

4.30.T.

EXPLORACIÓN EN DEPÓSITOS DE ORIGEN FLUVIAL O ALUVIAL

1. INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES
2. POROSIDAD
3. PERMEABILIDAD
4. CALIDAD QUÍMICA
5. CALIDAD BACTERIOLÓGICA
6. TIPOS DE CAPTACIONES DE AGUA
7. INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN ESTOS MATERIALES
 - 7.1. SISTEMAS O TÉCNICAS PARA LA DELIMITACIÓN DE LOS BORDES DEL ACUÍFERO
 - 7.2. SISTEMAS O TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN EN PROFUNDIDAD DEL ACUÍFERO

EXPLORACIÓN EN DEPÓSITOS DE ORIGEN FLUVIAL O ALUVIAL

1. INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los acuíferos en materiales fluviales (o aluviales, y por extensión, en materiales sueltos, conectados o en relación con cursos de agua superficiales), constituyen el ejemplo típico de formaciones permeables por porosidad intergranular o primaria, en contraposición a los acuíferos permeables por fisuración, diaclasación o alteración.

Su gran interés y amplia utilización en muchos países vienen dados por las siguientes razones o motivos:

Facilidad de excavación o de perforación (lo que significa captaciones relativamente económicas)

Niveles piezométricos cercanos a la superficie del terreno (es decir, pequeñas alturas de elevación, o sea bombeos baratos)

Recarga aceptable o muy buena (que significa buen mantenimiento de los caudales en el tiempo)

Buena porosidad eficaz (lo que representa volúmenes de regulación altos, o gran capacidad de embalse, es decir, notables recursos hidráulicos frente a sequías prolongadas)

Buena permeabilidad (o sea, buenos caudales de explotación o permanentes, no solamente caudales instantáneos)

Además, suelen originar zonas llanas, cercanas a poblaciones grandes y/o zonas agrícolas o industriales importantes, con fuertes demandas de agua, lo que origina, por el contrario y a la larga, problemas de contaminación o polución cada vez más graves:

Son buenos ejemplos los siguientes:

El llamado fértil creciente (Mesopotamia y el valle del Nilo)

El valle del Jordán

El valle central de California (una de las zonas más desarrolladas de EUA, gracias al agua subterránea)

Las grandes zonas deltaicas cercanas a la India y el sudeste asiático (muchas con grandes inundaciones y graves problemas de contaminación química y bacteriológica).

En España, tenemos el Baix Llobregat, el Baix Ebre, el Baix Ter, toda la huerta de Valencia, la zona del Guadalquivir, el aluvial del Ebro, las zonas bajas de Castelló de la Plana, etc.

Es el tipo de acuíferos que permiten un mayor lucimiento del profesional de las aguas subterráneas, si se ha estudiado bien y a fondo el problema hidrogeológico. Aún así, en algunos casos se dan problemas graves por falta de conocimiento muy detallados del subsuelo, con situaciones hidrológicas reales difícilmente previsibles.

DEPÓSITOS FLUVIALES O ALUVIALES

En el sentido más amplio del concepto, es todo el conjunto de los acarrees o materiales acumulados y sedimentados gracias a la acción exógena de las corrientes de agua, mayormente superficiales (en el caso de los materiales aluviales *sensu strictu*), aunque el agente exógeno también pueden ser los glaciares, el viento, el mar (éstos últimos mucho menos importantes), etc.

En nuestro caso, los aluviones o depósitos fluviales o relacionados directamente con los cursos de agua o ríos son, con mucho, los más importantes, sobre todo si están conectados a los ríos que a su vez los han originado.

En este último caso, la predominancia de uno u otro (o más de uno) de los agentes geológicos modificadores del relieve terrestre (erosión, transporte, sedimentación), es función del caudal del río o curso de agua en cada lugar y momento (en realidad, de la velocidad del agua y del perfil longitudinal del río considerado).

Este perfil longitudinal (altura topográfica vs distancia al origen o a su desembocadura), no es constante, ya que si bien el régimen natural tiende siempre a deprimirlo o rebajarlo lentamente y en sentido vertical o longitudinal, las acciones del hombre pueden modificarlo substancialmente, ya sea en zonas puntuales (presas y azudes de derivación), o en amplias zonas (extracciones de áridos -que a veces pueden ser muy importantes-, urbanizaciones, ocupación de los cauces de los ríos, polígonos industriales, construcción de puertos deportivos en las zonas distales o de desembocadura, creación de marinas litorales, etc.).

