



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

26
22

ESTUDIO DEL AGUA SUBTERRANEA PARA
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

T E S I S

Que para obtener el Título de

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a

LUIS BARRERA GOMEZ



México, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTUDIO DEL AGUA SUBTERRANEA
PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE.

1.- GENERALIDADES.

1.1 - Ciclo del movimiento del agua en el planeta.

1.2 - Lugares en que se localiza una fuente de provisión para abastecimiento de agua potable.

1.3 - Aspecto general de las diversas fuentes de provisión.

2.- HIDRAULICA DE LAS CORRIENTES SUBTERRANEAS.

2.1 - Origen.

2.2 - Afloramiento.

2.3 - Mantos acuíferos.

2.4 - Aguas emergentes.

3.- CALIDAD.

4.- ESTIMACION DE VOLUMENES APROVECHABLES.

4.1 - Teoría.

4.2 - En pozos

4.2.1 - Flujo del agua en un pozo común.

4.2.2 - Flujo en un pozo ascendente.

4.3 - En manantiales.

5.- DIVERSOS TIPOS DE CAPTACION.

5.1 - Trincheras.

5.2 - Galerías filtrantes.

5.3 - Pozos poco profundos.

5.3.1 - Pozos excavados.

5.3.2 - " clavados.

5.3.3 - " taladrados.

5.4 - Pozos profundos.

5.4.1 -.Perforación de pozos.

5.4.2 - Método normal.

5.4.3 - " California ó de tubos hincados.

5.4.4 - " rotatorio

5.4.5 - " de inyección.

5.4.6 - Sondas con corona.

5.4.7 - Filtros de pie.

5.4.8 - Limpieza de pozos.

5.5 - Cajas de captación.

6.- CONCLUSIONES.

1.- GENERALIDADES.

1.1 - CICLO DEL MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL PLANETA.

El agua sobre la superficie terrestre la podemos encontrar en un reposo relativo, en lagos, embalses ó almacenamientos, ó bién, en movimiento, en arroyos, rios, torrentes, etc., todos estos han sido formados por el agua de lluvia que cae sobre la misma corteza terrestre; parte de la cual se infiltra en el terreno y parte, por la acción solar, el viento y la humedad ambiente se evapora, este vapor al condensarse en capas superiores de la atmósfera forma las nubes, mismas que producirán las lluvias posteriormente.

Así vemos que se realiza un ciclo: LAS AGUAS SUPERFICIALES SON ORIGINADAS POR EL AGUA DE LLUVIA, PERO ESTA A SU VEZ ES ORIGINADA POR LA EVAPORACION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES. A este ciclo se le ha llamado " CICLO HIDROLOGICO ó - CICLO DE DUCLAUX". (Figs. 1 y 2)

1.2 - LUGARES EN QUE SE LOCALIZA UNA FUENTE DE PROVISION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

El agua para que nos sirva en un abastecimiento de agua potable, debe reunir cuatro condiciones primordiales:

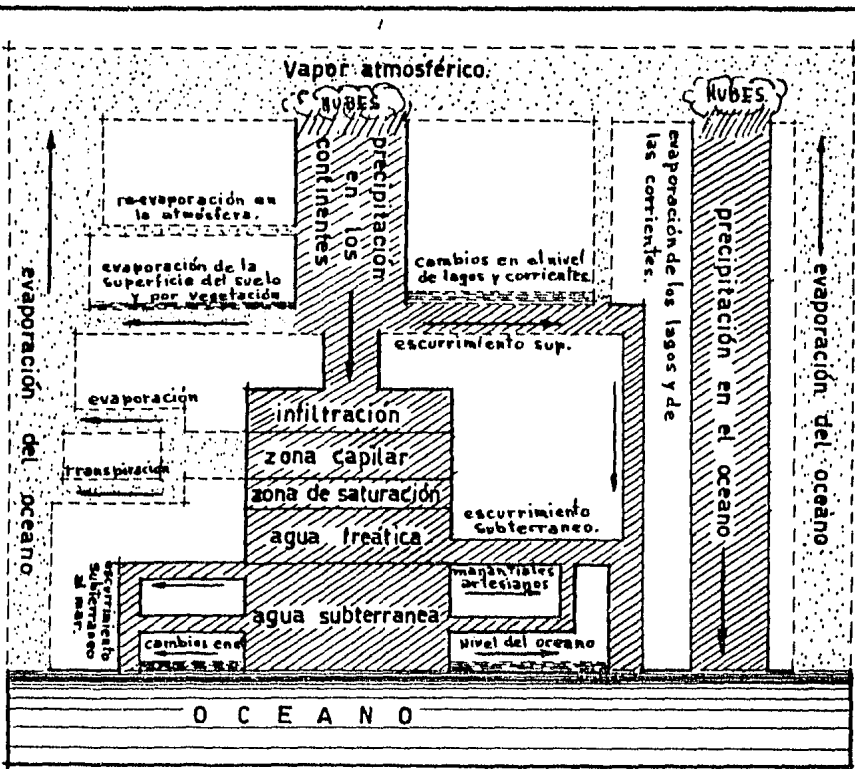


Fig. 1.- Esquema del funcionamiento del ciclo hidrológico.

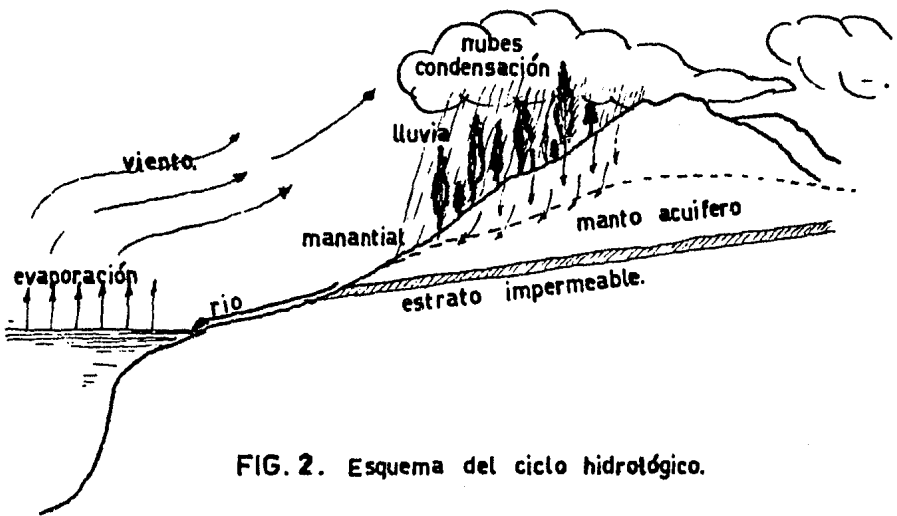


FIG. 2. Esquema del ciclo hidrológico.

- a.- Cantidad suficiente.
- b.- Calidad adecuada.
- c.- Presión necesaria.
- d.- Continuidad en el servicio.

a.- Entendemos por cantidad suficiente aquella con la cual podemos realizar con cierta holgura los menesteres domésticos. Esta cantidad la podemos fijar por medio de la dotación, que es el volumen de agua en litros que se le asigna a un individuo durante las 24 horas del día medio anual para su consumo.

Al fijar esta dotación se deben tomar en cuenta los siguientes usos : servicios domésticos, servicios públicos, servicios industriales, pérdidas y desperdicios. La dotación media alcanza normalmente valores de 150 a 400 litros por habitante por día.

b.- Calidad adecuada. Depende del uso a que se va a destinar; como no es posible dar las distintas calidades para cada uso, se escoge una que dé toda la seguridad en distintos usos, que es : la conveniente para bebida. Esta calidad es la que se denomina "potable".

El agua potable se define como aquella que es buena y agradable al paladar, y además no causa daño ni molestia al ingerirse en el organismo humano.

Todas estas cualidades dependen de lo que el agua lleve en su seno, de aquí que haya necesidad de estudiar sus aspectos físico, químico y biológico. El análisis físico,

nos determinará la turbiedad, el olor, color, sabor y temperatura. El análisis químico, nos mostrará si el agua contiene sustancias que pueden ser dañinas, y aquellas que debe contener el agua. Y por último, el análisis biológico, nos servirá para determinar si el agua contiene gérmenes ó bacterias. En resumen, hay que ver si se cumplen las llamadas normas de calidad, en las que se especifican las tolerancias que pueda tener el agua potable. Las normas de calidad, aún cuando parecidas, son diferentes para cada país.

c.- Presión necesaria. Es la presión hidrostática con que el agua debe circular en los tubos de la red de distribución. Esta presión es una función de la altura dominante de las casas habitación. Una cifra media de altura por vencer es de 15.00 metros. La presión no se proporciona uniformemente en toda la población. Las variaciones de la presión son motivadas por los desniveles del terreno y por y por las pérdidas.

d.- Continuidad en el servicio. Al establecer un servicio público de agua potable, se debe procurar que este sea proporcionado en forma continua, es decir, eliminar al máximo las posibilidades de interrupciones, ya sea, permanentemente motivada por agotamiento de la fuente de provisión, ó bien temporal, ocasionada por desperfectos en la línea de conducción, tanque de regularización, etc.

Con estos datos veamos los lugares en los cuales se

puede localizar una probable fuente de provisión para agua potable.

Al revisar el ciclo hidrológico vemos que se puede fijar como origen de todas las aguas sobre la superficie terrestre a la lluvia. En consecuencia podemos decir que ésta será nuestra primera fuente de provisión, ya que mediante cisternas o aljibes y de acuerdo con la precipitación pluviométrica del lugar, podemos lograr un abastecimiento de agua, aún sin que este reúna las condiciones indicadas anteriormente.

Enseguida vemos que gran parte del agua que cae en forma de lluvia escurre sobre el terreno, formando corrientes que a su vez formarán lagos y embalses; a esta agua la podemos denominar aguas superficiales, y encontrar en ella mediante adecuadas obras de captación otra probable fuente de provisión.

Por último, la parte de lluvia que no escurre o se evapora se infiltra en el terreno dando lugar a la formación de las aguas subterráneas, que por medio de pozos más ó menos profundos, ó bien cuando emergen en forma de manantiales, nos proporcionará otra fuente probable de provisión.

1.3 - ASPECTO GENERAL DE LAS DIVERSAS FUENTES DE PROVISION.

En los párrafos anteriores podemos ver que tenemos -- tres tipos principales de fuentes de provisión:

a.- Aguas meteóricas ó de lluvia.

b.- Aguas superficiales.

c.- Aguas subterráneas.

a.- Aguas meteóricas. Al hacer un estudio un poco -- más detenido de estas fuentes, vemos que la primera ó sean las aguas meteóricas nos podrían proporcionar agua con cali-dad adecuada, ya que aquella se encuentra en su mayor esta- do de pureza cuando está en forma de vapor en la atmósfera, al precipitarse sobre la corteza en forma de lluvia no su- fre alteración apreciable en su pureza, a pesar de que re- coje cantidades ínfimas de anhídrido carbónico, nitrógeno, oxígeno y polvo en suspensión; cantidad suficiente, sería la condición que mayores problemas nos representara, ya que depende únicamente de la altura de precipitación pluvial -- del lugar, pudiendo presentarse el caso de un largo período de sequía en el lugar que llegara a agotarse el agua de la cisterna y así motivar en previsión un racionamiento en el consumo. En cuanto a la presión necesaria no se toma en -- cuenta ya que este es un sistema en el que se toma el agua directamente del almacenamiento ó sea el de algibes ó cis- ternas.

Este tipo de provisión es muy usado en rancherías y poblados de muy escasos recursos económicos.

b.- Aguas superficiales. Como ya se dijo, estas -
aguas podemos encontrarlas en lagos, embalses y en corrientes superficiales.

Los lagos son almacenamientos de agua de lluvia formados en las depresiones naturales del terreno, cuyo suelo compacto impide que haya filtraciones de importancia, en ocasiones son alimentados por corrientes superficiales o bien por corrientes subterráneas, que posteriormente siguen su curso natural hacia los océanos, este tipo de lago recibe el nombre de lago de transición, cuando está alimentado por corrientes superficiales, y lago de emisión cuando está alimentado por corrientes subterráneas; el lago de recepción, no tiene salida visible sino la evaporación le proporciona la pérdida equivalente al agua que le aportan los ríos tributarios, este tipo de lago generalmente es de agua salada.

La formación de estas depresiones puede ser debida a cualquiera de las siguientes causas: formación natural ocurrida durante las épocas primarias; obstrucción de un cauce por derrumbe que impide el escurrimiento natural del agua; deformaciones de la corteza terrestre motivada por fenómenos volcánicos (estos lagos reciben el nombre de tectónicos); la acción de los glaciares sobre la misma corteza terrestre; cráteres de volcanes apagados, en este caso son muy profundos y del tipo de recepción, y por último, la evolución normal del modelado por las aguas circulantes.

Los embalses son lagos artificiales del tipo de tran-

sición, pues son creados por el hombre al interrumpir el -
cauce de una corriente superficial, mediante la construc--
ción de un obstáculo de material impermeable (cortina de -
una presa), en sentido normal al cauce de la corriente. El
conjunto resulta una presa que puede tener varios aprovecha
mientos: Agua potable, Producción de energía eléctrica, -
riego, etc.

La parte de agua de lluvia que no se infiltra en el -
terreno, por efecto de la gravedad escurre formando peque--
ños hilos de agua que descienden por las laderas de las mon
tañas uniendose para formar arroyos, que a la vez darán ori
gen a corrientes mayores y torrentes.

Estas corrientes podemos subdividirlas en: ríos, -
ríos torrenciales y torrentes.

Reciben el nombre de ríos, aquellas corrientes de -
agua que se caracterizan por tener un gasto más o menos -
constante durante todo el año, que corre por un cauce natu-
ral permanente. El régimen de un río tiene oscilaciones -
pequeñas alrededor de un gasto medio, por lo general su cau
ce está formado por arena y tierra con pendientes muy peque
ñas de valores menores que 0.0001 .

