva por el tubo, se acusa dejando caer una esponja atada a un hilo, la que saldrá mojada si hubiere agua.- La longitud total que pueden alcanzar estos tubos, cuando el agua es ascendente, no está limitada más que por su resistencia y la del terreno; sin embargo, no suele pasar de 12 a 15 metros, alcanzando algunas veces 50 y 60.

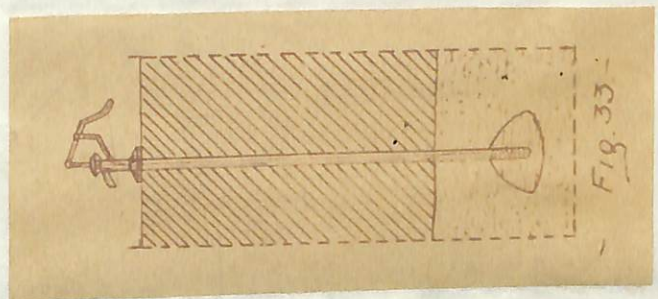
Los antiguos pozos Norton solo tenían pulgada ó pulgada y media de diámetro, mientras que ahora llega a tres y cuatro pulgadas.

Cuando el agua no asciende hasta el borde del tubo, se acopla en la parte superior del tubo una bomba aspirante que facilita la extracción.- En este caso la profundidad de tubo está limitada por la altura a que en éstos aparatos puede elevarse el agua o sean de 8 a 9 metros.

Por lo anteriormente expuesto se comprenden las grandes ventajas de este sistema, que es muy cómodo y económico para el alumbramiento de aguas freáticas poco profundas.- En Norte América, donde se ha generalizado grandemente, existen poblaciones importantes abastecidas de agua por este procedimiento.

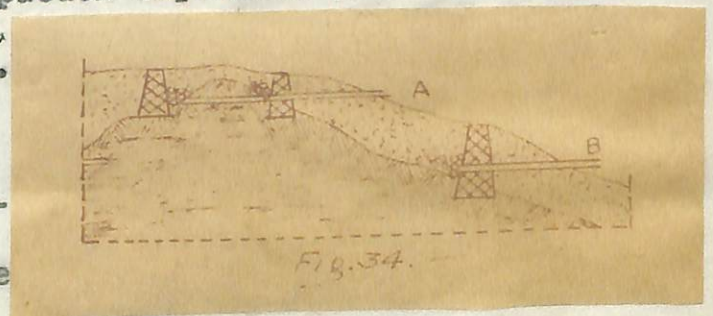
El pozo se establece en el punto que se quiera y si no tiene éxito o se tropieza con rocas duras, se levanta siendo muy fácil trasladarse a otro sitio.- La operación es rápida y sencilla, no siendo preciso para ello contar con personal especialmente preparado.

La cantidad de agua obtenida no suele ser muy grande para cada pozo, pero pueden instalarse muchos unos cerca a otros, sin más límites que la riqueza del nivel acuífero del terreno.- La figura # 33 nos muestra un pozo Norton.



Cuando se trata del aprovechamiento de las aguas de una ladera o vertiente, varios son los procedimientos que pueden emplearse y que se explicarán ligeramente a continuación.

La figura # 34 nos explica un procedimiento consistente en presas subterráneas, las que



se constituirán por medio de trincheras que lleguen hasta la capa impermeable.- Dicha construcción de trinchera se hará a diversos niveles, prefiriendo los sitios algo abarrancados.

Emplázanse estas trincheras perpendiculares a la dirección general de la pendiente dándoles la forma de ángulo muy obtuso con el vértice en el punto más bajo.- Dentro de la trinchera se construirá una pared impermeable que por estar sostenida por el mismo terreno podrá ser de poco espesor y que constituirá una verdadera presa que acumule las aguas del terreno superior a ella.- Para sacar las aguas solo bastará instalar un tubo ligeramente inclinado que partiendo del vértice del ángulo y atravesando la pared por su parte inferior, llegue hasta la superficie del terreno.- Conviene acumular cantos grandes en la parte superior de la presa para que entre ellos se almacene el agua y no se obstruyan los conductos por donde ha de salir, con tierras, etc.

Con respecto a la cimentación de estas presas, puede decirse que están sometidos a las mismas reglas de cimentación que los muros de contención.

Para el aprovechamiento de las aguas subterráneas de los valles, los procedimientos son los mismos anteriormente explicados.- Siempre habrá de tenerse muy en cuenta para escoger los puntos de alumbramiento y para decidir por que medio se ha de hacer este, todo lo que sobre el particular se ha dicho atrás, sobre todo en el capítulo HIDROSCOPIA.

Si el valle es estrecho y de talweg interior uniforme, el procedimiento indicado es el de las presas subterráneas,

teniendo en cuenta las desventajas que puedan resultar.- Las presas deben escalonarse a lo largo del valle, porque si bien interrumpido este por una sola presa, la corriente central no pasará a puntos mas bajos, se perderán las aguas de los afluentes. La distancia de unas a otras presas dependerá de la inclinación del talweg y del menor o mayor número de estos vallecitos secundarios.