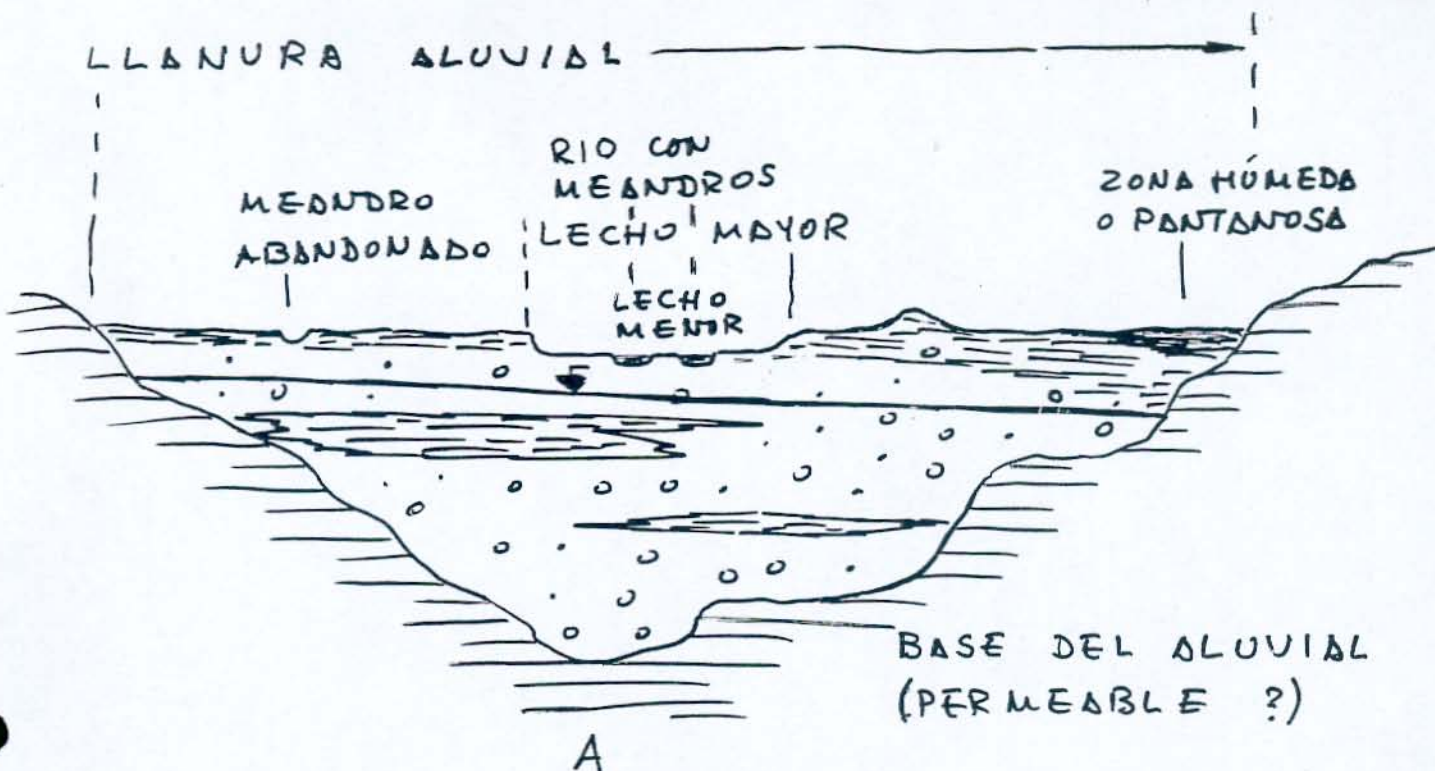


Zona aluvial del Ebro, desde un pequeño cerro en el límite impermeable del acuífero

En general, se tienen perfiles verticales similares al de la figura adjunta.

Por lo que se refiere a sus dimensiones, son muy variables, tanto en espesor vertical (60 –70 m), como en anchura (de hasta varias decenas de kilómetros de ancho en la zona distal o de la desembocadura en el mar).

Fundamentalmente están constituidos por una mezcla o alternancia estratificada de arenas, gravas, limos y arcillas, muy frecuentemente en forma de lentejones o intercalaciones mutuas, generalmente dispuestos en sentido horizontal o subhorizontal.



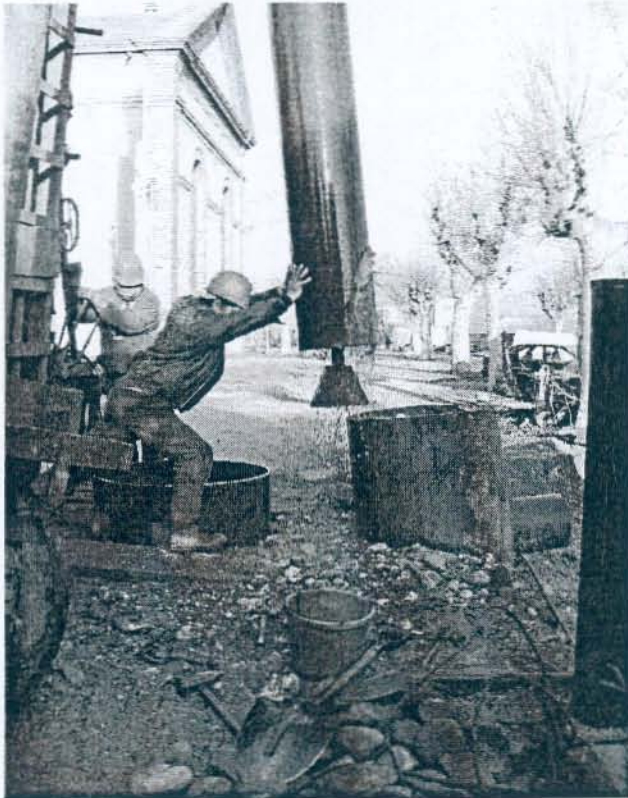
NIVEL FREÁTICO (conectado) o no, río efluente
 desollado }
 o influente

~~LENTAJONES~~ LENTEJONES. distribución irregular

~~LIMOS, ARCILLAS~~ LIMOS, ARCILLAS

A Surco de erosión (no tiene porque coincidir
 con el trazado del río)

PERFIL VERTICAL ESQUEMATICO O TEORICO DE UN
 ACUIFERO ALUVIAL (sin escalas)



Extracción de los materiales sueltos durante la construcción de un pozo a hinca directa, sin percusión propiamente dicha, en el delta del Besòs, Barcelona, enero 2005



Substrato aflorante en el lecho del río Matarranya, en Fabara (Teruel), con muy escaso o nulo espesor del aluvial

Ahora bien, debe tenerse presente que la existencia de un río o curso fluvial no presupone siempre o obligatoriamente la existencia de aluviones, ni tampoco, aún en el caso de existir éstos, la presencia de una zona más profunda o surco de erosión principal, que significaría, en estos casos, un mayor espesor de los aluviones.

En toda la cuenca mediterránea, suele ser muy común la existencia de sistemas de terrazas escalonadas, situadas a diferentes alturas topográficas sobre el río, que corresponderían a una alternancia en las fases de erosión y sedimentación motivados por importantes cambios climáticos en los períodos geológicos más recientes (glaciaciones, plioceno tardío-cuaternario),

y que pueden estar en relación con las variaciones del nivel del mar, sobretodo en los mares cerrados o casi cerrados, como es el Mediterráneo.