Los ríos torrenciales se caracterizan por su régimen
que tiene una marcada diferencia entre los gastos de estia-
je y el de avenida; su cauce es doble distinguiendose uno

chico divagante y formado por arena, grava y cantos rodados, cauce por el cual circulan las aguas de estiaje, alojado dentro del cauce mayor por el cual circulan las avenidas; en general sus pendientes varían de 0.001 a 0.02 .

En los ríos torrenciales las avenidas son grandes y de corta duración.

Reciben el nombre de torrentes aquellos ríos, cuyo gasto en época de estiaje es nulo; se caracterizan porque sus avenidas son muy altas y de corta duración. Su cauce lo forman grava, cantos rodados y rocas; sus pendientes generalmente son mayores del 0.02 .

Para esta fuente de provisión la condición de calidad adecuada es la que mayores problemas nos representa. El agua al descender por las laderas y correr por los cauces arrastra gran cantidad de tierra y humus, al mismo tiempo que recoge materias minerales, llevándolas en suspensión que la hacen aparecer más ó menos turbia. Una corriente de agua al atravesar una población por lo general es usada como vehículo en la eliminación de desechos industriales, domésticos, etc., aumentando con esto su contenido de impurezas y por lo mismo haciéndola impropia para usarse en un abastecimiento de agua potable.

Aún cuando en el recorrido del agua se va efectuando un proceso de autodepuración a causa de los efectos produ-

cidos por la luz solar, por las bacterias reductoras, la flora y la fauna acuática y la sedimentación, que tienden a devolverle su estado de inofensividad para el organismo al utilizar las aguas superficiales para un abastecimiento de agua potable siempre será necesario instalar una planta potabilizadora para tener la seguridad de una calidad adecuada en el punto de consumo.

En cuanto a cantidad suficiente y presión necesaria, no será problema el lograrlas mediante la construcción de depósitos en tamaño y elevación adecuados, que en ocasiones ya se tendrán construidos, como por ejemplo al utilizar el agua de una presa de almacenamiento.

c.- Aguas subterráneas. La parte de agua de lluvia que se infiltra en el terreno da lugar a la formación de lo que hemos llamado aguas subterráneas, éstas en su recorrido dentro del subsuelo forman corrientes, ríos y almacenamientos subterráneos que posteriormente emergerán a la superficie por medio de pozos ó bien en forma de manantiales, que nos servirán en uno u otro caso como fuente de provisión para agua potable.

En determinadas poblaciones se presenta el caso de no contar con otra fuente de abastecimiento que no sea la de las aguas subterráneas, en este trabajo prestaremos mayor importancia a este tipo de fuente de provisión para abastecimiento de agua potable.

2.- HIDRAULICA DE LAS CORRIENTES SUBTERRANEAS.

2.1 - ORIGEN.

Según hemos visto ya, una parte del agua de lluvia no se acumula en los lagos, almacenamientos, ni corre en los ríos, sino que es absorbida por el suelo; la profundidad a que el agua penetra dentro del suelo depende al mismo tiempo de la cantidad de lluvia y de la naturaleza de aquel, así como de la vegetación y pendiente superficial del mismo. La arcilla y la marga compacta son prácticamente impermeables, mientras que los terrenos con gran cantidad de arenas y gravas son muy permeables.

El agua que se infiltra en el terreno podemos separarla en cuatro importantes partes; una, es la absorbida por las plantas a través de sus raíces y posteriormente transpirada por los poros de sus hojas; en algunas ocasiones las raíces retienen cantidades enormes de agua, como por ejemplo los pantanos de cipreses de los E.U.A., que deben contener millones de toneladas de agua; otra parte, se evapora directamente por los poros del suelo; otra, el agua higrós

cópica resiste la evaporación y es retenida por el suelo; donde el suelo consiste en roca dura, el agua penetra con mayor dificultad, pero aún las rocas más duras como el gre-nito, son hasta cierto punto permeables, y las rocas más po-rosas como las calizas y areniscas embeben el agua de llu-via como una esponja; cuando las rocas han embebido toda - el agua que pueden contener cesan de ser permeables; por - último, una parte, la más importante, descenderá por la ac-ción de la gravedad hasta encontrar un estrato impermeable que impida su circulación vertical, haciendo que se despla-ce en dirección horizontal, en ocasiones hacia algún desa-güe determinado, en el que emergerá en forma de manantial.

El agua al circular dentro del subsuelo con movimien-to lateral nos determina una zona perfectamente definida, - ésta recibe el nombre de "zona de saturación", encontrándose limitada en su parte inferior por un estrato ó capa imper-meable que es sobre la que circula el agua que se denomina - agua freática; y en su parte superior está limitada por la superficie hidrostática que recibe el nombre de " nivel -freático", excepto en el caso en que se ve limitada por un estrato impermeable superior. En ocasiones la capa imper-meable es horizontal ó bien en forma cóncava en cuyo caso - el agua permanecerá en reposo.

El nivel freático se vé sometido a frecuentes y consi-derables fluctuaciones ya que un largo período de sequía -

originará un descenso motivado por la extracción de agua - por medio de pozos, fuentes y manantiales, reduciendo considerablemente el volumen de agua subterránea almacenada, - mientras que las filtraciones de agua en la época de lluvia hacen que el mismo nivel freático se eleve.

2.2.- AFLORAMIENTO.

El afloramiento de las aguas freáticas podrá ser en varias formas según las posiciones relativas del nivel del terreno y el nivel freático. Así en la fig. 3, vemos que - el afloramiento puede ser en cuatro formas distintas:

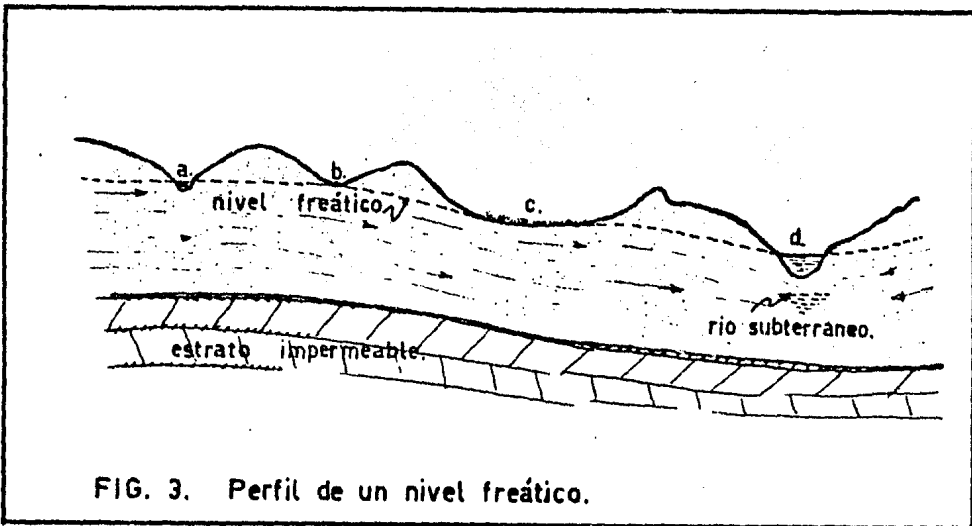


FIG. 3. Perfil de un nivel freático.

a.- Una charca. Se forma en el punto más alto del - nivel freático cuando éste es cortado por una pequeña depresión del terreno.

b.- Una fuente. Cuando el nivel freático y la super

ficie del terreno se tocan en un punto.

c.- Un pantano. Es el mismo caso anterior solo que en éste el contacto entre los niveles es sobre una extensión más grande, y por último:

d.- Un río superficial. Este es formado en el punto más bajo del nivel freático, que será también y con toda seguridad el punto más bajo del valle.

2.3 .- MANTOS ACUIFEROS.

El agua subterránea que no aflora en la corriente superficial, formará con seguridad una segunda corriente subterránea cuyo cauce subalveo correrá más ó menos paralelo al del río superficial.

En determinadas condiciones se presenta el caso contrario; que el agua subterránea sea alimentada por una corriente superficial cuyo lecho sea permeable y cuando el nivel freático queda por abajo de la superficie del agua del río. Así vemos que un río puede perder agua por filtración en algunos puntos, y recuperarla en otros en donde el nivel freático es elevado.

En algunas ocasiones y sobre el nivel freático principal se encuentran estratos de arcilla ó de otro material impermeable de superficie cóncava que almacenan agua en su -

parte superior, en este caso se le conoce con el nombre de capa freática perforada. Estas acumulaciones por su cercanía al nivel del terreno sirven para suministro de agua en pozos poco profundos. (fig. 4).

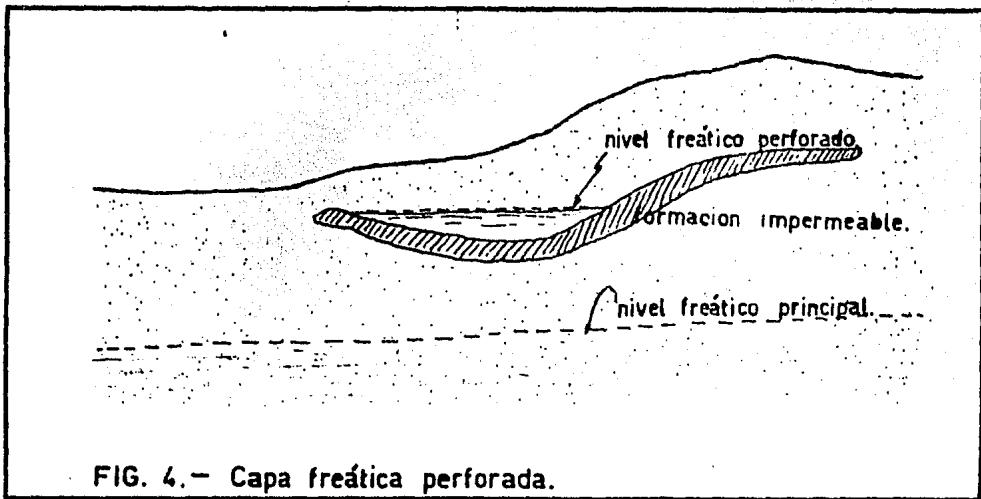


FIG. 4.- Capa freática perforada.

Frecuentemente el primer estrato impermeable que detiene el paso del agua no lo es en su totalidad sino que está agrietado ó bién tiene fallas, por lo que el agua seguirá su descenso hasta encontrar otro manto impermeable y así ir formando capas acuíferas más profundas. Estas capas en ocasiones pueden deber su formación a la estratigrafía geológica del terreno; cuando por su conformación los estratos profundos afloran a la superficie del terreno reciben directamente el agua de lluvia permitiendo que llegue por la acción de la gravedad a grandes profundidades.

Cuando una capa acuífera se encuentra entre dos estrat

tos impermeables y está totalmente saturada recibe el nombre de cautiva, en caso contrario se llamará libre.

No se puede saber a ciencia cierta la profundidad a que puede llegar el agua, pero se puede establecer que dado el grado geotérmico medio de 35.00 m. (espesor de tierra para el cambio de temperatura en un grado centigrado), el agua pierde su forma líquida para cualquier presión antes de los 12 Km., por haber alcanzado la temperatura crítica de 363° centígrados.

La distancia a que viaja el agua bajo tierra antes de surgir en forma de fuentes ó manantiales, puede alcanzar en ocasiones centenares de kilómetros. Como regla general se puede decir que mientras mayor sea la profundidad y la distancia a que viaja el agua dentro de la corteza terrestre - antes de emerger, más abundante será la fuente ó manantial, puesto que las grandes distancias y profundidades implican un area de suministro más extensa. Se han llegado a encontrar manantiales con un gasto hasta de 50.00 m³/seg.

La capacidad de los suelos como portadores de agua depende de su porosidad y del tamaño de las partículas que lo forman. La porosidad es una medida del poder absorbente del material, pero si los poros son pequeños la resistencia al movimiento del agua dentro del suelo es muy grande. Se han encontrado valores para la velocidad del movimiento del

agua dentro de un suelo hasta de 0.01 mm/seg., ó sea de - 0.86 m/día., éste valor explica el porqué las aguas en ocasiones tardan años en alcanzar grandes profundidades.

Los mantos acuíferos podemos dividirlos en tres grandes grupos, según su origen y extensión:

a.- Formaciones de material poroso y constitución - muy uniforme. Son de gran extensión y espesor, que en pasadas épocas geológicas estuvieron sumergidas en los mares. es fácil obtener una buena información de ellas mediante pocos sondeos.

b.- Depósitos de arena y gravilla en los antiguos lagos y lechos de ríos. Estas depósitos agua de la corriente superficial y de la subterránea de los terrenos más elevados y la encauzan generalmente en dirección más ó menos paralela a la de la corriente superficial. La arena y gravilla pueden constituir un estrato uniforme ó bien estar alternados con capas de arcilla o materias más permeables. Estos depósitos son bastante menores que los acuíferos del primer grupo, pero son fuentes importantes ya que se puede extraer el agua por medio de pozos poco profundos ó bien mediante galerías filtrantes.

c.- Depósitos de aluviones glaciáricos. Estos son formaciones que los glaciares en su movimiento alternativo

de norte a sur del casquete polar dejan en su término. Estos depósitos constituidos también con arena y gravilla son de pequeña extensión y se encuentran en grán número.