Cuando el fondo del talweg subterráneo es desigual el mejor sistema de alumbramiento suelen ser los pozos como ya se indicó.- Hay que tener entonces cuidado de protegerlos contra las avenidas, que pudieran deteriorarlos y aun cegarlos por completo, para lo cual, mejor quem diques, por resistente que parezcan, son mejores zanjas abiertas por encima, que den salida al arroyo por los lados, dejando el pozo como en la confluencia de dos corrientes.- La perforación no debe detenerse al encuentro de las primeras aguas, porque tratándose de corrientes de gran espesor casi siempre, es seguro que por debajo del nivel alcanzado se deslizarían las aguas en gran cantidad; debe pues, llegarse siempre hasta el talweg subterráneo.

En los grandes valles, el procedimiento de alumbrar aguas que más frecuente aplicación tiene, es así mismo el de los pozos ordinarios, que se emplazan bien sobre una depresión del talweg subterráneo o bien en la confluencia con un valle secundario. En todos los casos son convenientes las galerías laterales que corten el sentido de las corrientes. También son un medio económico y eficaz para aumentar el caudal, las trincheras

superficiales. Estas se trazarán oblicuas a la dirección de la pendiente, de modo que converjan hacia el pozo; siendo mas cómodo, mas económico y mas eficaz que dejarlas abiertas, rellenarlas hasta un par de pies con piedras y ramajes resinosos, recubriendo luego con los materiales extraídos.

A G U A S A R T E S I A N A S.

---ooOoo---

La totalidad de todo lo que he escrito se ha relacionado con las llamadas aguas freáticas, aguas poco profundas y fáciles de captar, que si bien en la generalidad de los casos es limpia y potable, es muy susceptible en muchos casos de contaminaciones y a su vez poco potables, siendo por lo tanto no aceptable para los usos ordinarios.

Existen otras aguas que se denominan con el título de éste capítulo y que ofrecen un estudio interesante para su captación, especialmente en aquellas regiones donde la formación geológica es campo propicio para el encuentro de aguas artesianas.-Estas aguas que tienen el mismo origen que las freáticas ó sea que provienen de las aguas fluviales; experimentan para llegar a sus profundidades comunes, una larga y lenta filtración que las purifica y las libra de contaminaciones.

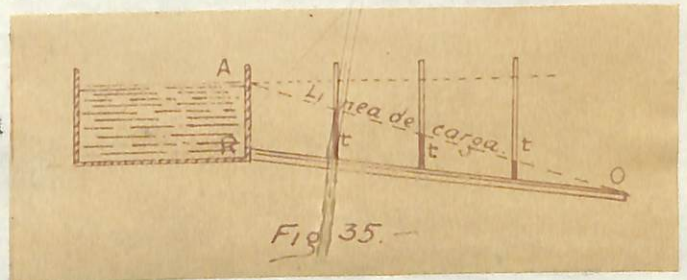
Además de la garantía que ofrecen con relación a su pureza, ofrecen también la ventaja de elevarse, cuando están bien localizadas, el agua a un nivel superior al del terreno; aparte de la constancia del caudal de la corriente que los alimenta.- Esta última afirmación la corrobora el pozo más antiguo existente en Artois, Francia y el que habiendo sido construido en 1126 aún suministra agua abundante.

La tendencia a brotar peculiar de las aguas artesianas es de fácil explicación, ya que la teoría de los vasos comunicantes es su ejemplo característico.-Al efecto: si tenemos una capa acuífera profunda y que llena el espacio existente entre dos estratos impermeables, teniendo el mas bajo bordes levantados, se

ejerce cierta presión sobre el agua, la que no puede escapar sino desbordándose por el borde menos elevado.-Ahora bien, si perforamos desde la superficie el estrato superior, el agua tenderá a subir por dicha perforación hasta una altura dependiente de la presión a la cual se encuentra sometida el agua en la capa.-Esta presión puede depender del elevamiento de los bordes, y según que éstos sean mas o menos elevados, el agua pueda mas o menos elevarse y brotar por encima de la superficie de conformidad con la ley de las presiones hidrostáticas.

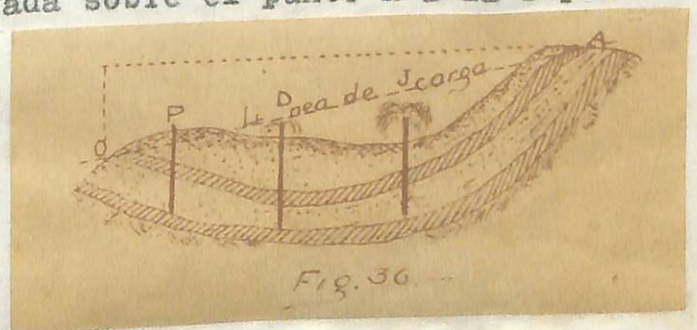
Puede ser lo mas corriente el que en la capa acuífera se presenten interrupciones debidas a fallas, fisuras, etc. o un afloramiento sobre una vertiente y entonces en estas partes el agua afluirá en forma de saltos o fuentes.