Estas terrazas son fácilmente detectables en la fotografía aérea y en los mapas topográficos detallados (escala mínima 1:5.000 y actualizados), y pueden tener un notable interés hidrológico, y merecer un estudio a fondo sobre su estructura o posición altimétrica (ver los esquemas adjuntos).

La consulta e interpretación adecuada de ambos tipos de documentos es muy importante, ya que permite apreciar todos los aspectos geomorfológicos de los cauces fluviales: meandros (abiertos o cerrados), cauces o lechos de crecida, brazos divagantes, presencia de terrazas (y su altura sobre el río), presencia de afloramientos de la base impermeable del acuífero, las zonas inundables, etc.

Además, y a la vez, se podrá observar la existencia de captaciones de agua, lagunas, estanques, azudes, canales de riego o drenaje, etc.

Por lo que se refiere a los depósitos distales fluviodeltaicos (o deltas), se suelen encontrar estructuras tricapa como la del Llobregat -ver la figura adjunta-.

Debe recordarse que estos deltas, además de albergar acuíferos muy interesantes, desde el punto de vista técnico o hidrogeológico, suelen ser zonas de graves problemas hidrológicos (explotación de recursos hídricos o de materiales sólidos -áridos para la construcción-, drenaje muy difícil, problemas de saneamiento, zonas insalubres (antiguamente, existía paludismo o malaria en el delta del Ebro y en el del Llobregat), fácil penetración del agua de mar en épocas de temporal o de sequía (caso del cauce del río Ebro), contaminación, subsidencias o hundimientos progresivos, inundaciones frecuentes, temporales de mar, etc., etc.).

Por otro lado, suelen albergar o constituir zonas de notable interés ecológico o medioambiental (humedales, áreas de nidificación de aves, etc.), a menudo con intereses opuestos a los intereses públicos o privados.

CLASIFICACIÓN

Una clasificación más detallada de estos materiales puede ser, con un criterio morfológico, genético y/o del ambiente sedimentario que los formó:

Formaciones o depósitos fluviales de carácter fundamentalmente dinámico (por motivos hidrológicos estrictamente naturales). Los cambios de origen antrópico (desvíos, canalizaciones o encauzamientos de ríos, extracciones de áridos, etc.), deben catalogarse o clasificarse como de otro origen.

- El lecho mayor de los ríos (avenidas ordinarias)
- El lecho menor o ordinario (a veces, llamado canal de estiaje)
- Los brazos de crecida
- Los brazos o cauces o meandros abandonados
- La llanura aluvial o de inundación (avenidas extraordinarias)
- Los conos de deyección o abanicos aluviales, ya sean anastomosados, yuxtapuestos, interdigitados, solapados, etc., o no.

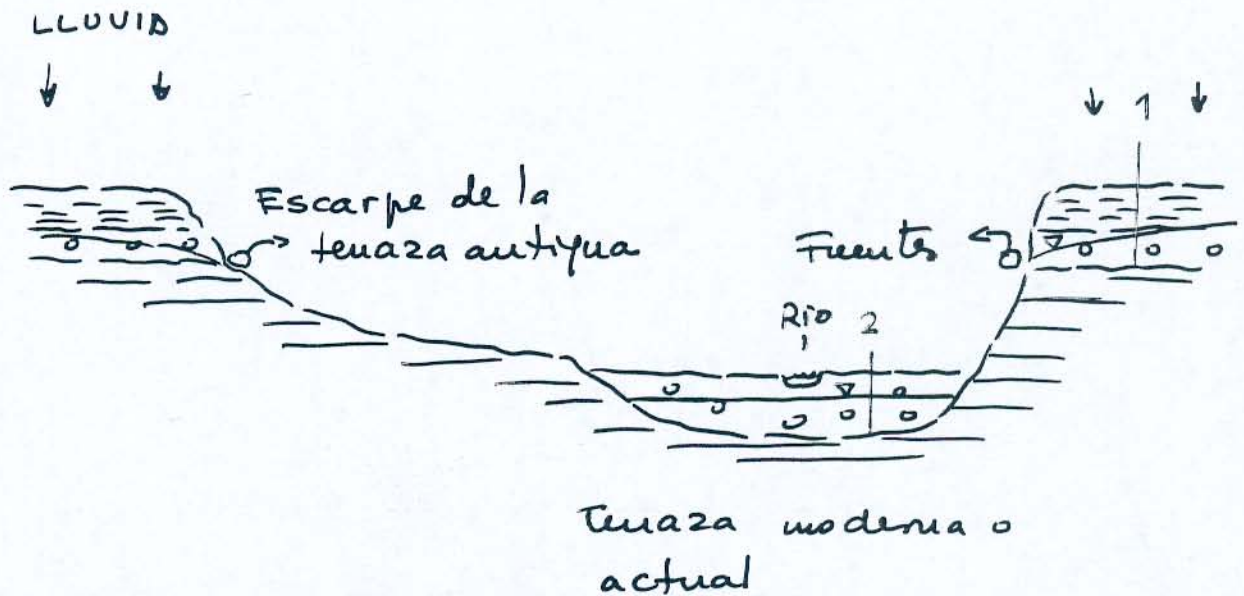
Formaciones o depósitos fluviales de carácter fundamentalmente estático (o casi siempre):

- Las terrazas fluviales (por lo menos, las colgadas o situadas a alturas importantes sobre el cauce actual)

Formaciones o depósitos litorales con carácter fundamentalmente dinámico:

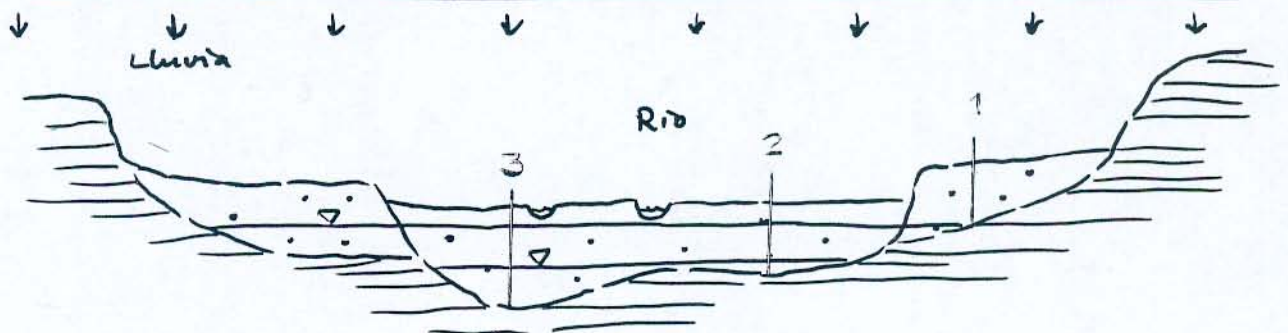
- Las playas, incluyendo también en este caso las levantadas

TERRAZAS ENCOJADAS O AISLADAS



Caudal del pozo 1 bajando rápidamente
Caudal del pozo 2 manteniéndose

TERRAZAS SEMIENCAJADAS O SEMIAISLADAS

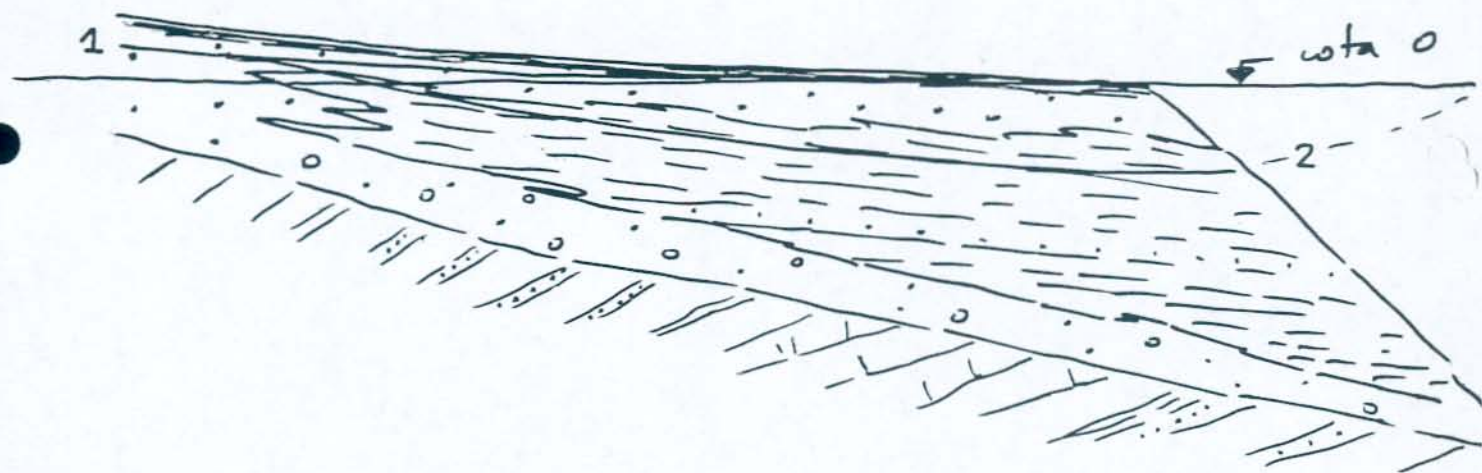



Estado del acuífero aluvial saturado = función de la posición vertical del nivel freático, es decir, variable en el tiempo, y por supuesto, en el espacio.


- 1 POZO SECO (calpans bajos, con nivel)
- 2 POZO DE PEQUEÑO CAUDAL (en aguas bajas, medio en aguas altas)
- 3 POZO DE CAUDAL MEDIO (en aguas bajas, alto en aguas altas)


(sin escalas)
ZAS FLUVIALES


ESTRUCTURA HIDROGEOLOGICA DE ALGUNOS DELTAS CATALANES (escalas convencionales)



- 

Tierra vegetal y arenas limpias. Niveles de inundación actual
 1 nivel piezométrico del acuífero libre, en relación con el río, canales de riego y drenajes, alcantarillas. Muy contaminado.
- 

Arenas finas limosas, negras, orgánicas, ambiente reductor (CH_4). Acuífero importante, con aguas confinadas salobres. Transgresión flandriaca de una terraza sumergida
- 

gravas y arenas limpias. Acuífero profundo cautivo. Muy explotado. Intrusión marina
 2 nivel piezométrico actual, a principios de siglo era surgente o artésiano.
- 

Base no siempre impermeable, calizas fósiles y arenas pliocenas (en el caso del Ebro) etc.

Las dunas marinas y las barras litorales, de menor entidad

Los deltas, de muy distintos tipos, con un dinamismo hidrológico muy acusado (de orígenes hidrológico o antrópico, o ambos a la vez) y con interés ecológico o medioambiental en muchos casos, como zonas húmedas o humedales.

Los depósitos eólicos (dunas terrestres, mantos de arenas, hamadas, barjanas, sebkhas, etc.) y los de origen glaciario (depósitos lacustres, morrenas, tills, eskers, kames, sandurs, etc.), son ya mucho más específicos y poseen menor entidad en el campo de la hidrogeología.

2. POROSIDAD

Los valores dados en la clase 2.4.T. corresponden a materiales de este tipo

En concreto, la porosidad eficaz oscila entre valores prácticamente nulos o muy pequeños (inferiores a 0.01) (en arcillas y limos arcillosos) hasta el 30 o 40 % para los materiales más gruesos (gravas rodadas, arenas gruesas muy limpias).

Se recomienda estudiar atentamente la figura 15.6 (Custodio y Llamas, 1976, pág. 1453, y las tablas 15.2 y 15.3 (op. cit., pág. 1454 y 1455).

Si no tiene ninguna idea del valor de la misma, puede estimarse directamente o evaluarse con ayuda de las tablas citadas o en base a la utilización de valores extremos (valores mínimo y máximo), con el uso de modelos o ensayos de bombeo, etc., siempre que se conozcan el resto de los factores hidrológicos a tener en cuenta.