De lo expuesto en los párrafos anteriores vemos que - las aguas subterráneas por la posición y las condiciones en que se encuentran dentro de la corteza terrestre se pueden clasificar en dos grandes grupos:

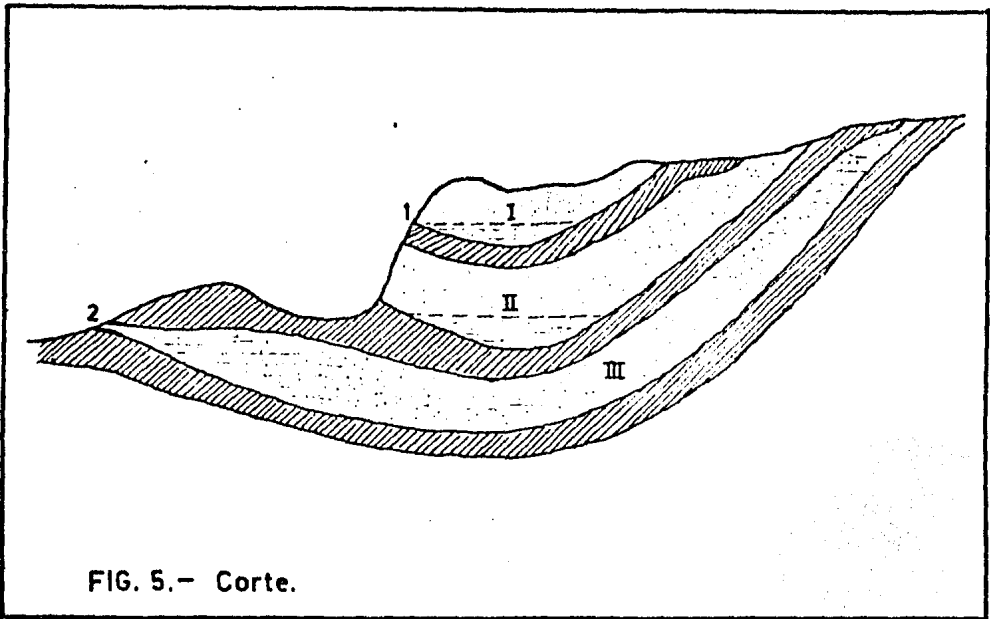
a.- SOMERAS ó SUPERFICIALES. Se entiende por aguas someras las que se encuentran entre el nivel freático y la primera capa impermeable, es decir aguas freáticas.

b.- PROFUNDAS. Son todas aquellas que se encuentran en los mantos acuíferos profundos, pudiéndose distinguir - dentro de este grupo las aguas profundas comunes que corresponden a los acuíferos libres, y las aguas a presión ó artesianas que corresponden a las capas acuíferas cautivas. .

Al hacer un corte de la corteza terrestre en el cual se vean varios mantos acuíferos podemos distinguir:

a.- Una primera capa permeable (I), en donde se localizan las aguas freáticas ó someras, que en el punto 1 darán lugar a un manantial. (fig. 5).

b.- Una segunda capa permeable (II), que en el esquema dá una idea de las aguas profundas libres.



Por último el estrato permeable (III), nos representa un acuífero cautivo, el cual dará origen a un manantial en el punto 2.

Dentro de los mantos acuíferos, el nivel freático corresponde al nivel del agua de una corriente superficial. Por esto, como en la corriente superficial, el nivel freático toma la inclinación necesaria para producir el desplazamiento del agua. La inclinación de dicha superficie puede llamarse "gradiente hidráulico". Cuanto más alto sea el valor del gradiente, mayor será la velocidad del agua y mayor la cantidad de la misma que se desliza por la capa acuífera. Las formaciones por las que discurre el agua no son uniformes en cuanto a su finura, dando por resultado que el gradiente hidráulico probablemente no sea una línea recta.

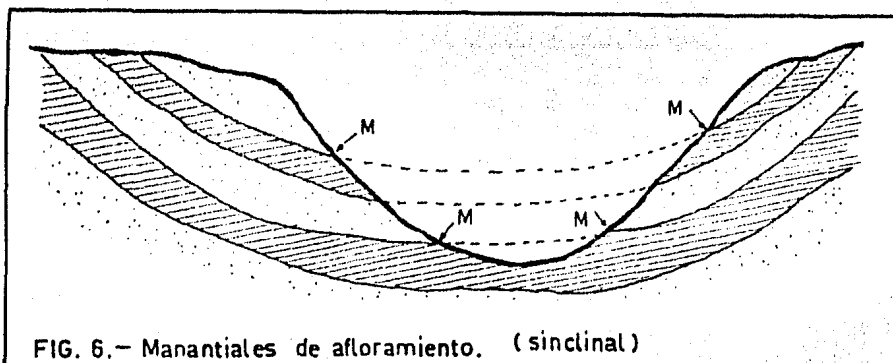
En una capa acuífera formada por material fino que se presente a continuación de otro grueso, como el agua subterránea necesita una presión inicial más alta para atravesarla, tendrá que embalsarse hasta que alcance una altura suficiente para dar el nuevo gradiente requerido. En general puede decirse, que el nivel hidrostático del agua subterránea poco profunda sigue, aproximadamente, la inclinación de la superficie del terreno.

2.4.- AGUAS EMERGENTES.

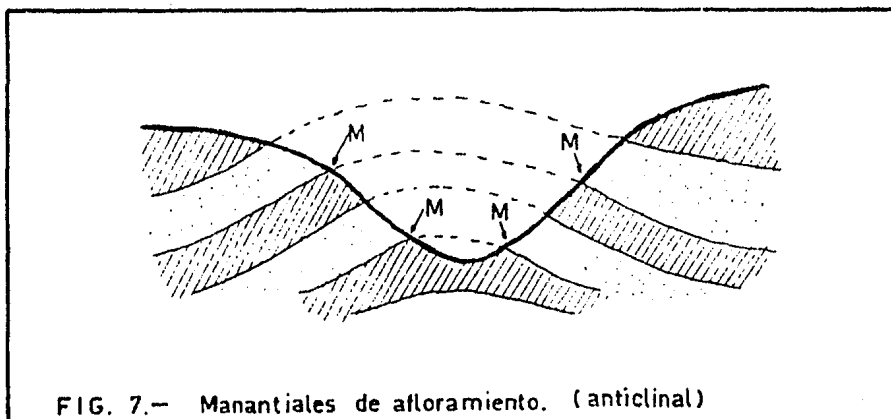
Las aguas subterráneas después de circular dentro de la corteza terrestre a mayores ó menores profundidades, en recorridos más ó menos largos emergen a la superficie del terreno, dando origen a la formación de manantiales ó fuentes, cuyo gasto dependerá de la profundidad y la longitud del recorrido del agua que lo surte.

Por la forma en que el agua emerge a la superficie terrestre se pueden considerar tres tipos principales de fuentes ó manantiales:

a.- Manantiales de afloramiento. Este tipo de manantiales se localiza en las laderas de los valles de erosión, en los puntos de contacto entre las superficies de los estratos permeables e impermeables. De este tipo podemos encontrar varias clases: Cuando la erosión que originó el valle tuvo lugar en un sinclinal (fig. 6), en este caso es pro-



bable que el afloramiento del agua no sea en un punto, sino que la ladera se vea humedecida en un tramo más ó menos grande y siguiendo aproximadamente una curva de nivel en ambas laderas del valle; cuando la erosión fué en un anticlinal (fig. 7), el afloramiento probablemente será en un punto y seco en ambas laderas del valle; cuando la erosión



tuvo lugar en un monoclinal los afloramientos se pueden presentar en una sola ladera (fig. 8-a), ó bién en las dos laderas, cuando fuera del valle hay un anticlinal (fig. 8-b).

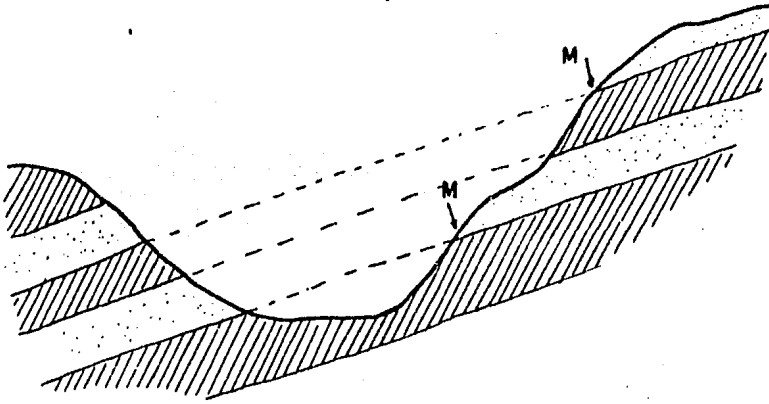


FIG. 8.-a.

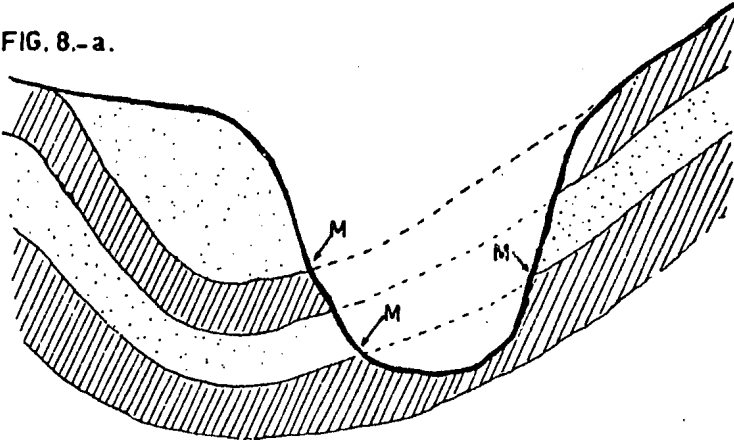


FIG. 8.-b. Manantiales de afloramiento. (monoclinal.)

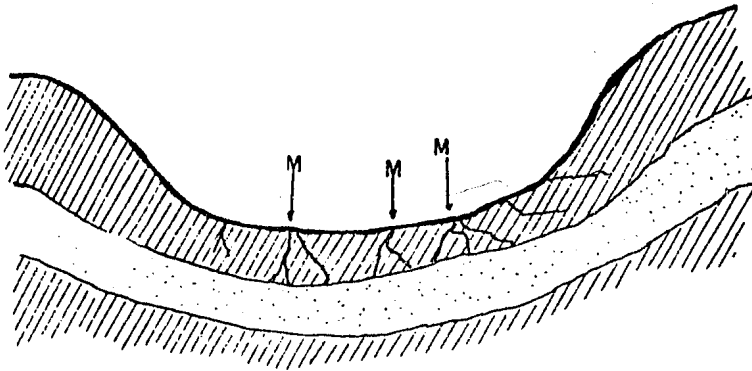


FIG. 9. - Manantiales de fisura o artesianos.

b.- Manantiales de fisura. Estos manantiales se presentan cuando en el estrato impermeable superior de una capa acuífera continúa existe una falla ó fisura por lo cual el agua saldrá a presión (fig. 9), tomando por este motivo el nombre de artesianos.

Los manantiales de aguas termales, pertenecen a este tipo y se presentan cuando las fracturas llegan a tal profundidad que el agua al circular por ellas se pone en contacto con algún magma ó fenómeno volcánico.

c.- Manantiales de depresión. Se presentan en el caso de que el nivel freático sea cortado por la superficie terrestre. Su localización topográfica puede ser muy variable, normalmente surgen en forma de lloraderos, una charca, un pantano ó bien un río superficial (ver fig. 3).

d.- Manantiales intermitentes. Los terrenos agrietados pueden dar origen a muy diversos casos de manantiales del tipo de afloramiento, en terrenos calizos y con cavernas podemos encontrar los llamados intermitentes, en los que el manantial estará proporcionando agua durante un cierto período de tiempo a intervalos regulares. En algunos casos la regularidad de estos intervalos es muy notable.

El origen de esta intermitencia se debe a la interposición de cavernas en el camino de salida del agua con forma de sifón, (fig. 10), el agua estará manando mientras el sifón esté cebado, una vez descargado el depósito, el manan

tial no proporcionará agua hasta que se llene nuevamente y el sifón se ceba.

Este tipo de manantiales presentan infinidad de variantes de las cuales solo mencionaré algunas:

Los intercalares, cuyas aguas son continuas pero con grandes variaciones en el gasto a intervalos fijos (fig. 11); manantiales de doble depósito (fig. 12), con intermitencias en el caudal de distinta importancia, esto se debe a que la caverna superior es de mayor tamaño que la inferior y el sifón de arriba es de menor sección que el de abajo, así, la fuente tendrá intermitencias de corto período cuando el sifón superior esté vaciando y otras de mayor duración hasta que éste vuelva a cebarse.

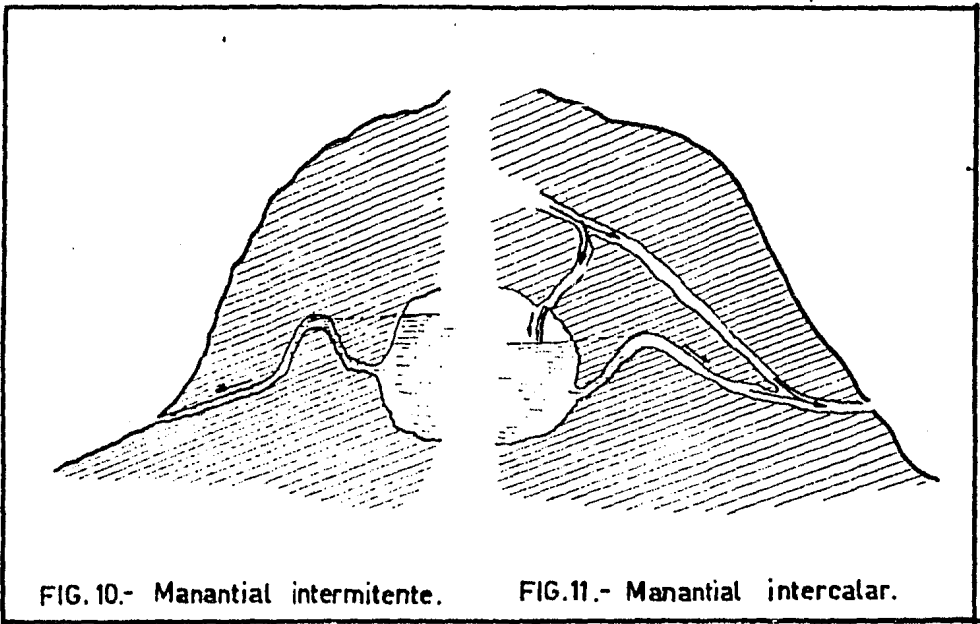


FIG. 10.- Manantial intermitente.

FIG. 11.- Manantial intercalar.