Para una explicación clara, tomemos el siguiente ejemplo basado en la figura # 35.-Supongamos o compara-



remos la capa artesiana a la tubería RO y su origen de alimentación a un depósito A, si colocamos los tubos t, t' y t'' sobre la tubería, los niveles piezométricos del agua en esta tubería están situados sobre la línea AO y que es llamada línea de carga, une el orificio de salida O y la extremidad de la línea vertical RA elevada sobre el punto R a la superficie libre del líquido.

Si en la ilustración de la figura # 36 tenemos contruidos los po-



zos P, D, y J sobre la capa artesiana AO, aplicándoles la regla anteriormente escrita, tenemos que en el pozo J el agua brotará elevándose hasta cierta altura; el pozo D dará una agua que apenas alcanzará a derramar sobre los bordes del tubo y en el pozo P el agua ni siquiera llegará hasta el suelo.

M. Daubrée ha llamado superficie piezométrica ó superficie de carga a la línea de carga AO y que está contenida en una superficie más o menos sinuosa.-Según que un pozo encuentre ésta superficie encima o debajo del suelo, el agua en el pozo brotará o no.

El mismo personaje cita los siguientes casos particulares que junto con los hechos observados confirman la tesis anterior:

1o.--En un punto dado el nivel piezométrico es independiente del diámetro de la perforación, siendo más elevado cuando la perforación es entubada.

2o.--El volumen de agua que suministra un pozo artesiano aumenta con el diámetro del pozo, pero no proporcionalmente a su sección.-La relación de las descargas es menor que la de las secciones y tanto menores cuanto mayores sean éstas.

3o.--El volumen aumenta a medida que se toma agua en un punto mas cercano del suelo o a una distancia mayor debajo del nivel piezométrico.

4o.--Dos pozos vecinos se influncian; la suma de sus descargas tiende, a medida que su separación disminuye, a ser igual a la descarga que tendría un pozo único cuya sección fuera igual a la suma de las secciones de los dos pozos.

Ya que son conocidas las características de las aguas freáticas y las de las aguas artesianas, vemos que las diferencias existentes entre una y otra se extienden a los puntos donde deben encontrarse una y otra y a algunos otros detalles que las atañen.

Así vemos que no se justifican los cateos para la instalación de pozos en las mesetas aisladas o en los lomos de las cordilleras, pero que en cambio se pueden buscar en el fondo de los depósitos encerrados por montañas hacia las cuales se elevan los estratos, pues las capas acuíferas que se encierran en ellos y sigan sus inflexiones suministrarán aguas ascendentes por medio de una perforación que las coja en su parte baja.

En un valle deberá buscarse en las depresiones del talweg subterráneo.-Por lo anterior se ve que en éstos puntos, concuerdan con las aguas freáticas y que solamente la profundidad, como caso general, las diferencia.

Donde mayores probabilidades existen de encontrar aguas artesianas es generalmente en los estratos ~~de~~ del cretáceo y mas especialmente si las rocas se encuentran hendidas.-Así mismo, pero con menos frecuencia, también podemos encontrarlas en el jurásico, donde los bancos arenaceos permeables son raros.-Mas bien debido a su constitución geológica y estratigráfica, los terrenos del jurásico dan fuentes que no brotan.

Bajo el punto de vista estratigráfico, geológico e hidrológico, se requieren ciertas condiciones en una

región para que ella sea favorable al encuentro de aguas artesianas; éstas condiciones pueden enunciarse así:

1a.--El terreno debe estar formado por estratos como lo ilustra la figura # 36 de la página 84.

2a.--Los terrenos mas apropiados para buscar aguas artesianas son aquellos que están compuestos de estratos alternativamente permeables é impermeables.

3a.--Para que las aguas artesianas sean captables, es necesario que el depósito de recepción que contiene la capa acuifera no presente solución de continuidad resultante de fallas o grietas; ó de accidentes geológicos cualesquiera, como denudación, dislocación, intrusión de un dique eruptivo, etc..

4a.--Conforme se ha explicado atrás, para que el agua brote es necesario que el nivel piezométrico vaya por encima de la superficie del terreno.

Una superficie grande de afloramiento hace suponer casi siempre un estrato poco inclinado, circunstancia que permite determinar con cierta precisión la profundidad a la cual se encontrará el agua en el punto escogido, el cual de preferencia debería hacerse por lo tanto, sobre grandes afloramientos permeables de arenas, gravas, etc..

Una particularidad que diferencia grandemente las aguas artesianas de las aguas freáticas es la constancia de su descarga que permanece independiente de las variaciones atmosféricas.

ABASTECIMIENTO DE AGUAS EN
SABANALARGA, (ATLANTICO).- ABASTE-
CIMIENTO POR MEDIO DE AGUAS SUB-
TERRANEAS , PARA VARIOS FINES.

Bien conocida es la situación de nuestro trópico con respecto a las estaciones, éstas que solo son para nosotros las de invierno y verano, son además variables; bien que por regla general se espera lluvia o sol para determinadas épocas, gran número de ocasiones tenemos una prolongación de uno de estos dos fenómenos; siendo para nuestro estudio de importancia ambos: el período de lluvia por la alimentación que de agua proporciona a los veneros que durante la época de sequías han de proporcionarnos el líquido indispensable, ya para el abastecimiento de la población; ya para el riego de grandes extensiones de terrenos cultivados y por último para abreviar cantidades grandes de animales que durante la época de sequía sufren y perecen, como acontece en la región central del departamento del Atlántico, región distante del río mas de 20 kilómetros.