El uso de estos valores extremos puede ser un ejercicio hidrológico muy aconsejable a la hora de acotar cuantitativamente (suponiendo un valor máximo y un valor mínimo) determinados parámetros hidrológicos de una zona dada (por ejemplo, el volumen de agua infiltrada o bombeada en un sector, volumen de agua contenida por encima de un manantial, etc.).

Debe considerarse que el error que se comete en estas evaluaciones es mucho más pequeño que el que se puede cometer en las evaluaciones de la permeabilidad, ya que los respectivos rangos de variación o fluctuación son muy distintos: pequeño en el caso de la porosidad, muy grande en el caso de la permeabilidad.

3. PERMEABILIDAD

Es, con mucho, el parámetro hidrológico más variable: Se encuentran valores desde alguna decena de metros por día (acuíferos pobres a relativamente pobres) hasta valores de algunos miles de metros/día (acuíferos excelentes).

Por el contrario, como valores mínimos pueden adoptarse los de 0,1 a 0,001 m/día para los limos más o menos arcillosos (acuitados, acuícludos), incluso menos, en función de las características de cada lugar (materiales o formaciones prácticamente impermeables, a los efectos de captación de agua).

Se suele determinar con ensayos de bombeo controlados, o estimar sobre la base de la utilización de los caudales específicos, q , (el método más frecuente o fácil), o con los otros métodos citados en la clase 2.4.T., y siempre con una interpretación o valoración adecuada.

Caudal específico = caudal del pozo/descenso creado para la obtención del mismo

$q = (L^3/T)/L = L^2/T$, que son las dimensiones de la transmisividad, T (m²/día)

Así, ejemplo, si el caudal de un pozo es de $Q = 100 \text{ m}^3/\text{hora}$ y el descenso necesario para obtenerlo es de $s = 20 \text{ m}$, significa que el caudal específico es de

$q = Q/s = 100 \text{ m}^3/\text{h}/20 \text{ m} = 5 \text{ m}^3/\text{hora}$ y m de descenso = $5 \text{ m}^2/\text{hora}$ y $m = 5 \cdot 24 \text{ m}^2/\text{día}$, es decir $120 \text{ m}^2/\text{día}$

En realidad, no es raro encontrar caudales de explotación en régimen continuo de 100 o más litros/segundo y metro de descenso, siempre que la captación esté bien construida, con la rejilla o zona filtrante limpia y desarrollada adecuadamente, con un tipo de rejilla adecuada, no existan lentejones o intercalaciones poco permeables, los datos y condiciones del bombeo sean razonablemente buenos o fiables, un tiempo de bombeo suficientemente largo para una razonable estabilización del nivel dinámico en el pozo, etc.

En otras palabras, debe saberse diferenciar entre los valores de los parámetros hidrológicos del acuífero y los valores de éstos, pero afectados por efectos negativos derivados de las técnicas de construcción de la captación, limpieza y desarrollo de la misma, rejilla inadecuada, medidas poco fiables (de nivel del agua, tiempos de bombeo, caudales etc.), aforos mal realizados, etc., etc.

Estas observaciones deben ser siempre tenidas muy en cuenta a la hora de evaluar, de manera adecuada y fiable, los resultados cuantitativos de cualquier prueba de bombeo, o simplemente, a la hora de evaluar el valor del parámetro T.

Así, se recomienda recordar los esquemas gráficos de la clase 2.5.T. sobre las malas interpretaciones o generalizaciones de los datos procedentes de los bombeos.

Como ejemplo real de ello, en la figura adjunta se reproduce el perfil geológico de un pozo en pleno acuífero aluvial del Llobregat, que solamente proporcionó 2 litros por segundo debido a la presencia de un lentejón de materiales finos (con 3 m de espesor, entre los 20 y los 23 m de profundidad), en medio de las gravas limpias muy permeables, con unos 20 m de espesor, y situado a solamente a 40 m de otra captación del mismo tipo, que proporciona 100 o 150 litros por segundo, y ejecutada, además, por el mismo perforador muchos años atrás, con un perfil geológico totalmente fiable, y sin la presencia de la intercalación mencionada.