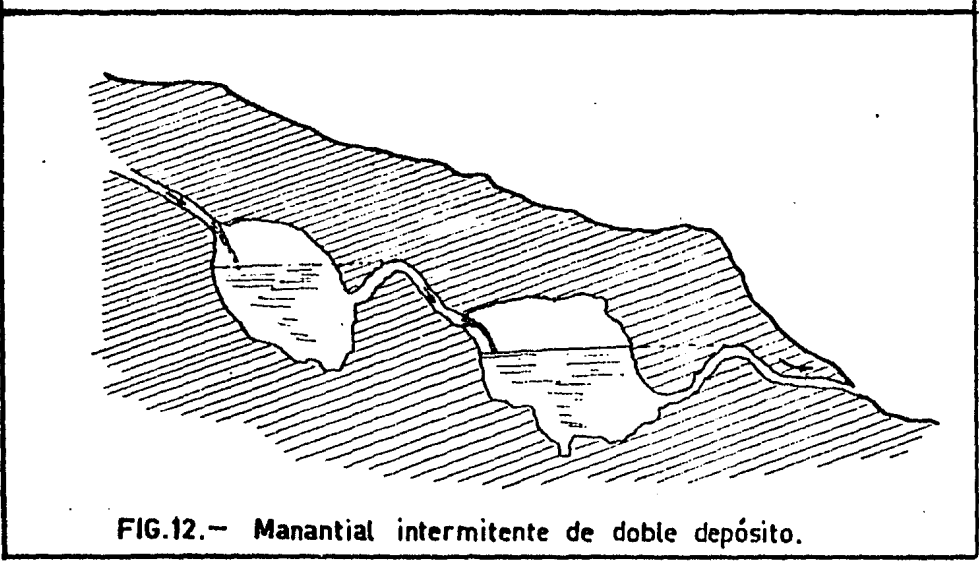


FIG.12.- Manantial intermitente de doble depósito.

3.- CALIDAD.

Al infiltrarse en el terreno las aguas sufren un principio de depuración, depositando en los distintos estratos que atraviesan una buena cantidad de polvo, bacterias, materias orgánicas e inorgánicas que llevan en suspensión arrastradas en su caída en forma de lluvia y adquiridas en el recorrido sobre el suelo antes de penetrar en el terreno, llegando a los mantos más profundos cada vez con mayor claridad. Pero al mismo tiempo el poder disolvente del agua le permite atacar dichas capas e incorporar en su seno nuevas materias en solución.

En su recorrido las aguas transforman el subsuelo, según la formación de este y salen de él cargadas de diversas sales. Por ejemplo, al cruzar por capas de dolomías, calizas, yesos, areniscas, etc., de que usualmente están formados los terrenos sedimentarios, el agua cargada de bióxido de carbono ataca los carbonatos, formando carbonatos dobles que se lleva en solución al mismo tiempo que disuelve cloruros, sulfatos y diversas sales de hierro. Estos bicarbonatos producen una dureza temporal en las aguas, que desaparece con la ebullición.

Cuando el agua en el interior del suelo se encuentra con granitos, basaltos, gneis, ataca los silicatos de potasio, sodio, calcio y magnesio principalmente los feldespatos contenidos en ellas, formando carbonatos, caolín, y sílice. El carbonato potásico es arrastrado en solución y la sílice en forma coloidal. Estas aguas por lo general son blandas pero de alta alcalinidad, cargadas de carbonatos alcalinos y bajas en bicarbonatos alcalinoterreos. La presencia de los carbonatos alcalinos permite la retención de grandes cantidades de sílice, alúmina y óxido férreo en solución coloidal, que no produce realmente turbiedad pero sí alguna opalinidad.

En muchas rocas existen compuestos de hierro que se caracterizan por su coloración amarillenta ó rojiza. Algunas aguas llegan a cargarse de gran cantidad de hierro, debido a que el óxido férreo, cuando el agua ha sido desprovista del oxígeno por la materia orgánica se reduce a óxido ferroso que al combinarse con el anhídrido carbónico dá bicarbonato ferroso soluble. Al airear estas aguas las sales de hierro se oxidan formando un precipitado insoluble de hidróxido férreo, de color castaño que enturbia el agua.

Es frecuente que las aguas procedentes de terrenos primarios y rocas resistentes se presenten coloreadas, lo cual no debe confundirse con la turbiedad, este color es producido por residuos de vegetales descompuestos.

El oxígeno que llevan las aguas está destinado principalmente a transformar la materia orgánica, en su mayoría, de origen vegetal que ha arrastrado, motivo por el cual los minerales permanecerán en solución, aún cuando en muchos de ellos basta una mayor oxidación para convertirlos en insolubles y puedan depositarse.

Las aguas subterráneas y principalmente las freáticas pueden contaminarse haciéndose impropias para beber ó ser utilizadas en usos domésticos, debido a la presencia de detritus orgánicos arrastrados de la superficie; los pozos negros, letrinas y pozos abandonados pueden ser causa de que el agua freática se contamine, así como también por las grietas y juntas defectuosas en el alcantarillado.

Esta contaminación puede alcanzar en ocasiones grandes distancias y profundidades si encuentra medios propicios para desplazarse como por ejemplo, estratos de roca caliza fisurada. Se ha podido determinar el camino de la contaminación mediante el uso de sustancias como la fluorescina y la sal común, que se pueden conocer aún en grandes soluciones.

En general las aguas subterráneas son muy claras, su contenido orgánico es casi nulo, tienen un número ínfimo de gérmenes muy rara vez patógenos, estando en cambio los minerales en mayor cantidad, por lo general carbonatos, sulfa-

tos y cloruros; precisamente algunas de estas sales son las que se requieren en las aguas potables.

Las llamadas aguas minerales frecuentemente proceden de grandes profundidades y deben su nombre a la presencia de una determinada substancia salina ó gaseosa por la que adquieren un poder terapéutico singular. Por su contenido pueden ser; carbonatadas, sulfatadas, sulfurosas, cloruradas y ferruginosas. Pueden tener aplicaciones medicinales de importancia, algunas, tienen un poder radiactivo que pierden rápidamente. En ocasiones surgen a temperaturas elevadas, tomando el nombre de aguas termales.

Las aguas subterráneas profundas, no logran presentar excesos de las sales nombradas anteriormente, por lo cual se les denomina aguas dulces; viniendo a ser las más propicias para suministro de las poblaciones, porque ó se encuentran ya en calidad potable, ó fácilmente se corrigen sus defectos.

Las aguas freáticas superficiales, son de muy mala calidad, mal olor y amarillentas, así como de consistencia gruesa y de fuerte turbiedad, tornandose por este motivo de mal sabor, por lo cual a veces se les dá el nombre de aguas saladas. En general no son potables y su tratamiento para purificarlas es muy difícil y costoso.

El agua de los manantiales es por lo común de magnífica calidad, sobre todo si proceden de capas acuíferas profundas, presentando por ser aguas subterráneas, todas las características de estas. Si el agua de un manantial después de las lluvias se enturbia, la calidad del agua procedente de éste debe mirarse con recelo, pues nos indicará que se encuentra alimentado por aguas subterráneas de recorrido pequeño, poca profundidad y en terrenos que no filtram bien.

4.- ESTIMACION DE VOLUMENES

A PROVECHABLES .

4.1.- TEORIA.

Para estimar el volumen de agua que pueda proporcionar un acuífero subterráneo, no existen sino métodos aproximados, basados en la ecuación general de la hidráulica:

$$Q = v \cdot A$$

En la que: Q, es el gasto en m³/seg., v, es la velocidad de circulación del agua en m/seg., y A el area de la sección transversal del manto acuífero en m².

La determinación del area debe ser realizada con la ayuda de un minucioso estudio geológico de la región, el cual proporcionará datos acerca de: dimensión, forma, profundidad y zona de alimentación del acuífero.

Para la determinación de la velocidad del agua dentro del suelo, se dispone de dos métodos usuales, a saber:

a.- Por medio de fórmulas matemáticas, y b.- Por medición directa. Cuando las características naturales del terreno lo permitan, siempre debe preferirse el uso del método di--

recta, ya que este nos permite obtener el valor de la velocidad con mayor seguridad.

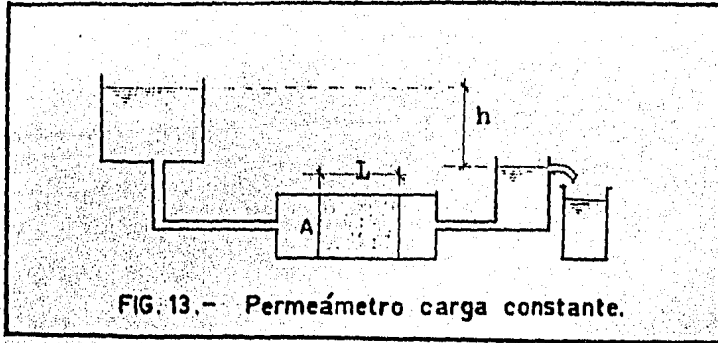
a.- Método de las Fórmulas Matemáticas; Para la mayoría de los suelos, con excepción de los formados por gravas ó arenas gruesas uniformes, el escurrimiento del agua a través de los poros del suelo sigue la Ley de Darcy para el flujo laminar, es decir, que la pérdida de carga es directamente proporcional a la velocidad, ó lo que es lo mismo, la velocidad es directamente proporcional al gradiente hidráulico:

$$v = k.s$$

Siendo v la velocidad media de escurrimiento, k una constante de proporcionalidad que se conoce como coeficiente de permeabilidad, y representa la habilidad del material para permitir el paso del agua a través de sus poros; y s , será el gradiente hidráulico.

La determinación experimental del valor de k , puede hacerse en el laboratorio por medio de pruebas realizadas en muestras inalteradas del suelo, en permeámetros, ya sean de carga variable ó bien de carga constante.

En la figura 13, se muestra esquemáticamente un permeámetro de carga constante en el que se hace circular agua a temperatura conocida, a través de un prisma cilíndrico de



suelo de longitud L y área A , también conocidas. De ésta manera, midiendo la pérdida de carga h y el volumen de agua escurrido en un cierto tiempo, la permeabilidad puede calcularse despejandola de la siguiente fórmula:

$$Q = k \cdot s \cdot A \quad ; \quad Q = k \cdot \frac{h}{L} \cdot A$$

$$k = \frac{Q L}{h A}$$

Fórmula en la que puede verse que, k tiene las dimensiones de una velocidad. En el sistema métrico se acostumbra expresarla en centímetros por segundo.

La figura 14, representa esquemáticamente un permeámetro de carga variable, que se usa principalmente en suelos de baja permeabilidad, en los que el volumen de agua escurrida es muy pequeño y dá mejores resultados para estos suelos que los obtenidos con permeámetros de carga constante.

Conocidas la longitud L y el área A del espécimen

el área a del tubo, y la altura h_0 del nivel del agua, la permeabilidad se determina como sigue: siendo h_t la altura del agua en un tiempo t , el gasto en ese momento puede expresarse por: $q = v_t \cdot a$; siendo v_t la velocidad con que baja el nivel del agua en el tubo, la cual puede expresarse como sigue:

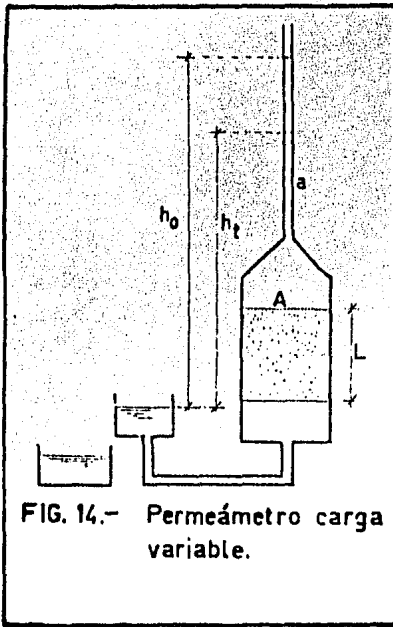


FIG. 14.- Permeámetro carga variable.

$$v_t = - \frac{dh}{dt}$$

Sustituyendo en la ecuación :

$$Q = K \frac{h}{L} A \quad \text{tenemos :}$$

$$- a \frac{dh}{dt} = K \frac{h}{L} A \quad \text{ó bien :}$$

$$- a \int_{h_0}^{h_t} \frac{dh}{h} = K \frac{A}{L} \int_0^t dt$$

Integrando, despejando y convirtiendo a logaritmos decimales :

$$K = 2.3 \frac{a L}{A t} \text{ Log } \frac{h_0}{h_t}$$

Puesto que la velocidad con que el agua fluye en régimen laminar, bajo un gradiente dado, es una función de la viscosidad, el coeficiente de permeabilidad de un suelo varía con la temperatura. Por esta razón el coeficiente de permeabilidad debe ser determinado a una temperatura de 20° C.

Así mismo la permeabilidad de un suelo y por lo tanto la velocidad del agua dentro de él varía con la granulometría, relación de vacíos y la porosidad. Las gravas y las arenas que no contienen finos, ó los contienen en baja proporción, exhiben coeficientes de permeabilidad altos, por lo que se les considera como suelos permeables. A medida que el contenido de finos de las gravas ó las arenas aumenta, la permeabilidad disminuye. Los suelos finos, particularmente las arcillas de alta plasticidad, exhiben coeficientes de permeabilidad tan bajos que se les considera suelos impermeables. A los suelos de granulometría intermedia, entre las gravas ó arenas limpias y las arcillas se les considera semipermeables. La figura 15, muestra los rangos de variación del coeficiente de permeabilidad según el tipo de suelo.

	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
DRENAJE	BUENO				REGULAR PRAC. IMPER.							
TIPO DE SUELO.	A		B			C				D		
	E											
A. -Grava limpia. * B. -Arena limpia, mezclas de arena limpia y grava. * C. -Arenas muy finas, limos inorgánicos y orgánicos, mezclas de arena limosa y arcilla, etc. * D. -Arcillas homogéneas bajo la zona de intemperización, etc. * E. -Suelos "impermeables" - modificados por efecto de la vegetación y el intemperismo.												
FIG. 15. - Variación del coef. de permeabilidad.												