La ciudad de Sabanalarga se abastece por medio de un sistema muy primitivo y que si bien hasta nuestros días ha prestado servicio, este no deja de ser deficiente, aparte de los inconvenientes que ofrece el agua estancada.

El sistema es el siguiente: aprovechando una Depresión del terreno y procurando que no tenga un ancho mayor de 20 metros, se construyen muros de tierra hasta de 5 metros de altura y que represan las aguas almacenandolas

A éstas lagunas así formadas procuran dejar un desague llamado oído y que sirve para derramar cuando el agua ha alcanzado una altura deseada.

Como bien se ve, se trata de la acumulación de las aguas lluvias que corren por la superficie; éstas aguas que en su camino atraviesan terrenos de cultivo, bosques y caminos están lejos de ser puras, puesto que no están exentas de contaminaciones durante su recorrido.-Entran en un estado de reposo que las decanta y clarifica, llegando las de algunos pozos, como los denominan, a ser cristalinas.

Se alegrará el que durante mucho tiempo, como realmente ha sucedido, no se hayan presentado epidemias, así como tampoco manifestaciones constantes de aquellas enfermedades endémicas y características de aquellas regiones que se proveen de aguas poco recomendables bajo el punto de vista higiénico.-Pero no se puede excluir el caso de una contaminación del agua que podría traer consecuencias fatales para la población; mayormente si se toma en cuenta el sistema rudimentario como se saca el agua de tales depósitos.

Estos depósitos pueden clasificarse así: depósitos urbanos; que están destinados unos para el consumo de agua en las casas; otros para abrevadero y lavado de animales y finalmente otros que sirven un fin higiénico y deportivo a la vez, ya que sólo están destinados al baño y al ejercicio de la natación.-Al baño para aquellas personas poco pudientes que no pueden darse la comodidad de hacer traer o comprar agua en abundancia para sostener un baño en la casa.

Depósitos rurales: éstos son conocidos ba-

jo el nombre de jagüeyes; no existiendo propietario de finca que no haga construir uno o varios en su propiedad, según la cantidad de ganado de que sea poseedor.

Estos jagüeyes no dejan de ser útiles, aparte de que no necesitan requisitos higiénicos, pero generalmente la mayoría que llega a un 80% se seca durante el verano dando lugar a grandes problemas para los propietarios de ganados.

Ya conocemos los medios de abastecimiento de que se dispone y grotescamente se han esbozado las peripecias que por falta de agua se pasan en el verano en todas las fincas, lo que algunas veces, cuando el verano es demasiado prolongado, se hace extensivo a las fuentes de abastecimiento para la población urbana.

Ahora veamos si la constitución geológica de la región permite la obtención de aguas subterráneas que permitan un abastecimiento adecuado.

Conforme pudimos leer en uno de los primeros capítulos, los terrenos de acarreo o transporte son bastante propicios a la consecución de aguas freáticas.-Las regiones costaneras están formadas por terrenos de acarreo o transporte y ello se debe a la penetración que en épocas pretéritas verificó el mar en el continente.-Luego vino un levantamiento en el interior del continente lo que motivo la retirada de las aguas, retiro que se verificó paulatinamente hasta el punto actual.-Hoy día se observa en algunos puntos, especialmente en las Bocas de Ceniza, un avance de la tierra en el mar y ello se debe a la gran cantidad de arenas y otros materiales en suspensión que las aguas del río llevan en

suspensión y que se depositan y decantar en la desembocadura. Al mismo tiempo se registra un avance del mar en otros puntos.

De tal manera, que en tales regiones encontramos materiales característicos de los terrenos de acarreo tales como arenas, arcillas, cascajos, areniscas y calizas coralinias.-Algún ingeniero costeño concede un alto porcentaje de arcillas en la formación del suelo; él mas que todo se refiere a las regiones muy cercanas al mar y no puedo asegurar que ello sea así.-Si afirmo que en la región de que quiero hablar el mayor porcentaje no se puede adjudicar con seguridad, pero me inclino a concederlo a las arenas y areniscas; mas bien se podría decir que es una ^Ssucesión alternativa de afloramientos que digamos de capas de arcillas y capas de arenas o más bien de capas permeables y capas impermeables.