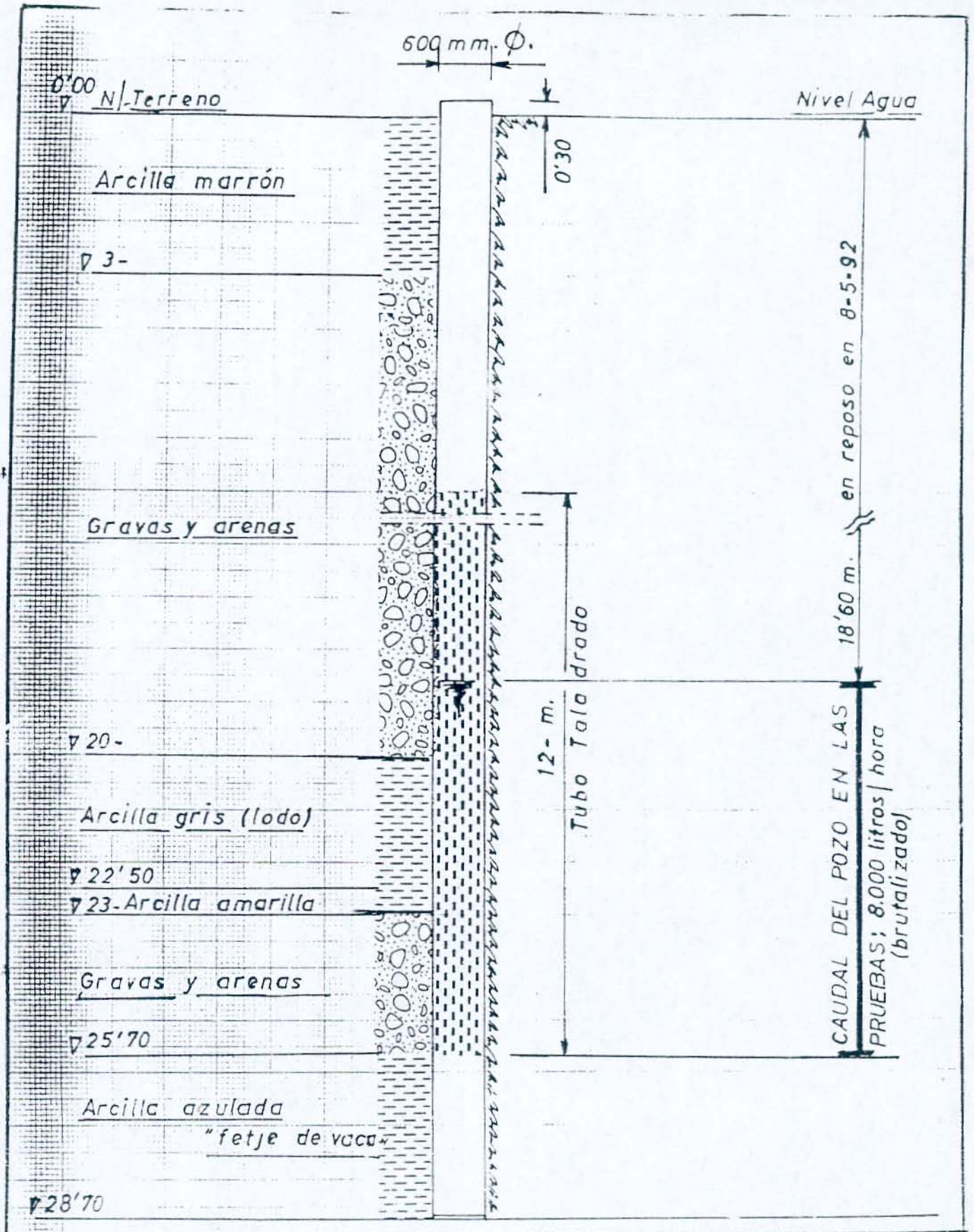
4. CALIDAD QUÍMICA

De hecho, la calidad dependerá de tres condiciones o factores principales: la climatología, la geología (o la hidrogeología) y los factores derivados de la acción del hombre, es decir, la contaminación.

Detallando un poco más, en condiciones naturales, es función del clima, del régimen hidrológico, las relaciones con el mar, de los materiales aflorantes en la cuenca vertiente del río que lo alimenta, la calidad del río que lo alimenta, etc.

Así, en estas situaciones naturales, suele ser raro encontrar una mala calidad química en estos acuíferos, salvo casos o situaciones especiales (cuenca vertiente con sales o evaporitas aflorantes o subaflorantes, por ejemplo). En este caso, la afección suele ser continua o permanente en el tiempo (aguas sulfatadas en formaciones acuíferas yesíferas, por ejemplo).

En cambio, en condiciones alteradas por el hombre (es decir, las actuales en muchos de los emplazamientos o situaciones hidrológicas), suele estar muy afectada por la contaminación antrópica, ya sea del propio acuífero o del río que lo alimenta o recarga, pudiendo ser también continuada o solamente de carácter temporal (en función de las características específicas de cada caso, como son la dilución, la evaporación, la atenuación química, la descomposición o degradación química o biológica, etc., etc.).



En general, las afecciones de tipo químico –por otro lado bastante frecuentes-, son muy difíciles de remediar y regenerar, pero con una fácil detectabilidad de ellos por el olfato, gusto, coloración, etc., y que crean afecciones muy importantes (aún en pequeñas concentraciones del contaminante), con desconocimiento del origen y las condiciones hidrológicas con que se realizó la contaminación, etc., etc.).

La presencia de cantidades elevadas de Fe^{++} y Mn^{++} disueltos (mal sabor, coloraciones en el agua), suele ser debida a la existencia de restos orgánicos acumulados en el subsuelo, dando un ambiente reductor al agua, y que puede disolver compuestos o sales de hierro y manganeso, presentes en el subsuelo, pero en forma de compuestos insolubles.

En el caso de acuíferos conectados a ríos con una cierta variabilidad física o química en el agua del mismo, normalmente la calidad del agua de los pozos cercanos al mismo suele acabar siendo del mismo tipo que la del río, lo que puede plantear problemas a los usuarios de los pozos.

Un caso diametralmente opuesto es el que se da cuando se explotan pozos construidos cerca de grandes ríos para, a la larga, aprovechar o usar el agua del río pero filtrada a su paso por el acuífero, es decir indirectamente: Así, se usa el medio poroso como sistema de filtración o depuración física del agua del río, afectada muchas veces por una turbiedad importante. Sin embargo, este sistema no obvia o elimina la contaminación de tipo químico.



Captaciones de agua subterránea de Martorell (Baix Llobregat, Barcelona), junto al río Llobregat, con problemas de hierro y manganeso (verano 2004)

Un caso especial de afección química reside en la entrada de agua de mar en los acuíferos aluviales costeros, al bombear demasiado o por encima de los recursos medios anuales, durante tiempos largos, o por el ascenso del cono salino en el caso de bombeos importantes y continuados, pero aislados en el espacio.

A veces también se dan casos de removilización de aguas salinas, de formación, atrapadas en limos y arcillas, al cambiar el régimen dinámico de la hidrología de la zona (Llobregat, Fluvià, Muga), pudiendo causar casos de salinización de origen no marino, sino causados por la removilización de depósitos salinos encerrados, atrapados o en forma disuelta en los poros de materiales poco o muy poco permeables (las formaciones geológicas conocidas como acuitardos: arcillas, limos, etc.).

Otros casos especiales se producen como consecuencia de las oscilaciones del nivel piezométrico, que pueden afectar a antiguos depósitos de residuos enterrados, en especial, en

hoyos de extracción de áridos. El conocimiento de la historia de estas situaciones puede llegar a ser incuestionable e imprescindible a la hora de programar nuevas captaciones, obras de recarga artificial, cimentaciones para obras civiles, grandes extracciones en períodos de sequía, etc.