Ahora veamos como se puede obtener la velocidad por medio de otra fórmula. Como ya se dijo, la velocidad del agua varía con la porosidad, el tamaño de los granos, el gradiente hidráulico y la temperatura. La correlación de estos valores fué establecida por Hazen, en 1892, como resultado de sus experimentos en filtros de arena, encontrando para las arenas de tamaño efectivo entre 0.1 y 3.0 mm. la siguiente fórmula:

$$v = c d^2 \frac{h}{l} (3t + 70)$$

en donde:

v = velocidad en metros por día de una columna agua cuya sección transversal sea igual a la que tenga la masa de arena.

t = temperatura en grados centígrados.

d = tamaño efectivo de la arena en mm.

h = altura hidrostática.

l = espesor del lecho de arena.

c = constante. (varía entre 4 y 10).

En la fórmula anterior vemos que h/l , corresponde al gradiente hidráulico al cual llamaremos s , la temperatura puede considerarse constante ya que su variación es muy pequeña. Dividiendo ambos miembros entre el coeficiente de porosidad p , encontramos la velocidad real en m/día. en los poros que será:

$$v = c \frac{d^2}{p} s p$$

Los valores de la constante c fijados por Hazen son: 1,000 para una porosidad de 40% y 400 para 30%, en

consecuencia, estos valores junto con el tamaño efectivo se pueden agrupar dando por resultado otra constante k , por lo que la ecuación anterior nos queda:

$$v = k s p$$

El producto kp en la ecuación nos viene a dar el valor del coeficiente de permeabilidad, que obtenido experimentalmente, quedó descrito en párrafos anteriores.

Tomando como base la porosidad y el tamaño efectivo de los materiales se ha tabulado el valor de k para un gradiente hidráulico unitario, valores que aparecen en la siguiente tabla:

TAMAÑO EFECTIVO DEL MATERIAL. (en mm.)									
Porosidad.	Muy fino	Fino	Medio	Grueso	Muy grueso	Gravilla fina			
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.80	1.00	2.00	3.00
25	8	31	71	126	198	506	780	3100	7100
30	13	53	120	213	333	851	1330	5300	12000
35	20	80	180	320	500	1280	2000	8000	17700
40	25	100	225	400	625	1600	2500	10000	22500

b.- Obtención de la velocidad por medición directa. La velocidad de desplazamiento del agua dentro de un suelo se puede obtener, determinando, mediante ensayos químicos el tiempo requerido por una solución salina para desplazarse de un tubo permeable a otro, ambos hincados en el mismo suelo. La pendiente hidráulica así como la dirección de la corriente, se obtienen practicando tres orificios de ensayo, localizados en los vértices de un triángulo rectángulo y midiendo la altura de agua en los tres pozos.

Slitcher ideó un método más seguro para la medición de la velocidad basado en la conductibilidad del agua para la corriente eléctrica: Si la profundidad, no es mayor de 25.00 m., se hincan en el terreno dos tubos de 5 cm. de diámetro, perforados en una extensión que varía entre 1 y 3 m. en su extremo inferior; los pozos deben estar sobre una recta que lleve el mismo sentido que la corriente; para suelos duros y profundidades mayores, los pozos necesariamente serán más grandes y de mejor construcción.

Se coloca un electrodo en el pozo aguas arriba y se conecta con los revestimientos de ambos pozos, incluyendo en el circuito, una resistencia, una batería y un amperímetro, colocandolos en la forma que indica la figura 16.

Su funcionamiento es como sigue; se introduce en el pozo aguas arriba un electrolito, que puede ser cloruro amó

nico ó sódico, ya que reúnen las condiciones necesarias: ser soluble, químicamente inactivo, coeficiente de difusión muy pequeño y excelente conductor.

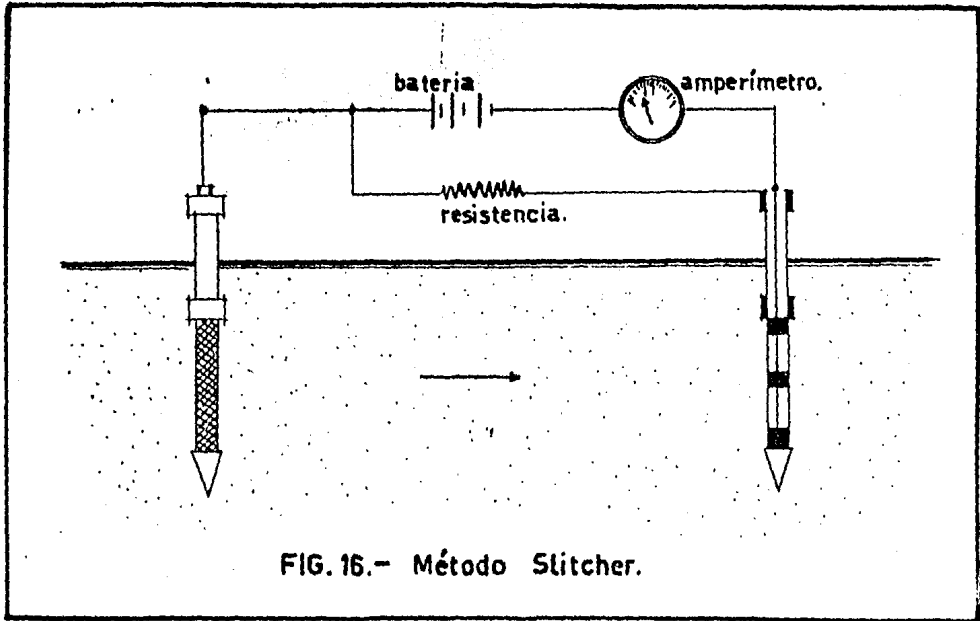


FIG. 16.- Método Slitcher.

Al principiar a salir el electrólito del tubo la corriente que marca el amperímetro se incrementa lentamente, hasta que el electrólito penetra en el tubo aguas abajo, en éste momento se produce un corto circuito entre el electrodo y el revestimiento del pozo, manifestandose en el amperímetro un brusco aumento en la corriente. Evidentemente, el tiempo empleado por el electrólito en llegar de un tubo a otro colocados a una distancia conocida, nos dará el valor de la velocidad de desplazamiento del agua.

Obtenido el valor de la velocidad por cualquiera de los métodos anteriormente descritos solo nos resta sustituirlo en la ecuación:

$$Q = v \cdot A$$

Como quedó dicho con anterioridad, el gasto de una corriente subterránea depende de: su sección, del gradiente hidráulico y del coeficiente de permeabilidad de los mantos que atraviesa, pero debido a la dificultad que hay para determinar con exactitud los valores anteriores, los resultados obtenidos con ellos son más ó menos inciertos; de cualquier manera, no disponiendo de otras fuentes de información, son de gran ayuda en el estudio de las capas acuíferas y nos hacen desechar las ideas exageradas que generalmente se presentan acerca de su capacidad.

4.2.- ESTIMACION DE VOLUMENES EN POZOS.

En los párrafos correspondientes a obras de captación se verá que estas pueden ser horizontales, por medio de galerías filtrantes, ó bién, verticales por medio de pozos; predominando el uso de éstas últimas, por lo cual será conveniente hacer un estudio de la cantidad de agua que puede proporcionarnos un pozo.

4.2.1.- Flujo del agua en un pozo común.

Las condiciones hidráulicas resultantes de la extracción de agua de mantos acuíferos subterráneos por medio de un pozo, quedan repre-

sentadas esquemáticamente en la figura 17.

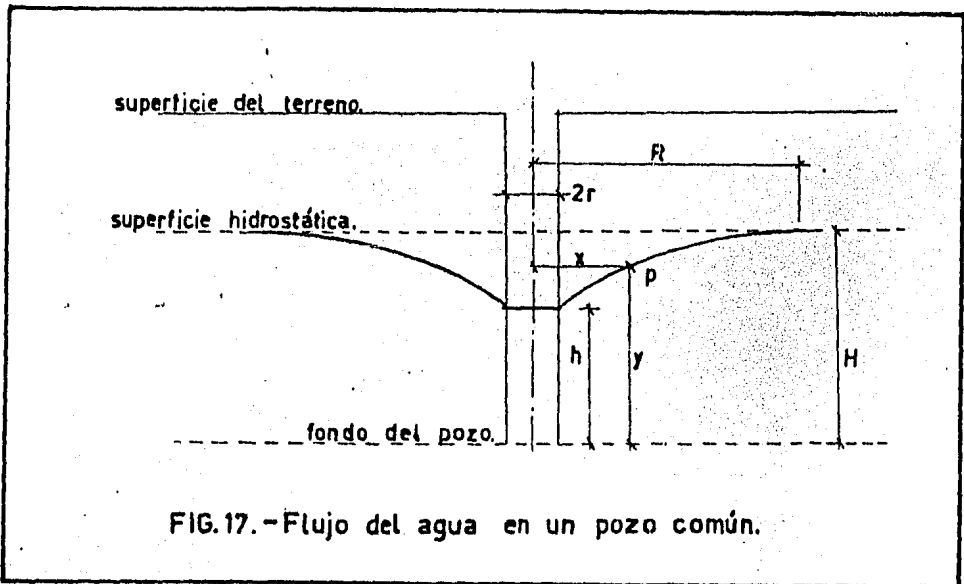


FIG.17.-Flujo del agua en un pozo común.

Al realizar la extracción el nivel hidrostático dentro del pozo desciende desde una altura H , en que se encontraba originalmente, hasta una altura h , ejerciendo una acción sobre el nivel piezométrico en las proximidades del pozo, curvándose de tal modo que su pendiente sea la necesaria para producir el desplazamiento del agua hacia el pozo y en un área de influencia circular de radio R .

Siendo r , el radio del pozo y p , un punto de coordenadas (x,y) que se desplaza sobre la curva del nivel piezométrico tendremos:

$$\frac{dy}{dx} = s \quad (\text{pendiente de la curva}).$$

$$A = 2 \pi xy \quad (\text{área hidráulica lateral, por la cual pasa el agua hacia el pozo})$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación: $Q = Ks A$

tenemos:
$$Q = K \frac{dy}{dx} 2 \pi xy$$

trasladando valores:
$$Q \frac{dx}{x} = K 2 \pi y dy$$

integrando:
$$Q \log_e x = \pi K y^2 + C \dots a$$

haciendo $r = x$, $h = y$, podremos valuar la constante:

$$C = Q \log_e r - \pi K h^2$$

sustituyendo este valor en a :

$$Q \log_e x = \pi K y^2 + Q \log_e r - \pi K h^2$$

agrupando, sacando factor común y despejando, tenemos:

$$Q \log_e x - Q \log_e r = \pi K y^2 - \pi K h^2$$

$$Q (\log_e x - \log_e r) = \pi K (y^2 - h^2)$$

$$Q = \pi K \frac{ (y^2 - h^2) }{ \log_e \frac{x}{r} }$$

Cuando: $x = R$ y $y = H$, nos queda:

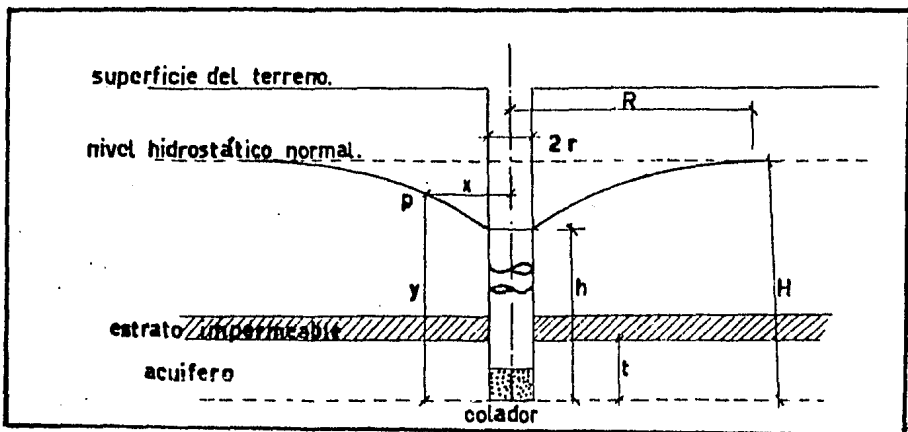
$$Q = \pi K \frac{ (H^2 - h^2) }{ \log_e \frac{R}{r} }$$

Convirtiendo a logaritmos decimales y sustituyendo el valor de π nos queda:

$$Q = 1.365 K \frac{(H^2 - h^2)}{\log \frac{R}{r}}$$

Fórmula que nos dá el gasto de un pozo en función de: K, coeficiente de permeabilidad; R, radio del círculo de influencia, cuyo valor normal es de 300.00 m. ; r, radio del pozo; H, altura del nivel hidrostático; y h, altura del nivel piezométrico en el pozo, estas dos últimas con respecto al fondo del pozo.

4.2.2.- Flujo en un pozo ascendente. Las condiciones hidráulicas que dan origen a un pozo ascendente están representadas esquemáticamente en la figura 18. En ella podemos ver que la principal diferencia con los pozos comunes es que el agua se mueve solo a través de las formaciones limitadas que constituyen un acuífero cautivo.



La determinación del gasto se hará en la misma forma que para un pozo normal, solo que en este caso la variable "y" se convierte en la constante "t", así, al substituir los valores obtenemos la siguiente ecuación:

$$Q = 2.73 K t \frac{(H^2 - h^2)}{\log. \frac{R}{r}}$$

En ambos casos (pozo común y pozo ascendente), el gasto lo obtendremos en m³/día. Multiplicando por el factor 0.695 tendremos el gasto en lts./min.

Al tratar de estimar el rendimiento de pozos en proyecto pueden utilizarse varios métodos, uno de los cuales quedó descrito en párrafos anteriores, pero si es posible consultar estadísticas de pozos perforados en la misma capa acuífera, los datos proporcionados por ellas serán más útiles que los calculados por medio de las fórmulas. La mayor causa de inexactitud al aplicar las fórmulas es la variación de la porosidad y tamaño efectivo del material a lo largo del manto acuífero. De la observación de las fórmulas podemos sacar las siguientes conclusiones:

- a.- El rendimiento varía aproximadamente en razón directa del descenso del nivel.
- b.- El cambio en el diámetro del pozo solo tiene un pequeño efecto en el rendimiento.

c.- El rendimiento varía en razón directa con el tamaño efectivo del material.

d.- Cuanto mayor sea el gradiente hidráulico menor será el radio del círculo de influencia y mayor el rendimiento que cabe esperar.