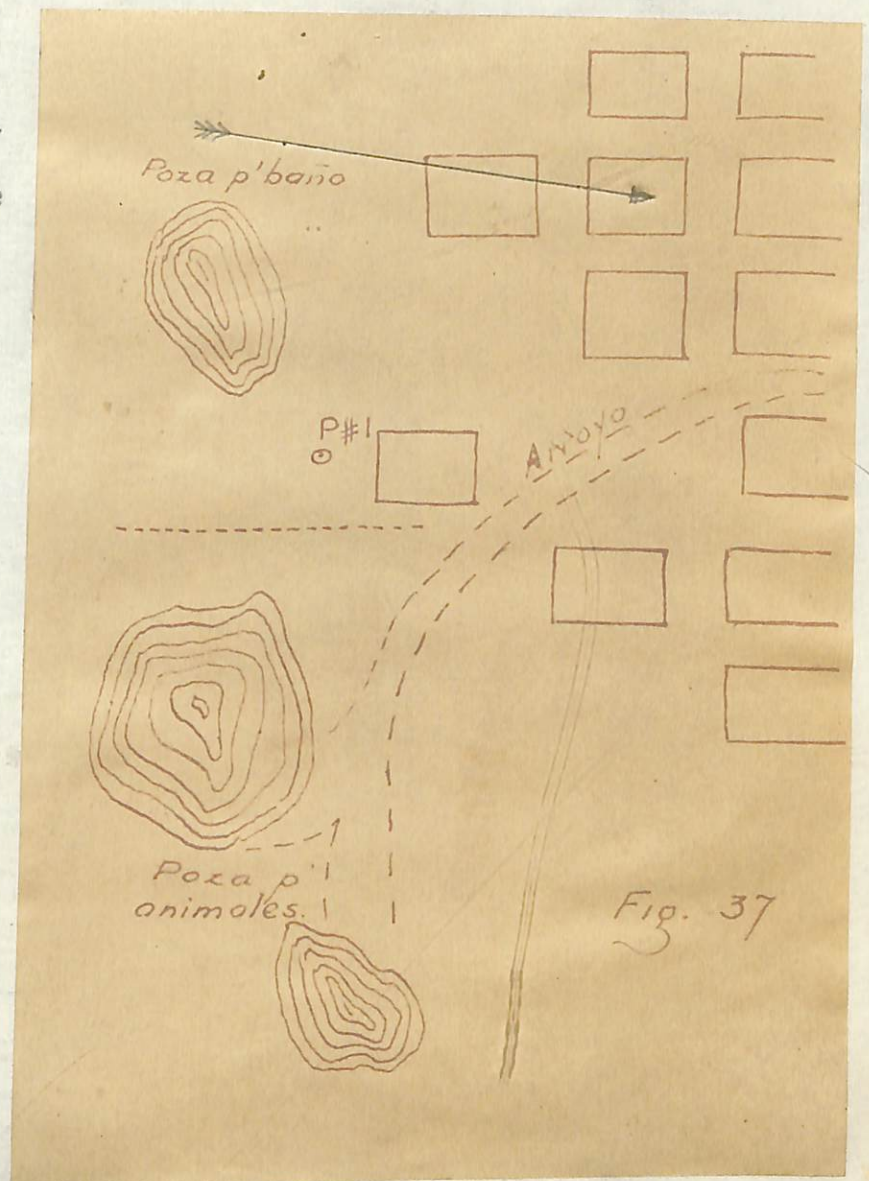
El departamento está atravesado de sur a norte por un anticlinal de unos 85 kilómetros de longitud.- Este sinclinal pasa por Sabanalarga y puede apreciarse claramente.

Volviendo a la posibilidad de las corrientes subterráneas, veamos mas o menos como es la infiltración en el terreno durante las lluvias.-Las lluvias allá son por lo general torrenciales, no dejando de llover débilmente durante cierto tiempo.-Caso de ser torrenciales, vemos inmediatamente la formación de pequeños arroyitos afluentes de grandes arroyos que han formado cauce; tanto en unos como en otros el agua desaparece rápidamente, escurriéndose el terreno inmediatamente después de verificarse la lluvia.-Ahora, en las partes de poca pendiente se nota la alternabilidad de los afloramientos

en la figura # 37.
Por ésta figura
puede deducirse
la formación de u-
na corriente subte-
rránea a causa de
las filtraciones
provenientes de
los depósitos veci-
nos y que ha sido
alanzada por el
pozo.

Hay que hacer
notar que dicho po-
zo se encuentra si-
no sobre, por lo me-
nos muy cerca de
la línea indicada
por la flecha que
hay en el cróquis
y que señala la dirección hacia donde están situados dos
fuentes, quedando el pozo mas o menos equidistante, a unos 300
metros de dichas fuentes.- Estas fuentes son pequeñas venitas
de agua de descarga muy pobre y que nadie se ha preocupado
por saber de donde vienen...- Han brotado espontáneamente.