En todos los casos, sin embargo, debe tenerse muy en cuenta que los parámetros y factores hidrológicos inherentes al emplazamiento condicionan básicamente los procesos de afección, desplazamiento, detección, atenuación física o química de los contaminantes, etc.

5. CALIDAD BACTERIOLÓGICA

Al igual que en el caso anterior, se tiene la misma situación en el caso de la calidad bacteriológica.

En estos casos, sin embargo, no debe olvidarse que, al cabo de algunas decenas de metros de recorrido por el subsuelo, los efectos de la depuración natural y filtración natural del agua, hace que vuelvan a tener una aceptable calidad bacteriológica, siempre que no se vuelva a ver afectada por alguna otra nueva causa o factor contaminante (normalmente, un nuevo vertido).

Por ello, se debe muestrear siempre con suma precaución o criterio hidrológico en estos casos, es decir, conociendo las condiciones de funcionamiento del emplazamiento, y dando a los parámetros analíticos obtenidos su valor y representatividad correspondiente (el espacio – distancia al foco de contaminación-, el tiempo –desde que tuvo lugar la afección-, el lugar – muestras superficiales, intermedias, profundas), la situación dinámica de la captación –en bombeo prolongado o no-, etc., etc.

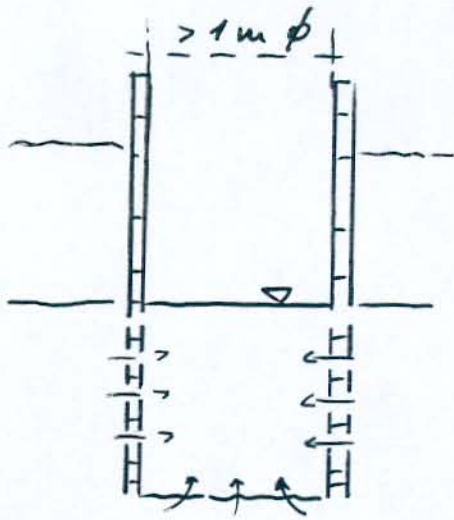
Si bien este tipo de formaciones permeables suele tener un importante poder de eliminación de elementos patógenos, en caso de contaminaciones microbiológicas persistentes, puede pensarse en la presencia de focos de contaminación próximos, o bien en captaciones mal hechas, o por lo menos, mal protegidas en su parte superior, aspecto este en el que casi nunca se piensa, a pesar de la trascendencia que posee en el correcto funcionamiento, gestión y explotación de la captación.

6. CAPTACIONES DE AGUA

En este caso, son posibles todos los tipos conocidos de captación: galerías horizontales, zanjas de drenaje o captación, pozos excavados manuales, pozos entubados de gran diámetro (hasta los 800 o 900 mm), pozos hincados de pequeño diámetro (desde los 40-50 mm hasta los 100 o 150 mm), especialmente usados en forma seriada en trabajos geotécnicos (los llamados well-points, o pozos puntuales), pozos abiertos filtrantes solamente por el fondo, pozos con colectores horizontales dispuestos radialmente, captaciones directas de manantiales o fuentes, etc. (ver el esquema de las dos figuras adjuntas).

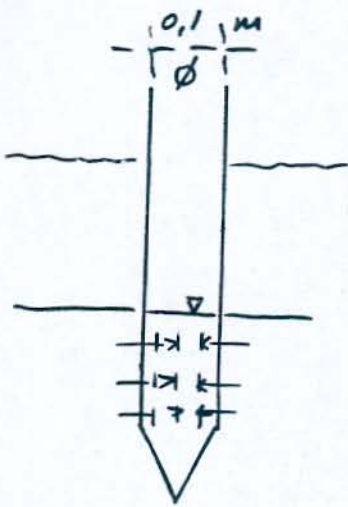
En realidad, el uso de un sistema u otro de captación depende del tipo e importancia de la demanda de agua a satisfacer, de la tecnología de construcción de pozos y de bombeo disponible, del posible abastecimiento energético, de las posibilidades de achique o agotamiento del agua del interior del pozo -si es preciso-, de las posibilidades financieras del usuario, de la situación hidrológica del emplazamiento que se considere, del conocimiento o interés hidrológico del propietario, etc., etc., condiciones todas ellas a tener en cuenta a la hora de plantear el problema hidrogeológico.

7. INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN ESTOS MATERIALES



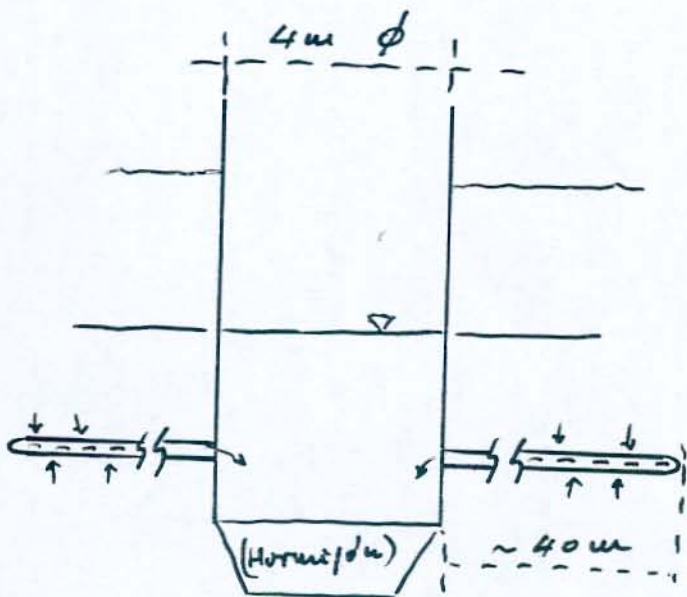
POZO ABIERTO O EXCAVADO

Gran diámetro
 Generalmente revestido de obra y poca
 profundidad (≤ 50 m)
 A veces, solo abiertos por el fondo
 de construcción antigua