En la estimación del rendimiento de un pozo se acostumbra usar el término, "capacidad específica", que viene a ser el gasto abtenido en lts./min., relacionado al descenso del nivel por metro. Después de muchas experiencias en pozos se ha demostrado que la capacidad específica varía en relación inversa con la resistencia ofrecida por el colador del pozo y la fricción ejercida al paso del agua por el material de la capa acuífera. Así mismo se ha visto que el rendimiento depende de la porosidad, la cuantía del agua en el manto y la intensidad de la extracción.

Como ya se dijo las capas acuíferas son depósitos de agua subterránea por lo que se agotarán gradualmente si la extracción es mayor que la aportación por la infiltración del agua de lluvia. Si ésto es lo que ocurre, el nivel piezométrico bajará gradualmente, los círculos de influencia aumentarán y por lo tanto el rendimiento en los pozos será menor. Cuando ésto llegara a suceder es conveniente hacer un estudio detenido de la zona de alimentación de la capa acuífera, y determinar los métodos a seguir para incrementar el almacenamiento subterráneo y la afluencia de corrien

tes de agua hacia los pozos. Cosa que puede lograrse mediante la construcción de diques en los ríos, que faciliten la filtración desde sus lechos, ó bién, lagos artificiales poco profundos en regiones arenosas, para que el agua previamente diseminada se infiltre en el suelo; también puede lograrse, aumentando el grado de absorción de la cuenca de alimentación por medio de la reforestación, que aumenta el tiempo de concentración y favorece la infiltración; por último podemos mencionar el caso de refuerzo de una capa acuífera, por su comunicación con otra.

4.3.- ESTIMACION DE VOLUMENES EN MANANTIALES.

Para determinar el gasto de un manantial, este, debe ser aforado por un tiempo mínimo de un año, registrando todas las variaciones en el caudal y así tener la aportación media diaria, mensual y anual.

Los métodos a seguir en el aforo de un manantial pueden ser muchos y muy variados, desde el más sencillo, que es el de volumen hasta la instalación de una estación completa de aforo.

El método de volumen consiste en conducir el agua proveniente del manantial, hasta un recipiente de capacidad conocida, así, por la observación del tiempo que tarda en lle

nar el recipiente, se tendrá el gasto aportado por el mismo manantial. Este método es muy usado cuando se tienen gastos pequeños.

El método más comunmente usado en el aforo de manantiales es el de vertedor, cuya construcción puede ser de diversas formas y materiales, pero todos con las siguientes condiciones para su buen funcionamiento:

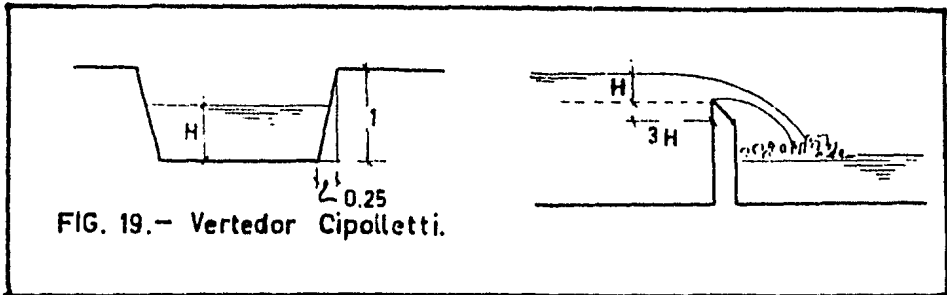
- a.- El paramento de aguas arriba debe ser vertical y estar colocado en sentido normal al de la corriente.
- b.- La cresta vertedora debe ser horizontal, estar colocada arriba del nivel aguas abajo y tener una arista viva donde se desprende el manto de agua.
- c.- La descarga debe hacerse libremente, es decir, la parte situada abajo del manto estará ampliamente conectada con el exterior para sostener en este lugar la presión atmosférica.
- d.- La instalación del vertedor debe hacerse en un canal, y a una distancia tal, que el remanso que origina no ahogue la boca del manantial, ya que de ser así el gasto disminuiría.

La sección más comunmente usada es la del vertedor Cipolletti (fig. 19), ya que proporciona una fórmula sumamente fácil de usar, tomando como base que un vertedor trapecial cuyas aristas verticales tengan una inclinación de -

0.25 : 1 , (0.25 en sentido horizontal y 1 en sentido vertical), nos proporcionará el mismo gasto que uno rectangular con dos contracciones laterales, para una misma longitud de cresta y una misma carga. La fórmula es:

$$Q = 1.859 L H^{3/2}$$

Fórmula en la que: Q , es el gasto en $m^3/\text{seg.}$; L , la longitud de cresta en metros, y H , la carga, también en metros. Esta última debe ser medida a una distancia mínima horizontal de $3H$ aguas arriba de la cresta.



Ya que los manantiales son alimentados por corrientes subterráneas es posible que en ocasiones su gasto llegue a disminuir, para evitar esta disminución ó aumentar el caudal del manantial, se recurre a la alimentación artificial de la capa acuífera, para lo cual se utilizan los mismos métodos enunciados en los párrafos referentes a pozos.

5.- DIVERSOS TIPOS DE CAPTACION.

El tipo de obra a elegir en la captación para un aprovechamiento, cuando se trata de aguas subterráneas queda su peditado a la profundidad a que estas se encuentran. Así, vemos que las obras pueden ser:

HORIZONTALES: Trincheras y galerías filtrantes.

VERTICALES: Pozos. (Poco profundos y profundos.)

CAJAS DE CAPTACION. (En el caso de manantiales.)

5.1.- TRINCHERAS.

Estas vienen a ser simples zanjas excavadas en lugares en donde el nivel freático se encuentra cerca del nivel del terreno, que recogen las exsudaciones del mismo, reuniéndolas en cámaras colectoras. La construcción de este tipo de captación depende del uso a que se vaya a destinar el agua, ya que se trata de aguas freáticas cuya calidad quedó descrita en el capítulo correspondiente.

Estas trincheras presentan como serio inconveniente

el excesivo crecimiento de vegetación debido a la baja velocidad del agua y las grandes oportunidades de contaminación.

5.2.- GALERIAS FILTRANTES.

Así como las anteriores, estas obras también captan las aguas someras, pero con muchas ventajas sobre aquellas. Generalmente, son poco profundas y su uso está justificado en capas acuíferas de pequeño espesor, ó cuando el agua subterránea circula en venas aisladas.

Normalmente están constituidas por un conducto cerrado que puede ser de mampostería, hierro, barro vitrificado, y hasta madera, con pequeños agujeros que permiten la entrada del agua hacia el interior del tubo.

Los conductos deben colocarse a cierta profundidad - dentro de la capa permeable de tal manera que el agua penetre lateralmente, y para prevenir la obstrucción de los agujeros se recubren con material graduado, es decir elaborando un filtro a su alrededor. Es conveniente la construcción de registros que faciliten su inspección y limpieza.

Este tipo es frecuentemente usado para captar la corriente subálvea de los ríos. Las galerías pueden ser construídas transversalmente al cauce del río, con una cara permeable del lado aguas arriba, y el resto impermeable, en cuyo caso constituyen una verdadera presa subálvea. En uno -

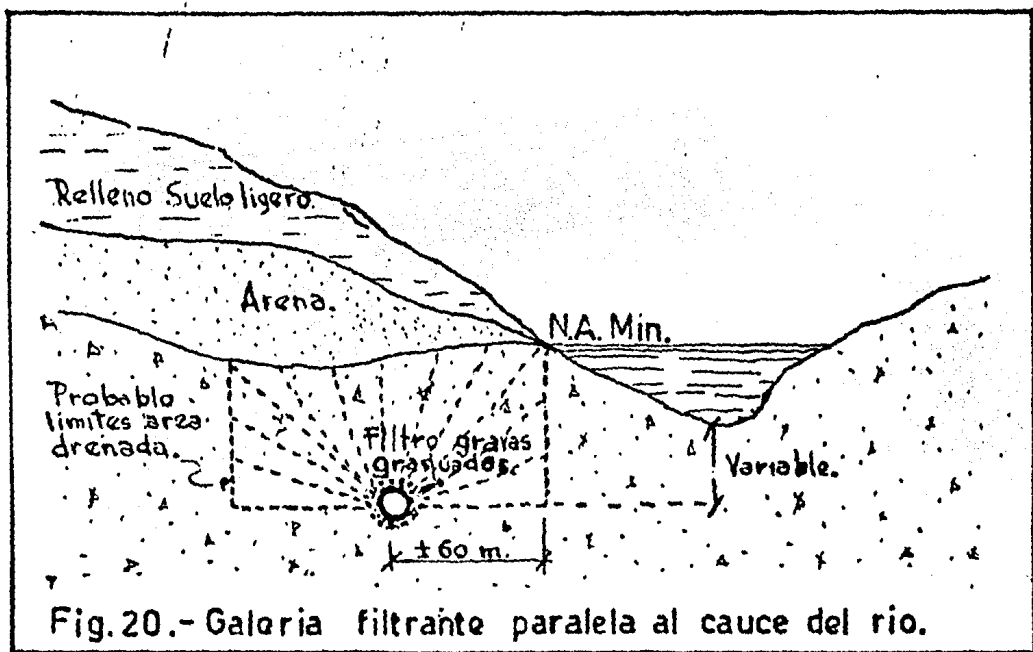


Fig.20.- Galeria filtrante paralela al cauce del rio.

de los extremos se construirá un registro, que será de donde de parte la conducción. También puede construirse paralela mente al cauce del río (fig. 20), presentando la ventaja - de, en caso necesario aumentar su longitud para cuando el - rendimiento disminuya, ya que los limos arrastrados por el agua van obstruyendo los orificios.

Puede decirse que el buen éxito en la construcción de una galería filtrante depende de los siguientes factores:

- a.- Localización. Debe hacerse a una distancia tal que el agua, al penetrar en ella haya sufrido una filtración adecuada.
- b.- Naturaleza del lecho del río. Las construídas cerca de ríos con fondo arenoso funcionarán correctamente, no -

siendo así cuando el río tiene fondo cenagoso, ya que se obstruyen frecuentemente.

En general, este tipo de captación es de conservación y explotación costosa, ya que cuando se obstruyen no es fácil limpiarlas, y en caso de avería, pueden llegar a suspender por completo el suministro y la reparación es complicada y costosa, pudiendo llegar a ser hasta una reconstrucción total de la instalación.

5.3.- POZOS POCO PROFUNDOS.

Reciben este nombre aquellos cuya profundidad no es mayor de 30 metros, su uso en suministros públicos presenta algunos inconvenientes:

- a.- Cuando el pozo es perforado cerca del mar pueden presentarse filtraciones de agua salada, a menos que el mismo pozo esté cuidadosamente construido.
- b.- El nivel piezométrico de la capa de agua que perfora fluctúa con facilidad, motivo por el cual su rendimiento es muy incierto.
- c.- Por ser aguas freáticas es probable que su calidad sea deficiente.

Este tipo de pozos presenta una gran variedad de subtipos entre los cuales, podemos enunciar los siguientes:

5.3.1.- POZOS EXCAVADOS. Su diámetro debe ser mayor de 60 centímetros; su profundidad generalmente no es mayor de 15

metros ; su excavación puede realizarse a pico y pala, ó bién con la ayuda de máquinas excavadoras, debe construirse un revestimiento que puede ser de concreto ó bién de ladrillo, debiendo ser impermeable y llegar cuando menos a 3 metros bajo la superficie. El pozo puede llegar ó nó, hasta la capa impermeable del terreno. El brocal para evitar contaminaciones debe estar cubierto, y la extracción del agua realizarse por medio de bomba. En ocasiones puede construirse con tubos de barro vitrificado de gran diámetro, dejando en algunos casos entre el tubo y la excavación un espacio que se llena con grava gruesa, arena y concreto ó arcilla (figs. 21 y 22).

Este tipo se usa generalmente en el abastecimiento de agua para pequeñas poblaciones.

5.3.2.- POZOS CLAVADOS. Consisten en un tubo de hierro galvanizado de 25 a 75 mm., de diámetro, cuyo extremo inferior se encuentra provisto de orificios ó ranuras hasta una altura de 2 metros, y que termina en una punta de acero, siendo su profundidad generalmente entre 6 y 20 metros. Este tipo de pozo recibe el nombre de Abisinio ó Norton, su hincado se realiza con martinete ó con martillos de cabeza ancha, conservando siempre la verticalidad (fig. 23).

El empleo de estos pozos está indicado en: instalaciones domésticas, militares, experimentales ó de caracter

provisinal, en terrenos que no estén muy consolidados, pudiendo dar agua inmediatamente si alcanzan una capa de aguas ascendentes, en caso contrario se les instale una bomba.

5.3.3.- POZOS TALADRADOS. Se construyen en terrenos que no sean muy compactos, con un diámetro de 2.5 a 90 centímetros. El perforado puede hacerse con barrenas (fig. 24), que se suben a la superficie para limpiarlas cuando están colmadas, pudiéndose accionar mecánicamente. El revestimiento del pozo se coloca cuando la barrena alcanza las arenas acuíferas. Cuando se perforan en material arenoso, debe verterse arcilla en el hoyo para hacer tenaz la arena.

5.4.- POZOS PROFUNDOS.