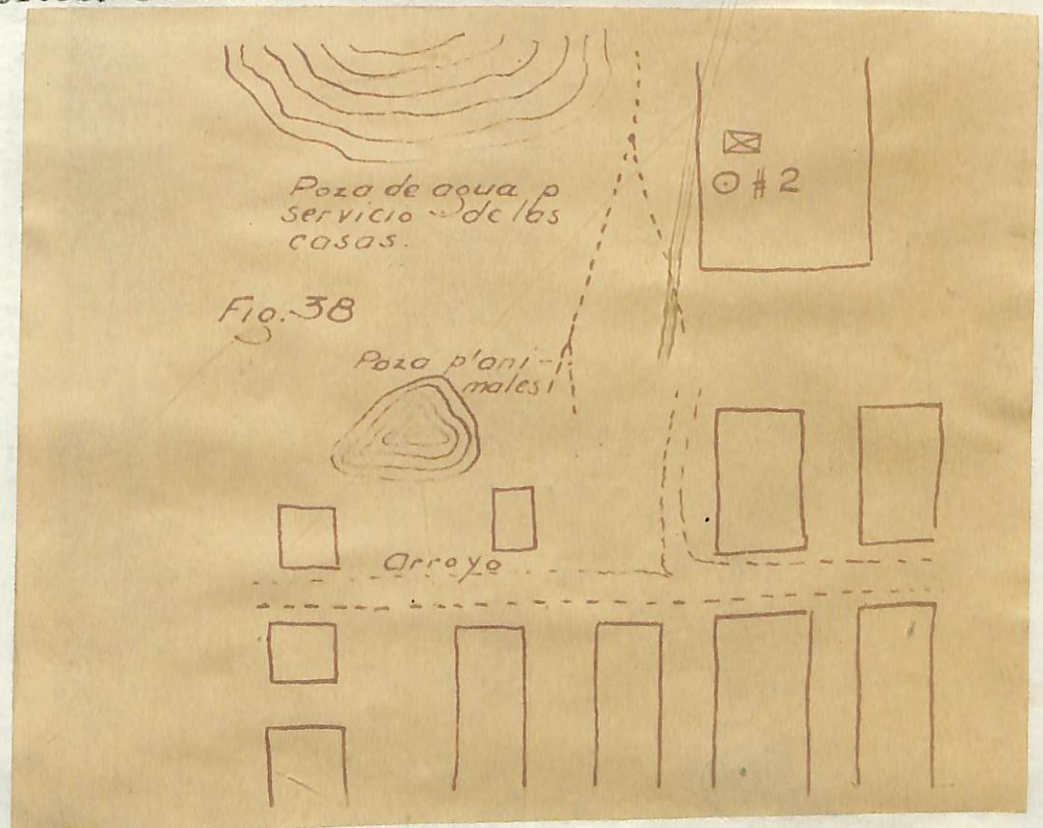
Hay que advertir que el arroyo vecino sólo
tiene corriente mientras llueve, es apenas un desague momen-
táneo.



Este pozo del que me ocuparé mas adelante no funciona actualmente debido a un daño en la bomba que una indolencia inexplicable por parte de la municipalidad ha permitido que subsista.

El otro pozo fué construido por un particular sin nociones e indicaciones de especie alguna.-El que mejor resultados dió ya que se encuentra en funcionamiento, su descarga es bastante constante, abundante y de muy buena agua.

Este último pozo lo mismo que el anterior, se encuentra situado entre dos depósitos de agua, estando mas bien situado en un plano dos metros mas alto que el nivel de los dos depósitos.-Su situación la explica el croquis de la figura # 38.



Estos dos pozos están situados, el primero al oeste y el segundo al este, mediando entre los dos algo así como $1\frac{1}{2}$ kilómetros.

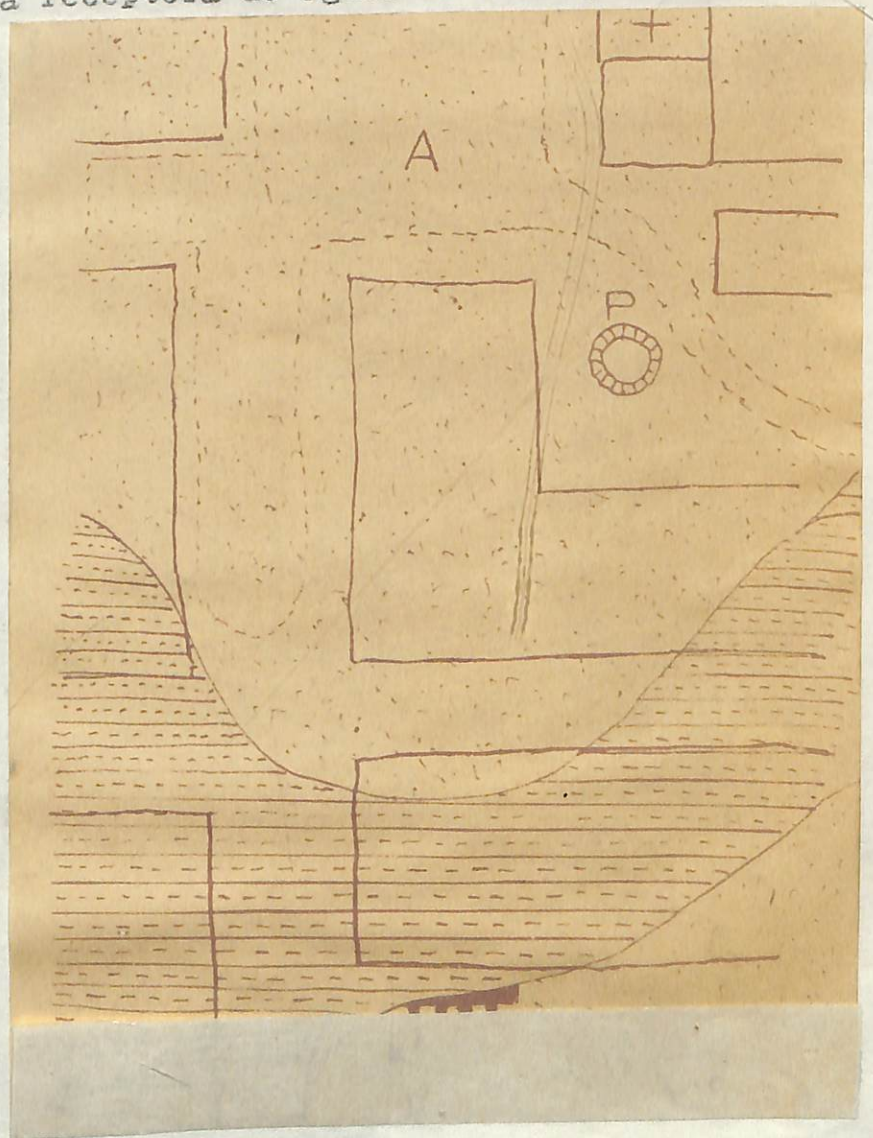
Más o menos equidistante de éstos pozos y ha-

cia el Norte de la ciudad se encuentra una fuente, bien que ésta no se encuentra actualmente suministrando agua; también alejo en este caso descuido de la municipalidad la dejó cubrir por completo de tierra.- Esta fuente se encuentra al pie de un barranco arcilloso que mas bien es una barrera o dique que separa dos afloramientos arenosos, teniendo el afloramiento A unos cinco metros de altura sobre el B y situado el A en una plazita situada en el costado este de la iglesia y constituyendo como una cuenca receptora de aguas lluvias que siguen

por una depresión; la línea punteada de la figura # 39 marca la ~~línea~~ cuenca receptora así como también el curso seguido por las aguas en la depresión.-

A la orilla de esta depresión y arroyo a la vez se encuentra el pozo P de unos 2,5 metros de diámetro por unos 6 de profundidad.- Este pozo es de una construc-

ción de calicante muy antigua y que aun es alimentado por venitas de agua muy delgadas.



Siguiendo la flecha de la figura y a algo más de 900 metros se encuentra un depósito; en éste depósito y durante la época de sequía, se nota una vena de agua que viene a unirse directamente a las aguas del depósito.

Por todo lo anteriormente expuesto vemos una posibilidad clara de conseguir aguas freáticas en la ciudad de Sabanalarga, así como también en todas sus cercanías cuya formación geológica, como anoté anteriormente, es igual a la de la población: una sucesión alternada de afloramientos permeables e impermeables.

Descartaremos de una vez la posibilidad de encontrar o mejor de que existan aguas artesianas ya que la formación geológica excluye esa posibilidad.

Analizemos ahora los pozos existentes, en cuanto a capacidad de abastecimiento se refiere.- Consideremos primero el número # 1.

Dicho pozo está construido en un punto donde el suelo está constituido por arena bastante fina y en la perforación se encontró que éste material avanza hasta una profundidad de unos 0.80 metros, de allí en adelante sigue una mezcla areno-arcillosa, siendo difícil apreciar donde termina, total que a unos 2 metros comienza un material netamente arcilloso, el que avanza hasta la profundidad a la cual fue alcanzada la capa acuifera o sea de 9.80 metros y el espesor de la capa acuifera de 2.10 metros.- Cuenta o mejor dicho, cuando funcionaba (ahora no funciona por un daño en la bomba como antes dije), contaba con una descarga de 11 litros por segundo, hay que tener presente que ésta descarga se cons-

tató cuando se terminó su construcción que fué en época seca.

El agua es sacada por medio de una bomba aspirante impelente situada a dos (2) metros de profundidad. Es llevada a un tanque distribuidor de 4 metros cúbicos de capacidad y de allí va a dos depósitos de unos 10 metros de largo, por 0,50 de ancho y no, 25 de profundidad; de éstos depósitos es tomada y vaciada a los recipientes de conducción a las casas.

Este pozo descarga al día aproximadamente unos 970 metros cúbicos de agua.

El pozo # 2 construido por un particular con fines comerciales y particulares a la vez, fué construido sobre suelo arcilloso, siguiendo este material durante toda la perforación hasta encontrar la capa acuífera a una profundidad de 11 metros; la capa acuífera es de un espesor de algo más de 3 metros, en cuando a descarga, nunca ha sido averiguada, pero si se aprecia que es de mucho más volumen que la del pozo # 1.-El agua que suministra es bajo todo punto de vista superior a la del pozo # 1; mejor dicho: es de una calidad excelente.

Asumiendo una producción diaria mas o menos igual a la del otro pozo, algo así como 1000 metros cúbicos, tenemos entre los dos una producción diaria de 1970 metros cúbicos.

La población cuenta con unos 21.000 habitantes.-Ya que la ciudad no tiene fábricas, talleres, establecimientos o industrias que demanden un gasto considerable de agua, podemos asumir un consumo poco excesivo de unos 200 li-

tros por día y per cápita lo que vendría a implicar un consumo total para la población de unos 4.500 metros cúbicos al día.