Los pozos profundos tienen la ventaja de perforar capas acuíferas profundas y extensas, cuyo origen se encuentra a muchos kilómetros, circunstancia que evita rápidas fluctuaciones en el nivel de la superficie hidrostática, dando como resultado un rendimiento del pozo uniforme y considerable. Presenta como inconvenientes, un elevado costo y el hecho de que el largo recorrido subterráneo del agua, puede dar lugar a que lleve en solución una crecida proporción de materias minerales, cuyas desventajas quedaron descritas en el capítulo correspondiente. Generalmente el agua profunda es adecuada para obtener una buena calidad sa-

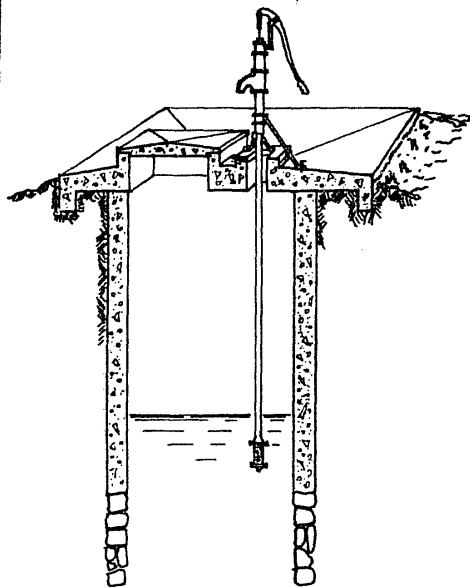


FIG. 21.— Pozo excavado.

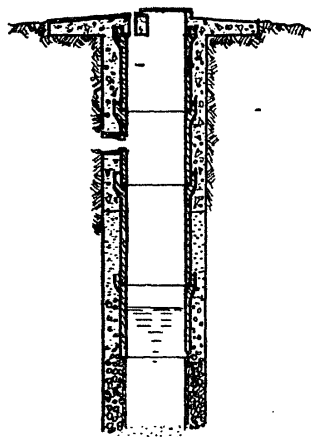


FIG. 22.— Pozo excavado.

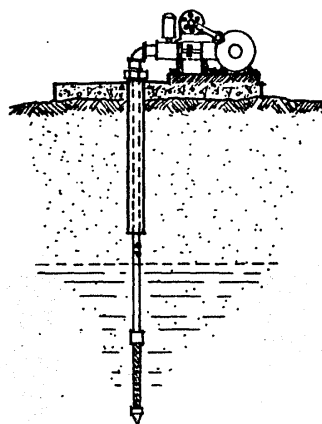


FIG. 23.— Pozo clavado.

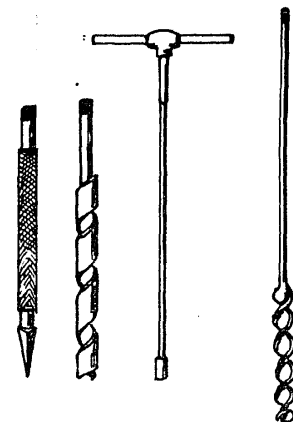


FIG. 24.— Taladros y barrenas para perforar pozos.

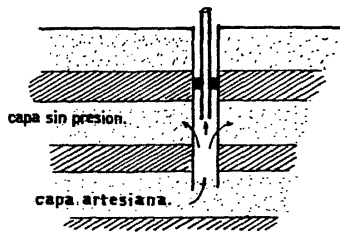


FIG. 25.— Tapones de arcilla.

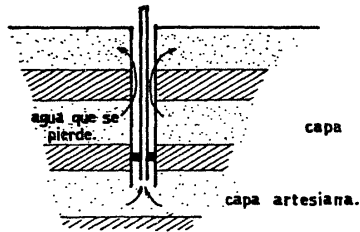


FIG. 26.— Tapones de arcilla.

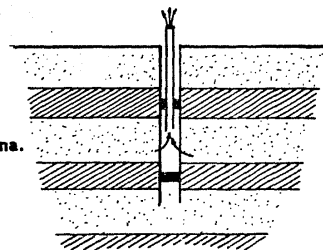


FIG. 27.— Tapones correctamente colocados.

nitaria, a menos que esté contaminada por infiltraciones en el manto acuífero, por cavernas ó fisuras en las rocas subyacentes; estos factores hacen que las ciudades que consumen aguas subterráneas, generalmente se sirvan de pozos profundos.

En la construcción de estos pozos, es probable que antes de llegar a la capa profunda que se quiere captar, se corten otras, empezando con la freática, entonces es preciso evitar que el agua de estas capas penetre en el pozo, cosa que se puede lograr poniendo tapones de arcilla entre el tubo y los estratos impermeables. Estos tapones, también pueden hacerse de cemento, debiendo tener cuidado en su colocación con respecto a las capas que atraviesa el pozo, - pues, puede ocurrir que el agua se pase a una capa sin presión perdiéndose (fig. 25), ó bien, que se pierda la utilización de un acuífero, cuya agua no habría inconveniente en sumar a la de la que se desea captar (fig. 26).

En la figura 27, podemos apreciar la correcta colocación de los tapones de arcilla para el aprovechamiento de una capa artesiana.

5.4.1.- PERFORACION DE POZOS. La perforación de pozos profundos puede hacerse por diferentes métodos, dependiendo de la naturaleza del terreno y de la economía del lugar. A continuación describiremos algunos de los más importantes:

5.4.2.- METODO NORMAL. Este puede utilizarse en cualquier terreno para profundidades hasta de 1,500 metros, y diámetros de 10 a 30 cm. Requiere la colocación de una ca bria sobre el pozo, con objeto de poder subir y bajar la ca ja y las cuerdas de las herramientas. La perforación se ha ce con un taladro suspendido por una cuerda atada a una vi ga móvil. El taladro golpea el fondo del orificio al subir y bajar la vi ga móvil, al soltar la cuerda se produce un re bote del taladro, lo que evita atascamientos en el orificio. Cuando sea necesario, se añade un peso a la cuerda que sos tiene la herramienta por medio de una barra de acero a mane ra de plomada; cuando prosigue la perforación, el cable se alarga dando de vez en cuando unas pocas vueltas al torni llo de ajuste ó tensor. Los pozos se excavan primero hasta 30 metros, con trépanos de escoplo, procedimiento que es ne cesario para que la cuerda sea suficientemente larga para per mitir el uso de la vi ga móvil. Mientras se excava, los golpes del taladro se producen suspendiendo la herramienta del remate de la cabria y haciendo que baje y suba alterna tivamente, cayendo libremente. Una vez que el torni llo de ajuste llega al límite de un recorrido, se retira la herra mienta, y el material abandonado en el orificio se vacía por medio de una cuchara para arena, la cual al entrar en el pozo se llena con los escombros, pero la válvula se cierra cuando se eleva para vaciarla. Después del vaciado, puede colocarse un nuevo taladro afilado, se alarga cuerda

y se resmuda la perforación.

Cuando se encuentra terreno excavable, es usual hacer bajar el tubo a medida que avanza la perforación. Se atornilla, ó se ajusta, una zapata de acero al extremo inferior del tubo, de manera que pueda llevarse a cabo el avance sin dañarlo. Se coloca una guía en el extremo superior del tubo para evitar desperfectos en aquel punto. (Figs. 28 y 29).

Para la construcción de pozos hasta de 450 metros de profundidad se emplean equipos portátiles de perforación montados sobre ruedas, equipados con motores de explosión.

A este método se le han hecho algunas modificaciones, como por ejemplo el método de varilla-herramienta, que emplea varillas en lugar de cuerdas o cable. También el método de la varilla hueca ó "Self-cleaning", que emplea varillas huecas de acero através de las cuales el material triturado, mezclado con agua, puede elevarse a la superficie.
(Fig. 29)

5.4.3.- METODO CALIFORNIA O DE TUBOS HINCADOS. Su nombre se debe a que fué usado por primera vez en California, y es muy eficaz para la perforación de pozos en terrenos formados por depósitos aluviales. (Fig. 30).

Consiste en introducir en el terreno, por medio de un gato hidráulico, un tubo de lámina de acero de número 10 ó 14, con una longitud de 60 a 120 cm. El entubado se com

METODO NORMAL.

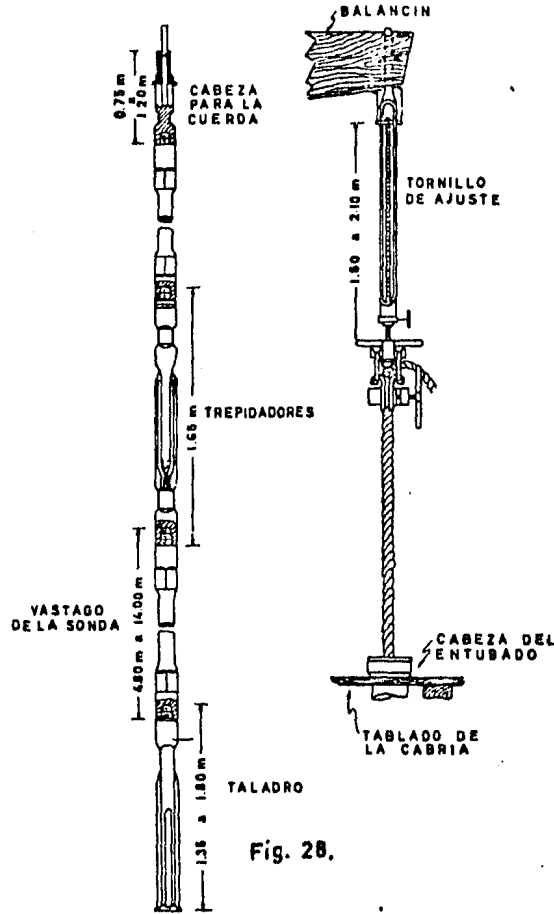


Fig. 28.

METODO DE LA VARILLA HUECA.

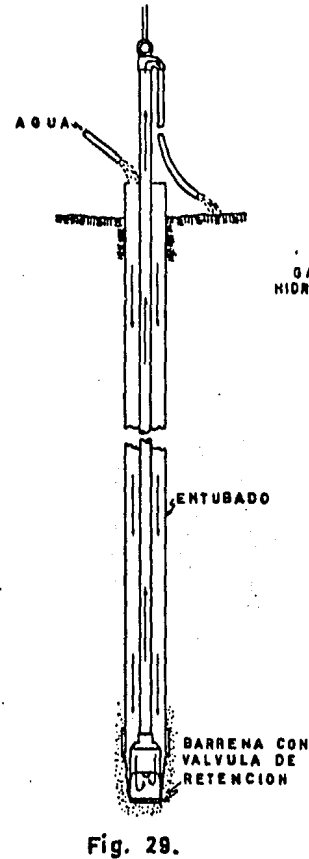


Fig. 29.

METODO CALIFORNIA.

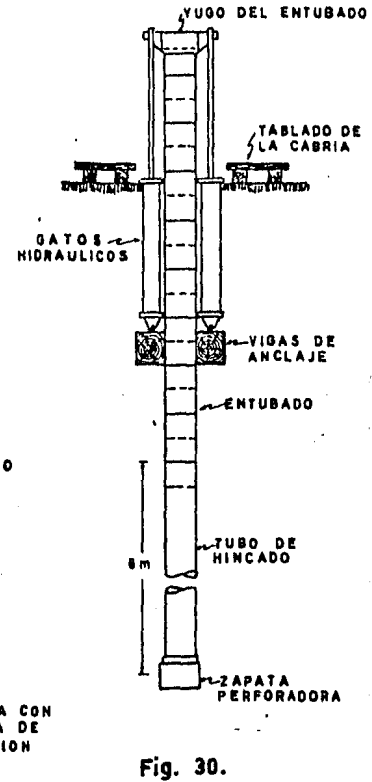


Fig. 30.

pone de dos piezas de diferente diámetro, de tal modo que una ajuste exactamente dentro de la otra, las juntas exteriores se hacen en el punto medio de las interiores. Al realizar la perforación, la primera pieza del entubado en su parte inferior, es un tubo de hincado con zapata perforada.

Mientras progresa el hundimiento, el entubado se mantiene recto ó hacia adelante de la excavación, extrayéndose el material de su interior por medio de una cuchara para arena. Cuando se encuentran guijarros, se rompen con un taladro ó se trabajan por un lado. Cuando se ha alcanzado la profundidad requerida, se baja una herramienta que corta las hendiduras verticales dentro del tubo de revestimiento en la zona escogida de capas. Los pozos de más de 75 cm. de diámetro se construyen con este método.

5.4.4.- METODO ROTATORIO. Con excepción del método de California éste, ha desplazado a los demás métodos en terrenos no consolidados de arena y arcilla. Requiere también de una cabria, pero las herramientas y maquinaria empleadas son diferentes. La perforación se consigue haciendo girar el tubo exterior que se equipa con una zapata cortante en su extremo inferior. El agua se introduce con bomba en el pozo y se eleva entre la pared del orificio y el tubo, arastrando el material desprendido; el agua inyectada, se utiliza una y otra vez, sedimentandola en un depósito.

En terrenos más sólidos se sigue un procedimiento distinto: se hace girar en el pozo una sonda en cola de Milano ó con corona de diamantes, que corta y desprende el mate---rial produciendo un agujero del diámetro requerido. Se introduce agua ó una mezcla de agua y barro, llamada lodo de perforar, a través de la cavidad del vástago del taladro, y esta junto con el material desprendido, se impelen hacia a---rriba, sellando los poros de la pared del pozo. El barro -se conduce a un depósito, en el que se sedimentan las partí---culas más pesadas, mientras que el líquido se envía nueva---mente al pozo para volver a ser utilizado. El entubado se hunde como en el procedimiento de excavación y como el lodo de perforar dará bastante estabilidad a las paredes del ori---ficio, este puede completarse antes de colocar el revesti---miento.

Con este método se han logrado perforar pozos de 25 a 150 cm. de diámetro y ha sido posible alcanzar profundi---dades hasta de 900 metros, sin necesidad de reducir el -diámetro. (Fig. 31)

5.4.5.- METODO DE INYECCION. Viene a ser una modificación del método normal, que en lugar de cuerda para suspender el taladro se utilizan varillas huecas ó tubos, a través de -los cuales se envía agua a presión, saliendo esta por una -boquilla ó un taladro adaptados en el extremo inferior; el agua escapa a través del taladro, que constantemente se ha-

ce subir, bajar y girar, removiendo los materiales del agujero y arrastrando los más finos fuera de él. El tubo baja por su propio peso ó por percusión, en caso de ser necesario, y puede acompañar la excavación, ó, en terrenos arcillosos y otros de fina textura puede colocarse después de que el pozo ha alcanzado su total profundidad. (Fig. 32)

5.4.6.- **SONDAS CON CORONA.**- Se utilizan en ocasiones, para perforar terrenos compactos. Las coronas están constituidas por un anillo de diamantes ó dientes de acero. El anillo se enlaza a una varilla tubular y se le somete a un movimiento de rotación, utilizandose agua para eliminar los detritus. Cuando la corona avanza se va introduciendo un testigo por dentro del anillo que, de tiempo en tiempo, debe romperse y extraerse. El testigo tiene una gran utilidad para proporcionar muestras representativas de los materiales que se encuentran durante la perforación.

5.4.7.- **FILTROS DE PIE.** En terrenos nó consolidados, la porción del entubado situada en una ó más capas acuíferas debe ser reemplazada por algún tipo de filtro ó colador con el objeto de permitir que el agua entre, pero nó la arena ó gravilla.

El tamaño de los agujeros dependerá de las características del material encontrado, variando en la práctica la anchura exterior de 0.1 mm., para arriba. Las aberturas -

METODO ROTATORIO.

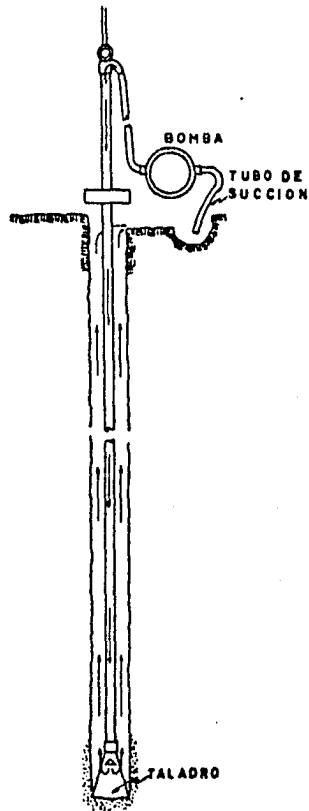


Fig. 31.

METODO DE INYECCION.

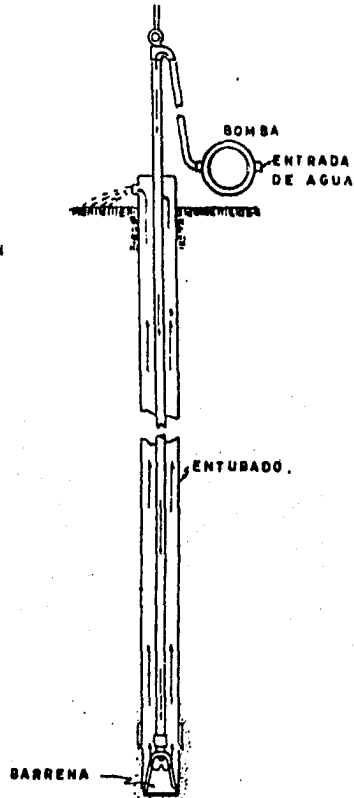


Fig. 32.

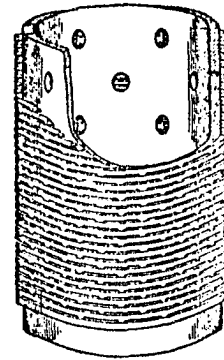


Fig. 33.

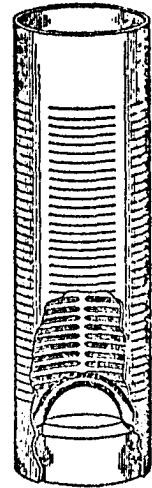


Fig. 34.

FILTROS METÁLICOS PARA POZO.

deben siempre ensancharse hacia el interior para evitar que las partículas finas se aglomeren en ellas. En gravilla gruesa, bastará hacer en el tubo aberturas grandes. Sin embargo, usualmente, son necesarios coladores mejor elaborados, pudiendose encontrar en el comercio una gran variedad de diseños. (Figs. 33 y 34)

La superficie neta total de los orificios del colador debe ser tal, que la velocidad de entrada del agua no exceda de 50 ó 75 mm/seg.; esta precaución tenderá a impedir la obstrucción del colador por la arena que fuese arrastrada a mayor velocidad. Actualmente, se tiende a disponer orificios de reja de un tamaño tal que un 33% del material sea de mayor dimensión, salvo en el caso de que su tamaño sea muy uniforme.

5.4.8.- LIMPIEZA DE POZOS. La limpieza de un pozo tiene por objeto eliminar la arena más fina que los orificios del colador en las inmediaciones de este último, y con ello, reducir el rozamiento en la capa acuífera e incrementar el rendimiento.

Puede lograrse, invirtiendo la corriente, por agitación ó ambas cosas a la vez. La inversión de la corriente se consigue, obligando al agua de fuera del pozo, a pasar a través del colador a la capa acuífera, utilizando, comunmente aire a presión. Esto agita el terreno en la proximidad

de la reja y promueve movimientos de arena fina en el pozo que, posteriormente, se separa achicandola con bombas. La agitación consiste en bajar y subir una plomada en el pozo, lo que también agita la arena y desaloja el material fino - que más tarde se extrae del pozo; debe hacerse con cuidado ya que se puede estropear el pozo si se fuerza el agua exterior entre el tubo y el taladro. Una rotura puede permitir que el agua escape de la capa acuífera hacia un estrato más alto.

En pozos relativamente poco profundos perforados en arena fina, se han reducido los peligros de obstrucción, incrementando los rendimientos, rodeando el colador de una masa de gravilla, pues con ello se aumenta el diámetro del pozo y se disminuye la velocidad del agua cuando abandona la capa acuífera. Este tipo recibe el nombre de, " pozos de gravilla consolidada".

La consolidación de la gravilla exige un pozo que sea de doble tubo. Se dispone un tubo exterior largo prolongado hasta la arena saturada, un tubo interior que llega hasta el fondo del pozo sirve para su descarga y tiene un colador de aberturas grandes en el extremo inferior.

Al iniciar la explotación del pozo se produce una fuerte aspiración que arrastra hacia su interior la arena fina, expulsandola junto con el agua extraida, dando origen

a la formación de una cavidad junto al colador. La gravilla fina se introduce en dicha cavidad por entre los tubos interior y exterior. La aspiración debe continuarse hasta que la cavidad ya no aumenta de tamaño, lo que indica que la velocidad del agua no es lo bastante grande para desalojar más arena.

Otro método consiste en agrandar la cavidad por medio de una draga, y llenarla de gravilla antes de iniciar la explotación del pozo.

Un sistema que cada día tiene más adeptos, aún cuando su realización requiere de equipos especiales y la colaboración de empresas dedicadas a este tipo de trabajos, es el de la "sementación" de los pozos. Consiste en inyectar una mezcla, constituida a base de cemento rápido, entre la parte alta del tubo exterior de revestimiento y las paredes del pozo; presenta la ventaja de evitar que penetren en el interior del pozo las aguas nocivas, superficiales, y, así mismo preserva a los tubos de la corrosión originada por causas exteriores, alargando su vida útil.

5.5.- CAJAS DE CAPTACION.

Consisten en una caja construida de concreto ó mampostería que rodee el punto donde brota el agua del manantial,

debiendo reunir las siguientes condiciones: (Fig. 35)

- a.- Sobre la obra debe colocarse una capa de tierra con espesor mínimo de 50 cm., para evitar variaciones en la temperatura del agua.
- b.- Debe preverse una ventilación adecuada.
- c.- Protección para evitar la entrada de aguas superficiales e insectos.
- d.- Estar construida de manera que no altere ni la calidad ni el caudal del manantial.
- e.- Disponer de un aliviadero para dar salida a los caudales sin contracargar el manantial.
- f.- Si el agua lleva arena en suspensión, debe tener un dispositivo para que esta se asiente.

En ocasiones, como ya se ha visto el afloramiento no es en un punto, sino a lo largo de una línea, en cuyo caso pueden captarse por medio de trincheras, ó bién, galerías - que recojan el agua y la conduzcan hasta la caja.

En la elección de un manantial como fuente de abastecimiento, tienen gran importancia los estudios geológicos, ya que con su ayuda se puede determinar el verdadero origen del mismo, pués en ocasiones, la estratigrafía del terreno, las fallas de la corteza, ó bién, derrumbes de material permeable, pueden dar origen a desviaciones en el afloramiento del agua.

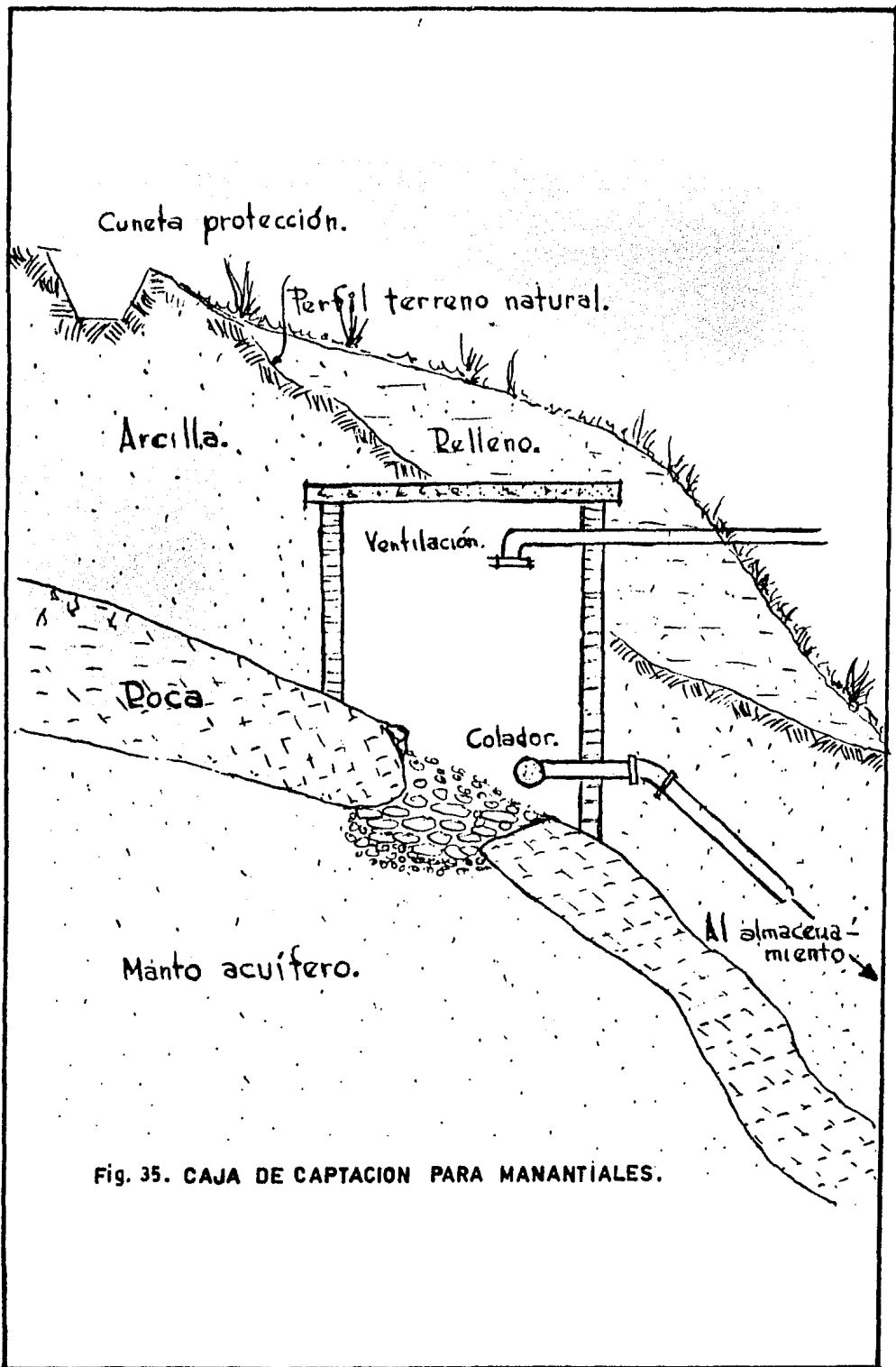


Fig. 35. CAJA DE CAPTACION PARA MANANTIALES.

6.- CONCLUSIONES.

El presente estudio nos permite concluir, que de las posibles fuentes de provisión para abastecimiento de agua potable, para una población, la más conveniente por sus características, tanto de calidad como por la construcción de las obras necesarias para su captación son las aguas subterráneas.

En el capítulo correspondiente a calidad, vimos que al realizarse el ciclo hidrológico, parte del agua de lluvia que cae, se infiltra en el terreno; en su recorrido interior a través de los distintos estratos se verifica un proceso de filtrado y depuración, dejando una buena cantidad de polvo, bacterias, materias orgánicas e inorgánicas arrastradas en su caída ó adquiridas en el recorrido antes de penetrar en el suelo, llegando a los estratos más profundos cada vez con mayor claridad; al emerger estas aguas, las podemos encontrar casi en su calidad potable ó que fácilmente se corrigen sus defectos.

Así mismo, en lo referente a estimación de volúmenes vimos que, los obtenidos en pozos profundos y manantiales pueden ser de gran volumen y continuidad, pudiendo en caso necesario, aumentarlos mediante la intercomunicación de man

tos acuíferos.

En lo referente a obras de captación, sus costos no serán tan elevados, comparando los de construcción de pozos ya sea poco profundos ó profundos ó bién cajas de captación con, por ejemplo, la construcción de una presa.

Finalmente, podemos decir que al hacer una evaluación para decidir la fuente de provisión a utilizar en un abastecimiento de agua potable, es posible que la más adecuada, - por sus costos de captación, operación y mantenimiento, sea la de las aguas subterráneas profundas, obteniendo de ella un importante volumen si cuidamos de no sobreexplotar el acuífero manteniendo el equilibrio entre la infiltración y la extracción.