La producción ya conocida de los dos pozos anteriormente descritos no alcanza ni siquiera a la mitad de la producción que se necesita para abastecer la población, lo que hace ver la necesidad de construir por lo menos otros pozos en la cantidad mínima de 3 y asumiendo que éstos pozos tengan una producción diaria mas o menos igual a la de los pozos #1 y # 2.-Así podríamos contar con una producción algo mayor a 4.000 metros cúbicos que es la demanda de la población.-

Por la descripción anteriormente hecha sobre algunos puntos de la ciudad que cuentan con amagos de fuentes, se puede aconsejar sin temor de fracasar que se construyera un pozo sino en el punto preciso, por lo menos muy cerca a la fuente F que aparece en la figura # 39 de la página 95.-Esta fuente esta situada al Norte conforme expliqué anteriormente; así tendríamos que solamente nos falta por atender el sur de la población para que contara con un suministro de agua.-Aun cuando en esta parte no hay indicios de fuentes, si existen terrenos que por su sola apariencia, y mas si se toma en cuenta que dichos terrenos están atravesados por uno (el Principal) de los arroyos que mencioné antes y que atraviesan la población en sus partes extramuras; tambien dichos terrenos se encuentran situados entre depósitos de agua..

Igualmente aconsejaría la construcción de un pozo en la parte noroeste de la población y que po-

dría construirse sobre una de las fuentes indicadas por la flecha en la figura # 37 de la página 93.-Esta fuente está situada precisamente al noroeste' de la población y aconsejo su construcción por ser la población urbana mas recargada hacia ese punto..

Para evitar el sistema rudimentario de sacar el agua, aconsejaría igualmente para cada uno de los nuevos pozos que pudieran construirse, se construyera un tanque que principal o distribuidor de unos 3 metros de altura, con una capacidad apropiada y provisto cada tanque con una serie de tubos y mangueras con su respectiva llave de contención.- De ésta manera, tomando la manguera e introduciendola en la boca del barril, (recipiente usada por allá para el transporte del agua), no habría más que abrir y cerrar la llave de contención a su debido tiempo; se descartaría así el uso del embudo y la totuma, sistema por demás antihigiénico, ya que fácilmente se puede contaminar el agua con esos utensilios que no están sujetos a ningún control de aseo y limpieza en las casas.

Los pozos que se construyan serán iguales a los ya existentes si circunstancias especiales no implicaran una variación en el sistema; son pozos ordinarios con un revestimiento de calicanto; un diámetro de 2 metros y servidos por bombas aspirantes-impelentes cuya capacidad de extracción puede pedirse de acuerdo con la cantidad de agua que desee sacarse en un tiempo dado, teniendo en cuenta además un factor de seguridad.-

He medio expuesto el sistema y la canti-

dad necesaria para el abastecimiento de la población.-Veamos ahora una manera de resolver el problema para las fincas.

Existen algunos propietarios que podríamos llamar privilegiados, ya que sus terrenos se encuentran atravesados por alguno de los grandes arroyos que van directamente al río; para estos propietarios no constituye un gran problema el que se les sequen los jagueyes en las fincas, ya que obtienen en estos arroyos y a unos 2 metros de profundidad como máximo, buena agua para sus rebaños; lo que se debe modificar en este caso es el sistema de pozos que bien puede cambiarse por los rápidos y económicos pozos Norton, lo que también redundaría en un cambio favorable al sistema de pasar el agua del pozo a los abrevaderos: actualmente se hace en latas vacías de gasolina y a hombro de peon.

Para el resto de los propietarios menos afortunados, se aconseja el mismo sistema anterior en las depresiones que también usan para cavar pequeños pozos de donde obtienen agua, pero con menos probabilidades que en el caso anterior de tener un éxito seguro..

Bien que para estos pozos no se necesita una producción grande.-Muy raros son los dueños de mas de 1.000 animales y el comun de ellos son propietarios de un número de animales que oscila en menos de 500.-Teniendo esto en cuenta y que un animal tiene como promedio de consumo de 25 a 30 litros diarios, se ve que con una producción diaria de unos 12 a 25 metros cúbicos como máximo, se puede resolver fácilmente este problema.

Estos pozos Norton, conforme se explico en

un capítulo atrás, son de construcción rápida y sencilla; pudiendo el agua ser extraída por medio de bombas pequeñas de mano aspirante-impelente.

Doy aquí fin a este ensayo y hubiera deseado que para este caso particular se encontrara un mapa de la ciudad de Sabanalarga.-Pero nunca se ha hecho uno y además la municipalidad no costea por ahora el gasto que demande el levantamiento de un plano completo.-Fué mi intención y al efecto así lo propuse se me ayudara para hacer dicho trabajo, pero mi oferta fué negada debido a la escases de dinero para atenderla debidamente.....

FIN.

UNIVERSIDAD NACIONAL
Facultad de Minas
Zona de Medellín

I N D I C E.

Aguas subterráneas.- Introducción.....	Página I
Generalidades sobre el agua subterránea.....	" 1
Permeabilidad ó impermeabilidad de los-- terrenos.- Condiciones.....	" 7
Régimen de las aguas subterráneas.....	" 18
Depósitos subterráneos.- Estudio general-- de ellos.....	" 45
Hidroscopia.....	" 55
Alumbramientos.....	" 76
Aguas artesianas.....	" 83
Abastecimiento de aguas en Sabanalarga-- Atlántico.-- Abastecimiento de aguas sub-- terráneas para varios fines.--.....	" 88