POZOS HINCADOS

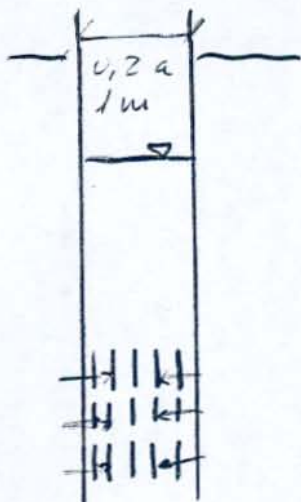
Precisan de un nivel de agua cercano a
 la superficie, para bombear por as-
 piración
 Económicos
 Rápida construcción
 Versión antigua de los modernos well-
 points, de uso generalizado en particu-
 lar en agricultura y obras civiles.
 Pequeño diámetro



POZOS CON DRENES RADIALES

gran diámetro
 Caudales muy grandes (≤ 1 m³)
 (muy caros y de construcción
 larga y compleja, pero muy
 útiles en algunas situacio-
 nes hidrogeológicas)
 Profundidad máxima, 20-40.

POZOS ENTUBADOS O TUBULARES



Modernos

Entubación con acero o PVC

Pueden alcanzar grandes profundidades (700-800, a veces 1000 m), con entubaciones telescópicas

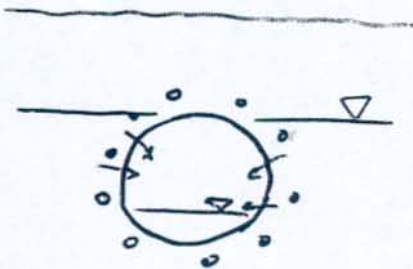
Diseño y colocación de la zona ramurada ^(desarrollada) es muy importante, así como su limpieza y problemas de atascamiento o obstrucción si están mal diseñados o construidos



MINAS O GALERIAS HORIZONTALES

De construcción muy antigua
Gran longitud (kilómetros) y en función de la permeabilidad, caudales notables (algunas decenas de litros/segundo)

Anchura del orden de 0,80 m y altura de 1,20 a 1,40 m.



DRENES O ZANJAS DE DRENADJE

Poco usados como captaciones de agua, pero muy útiles en drenajes en obras civiles.

Pequeño diámetro

Es obvio que obtener caudales de 2 a 3 l/seg en estos materiales no puede ni debe ser ningún problema, siempre que la captación se emplace y construya con un mínimo de criterio técnico o hidrológico y de sentido común (el menos común de los sentidos).

Pero obtener un caudal de 50 l/seg o más, por ejemplo, de agua limpia, sin arenas ni limos, como caudal constante (como caudal en régimen de explotación, no como caudal instantáneo durante un corto periodo de tiempo), ya puede ser más difícil o complejo.

En consecuencia, la solución más razonable es efectuar un estudio o reconocimiento hidrogeológico adecuado, destinado a conocer las áreas más propicias para la implantación de captaciones de agua, que cubran los objetivos pedidos, siempre que se disponga de extensiones o áreas suficientes. Si no es así, es decir, si el espacio disponible es muy reducido (inferior a 1 – 2 has, por ejemplo), el problema deberá contemplarse bajo el aspecto de qué tipo de captación será la más adecuada para intentar obtener el caudal solicitado.

No es preciso recalcar que la primera fase debe encaminarse exclusivamente a discernir o delimitar las zonas hidrogeológicamente más adecuadas, mientras que en una segunda fase, se deben sumar los condicionantes estratégicos, logísticos o infraestructurales (propiedad del terreno, accesibilidad, acceso i disponibilidad de energía, distancias a las zonas a abastecer, restricciones administrativas, etc.).

Como fácilmente se comprende, lo esencial será localizar aquellas zonas con una mayor transmisividad, es decir, las zonas más permeables y que posean a la vez el mayor espesor saturado, que son los que darán los mayores caudales de la futura captación. En realidad, debe hablarse siempre de los mayores caudales específicos. Normalmente, en estos acuíferos, esto se traduce en localizar los eventuales y posible surcos de erosión, o de mayor espesor de materiales permeables.

Por ello, parece lógico que aquí solamente se hable de los trabajos a realizar en el segundo de los supuestos anteriores.

Así planteada la cuestión, existen dos apartados o aspectos principales que deben tenerse en cuenta al iniciar estos trabajos:

- A La delimitación en planta del acuífero, diferenciándola de las zonas no permeables o rechazables de entrada. En otras palabras, es necesario trazar o delimitar los bordes del acuífero o unidad hidrogeológica, con suficiente precisión.

Existen ocasiones en las que esta fase se puede eliminar, al ser el acuífero muy grande en relación a la zona en que se pide la investigación hidrogeológica.

- B La delimitación en profundidad o en vertical de las zonas o áreas en las que el acuífero ofrece mejores perspectivas o probabilidades de captación de agua.

Dicho en otras palabras, se debe poder establecer la *topografía* del zócalo o basamento impermeable o resistente, lo cual significa también definir los espesores de los materiales aluviales, y sus características hidrogeológicas (litologías, espesores, permeabilidad, calidad, etc., etc.)

7.1. TÉCNICAS PARA LA DELIMITACIÓN DE LOS BORDES DEL ACUÍFERO

Son básicamente tres:

Los estudios basados en la fotogeología (con todas las variantes actualmente disponibles de la teledetección), la geología superficial y el inventario de puntos de agua o recolección de datos procedentes de los mismos.

Realmente, la frontera entre los tres sistemas o técnicas antes mencionadas no es totalmente clara ni está perfectamente definida, por lo que deben ir adaptándose o acoplándose progresivamente los sucesivos conocimientos que se vayan adquiriendo.

De hecho, es con los dos primeros métodos que se puede empezar a separar las formaciones geológicas permeables de las no permeables, por lo menos, de visu, de acuerdo con la información bibliográfica o los estudios anteriores disponibles al efecto, (por supuesto, son siempre una fase obligada en estos casos), en base a las informaciones procedentes del inventario de puntos de agua, o los recorridos iniciales sobre la zona.

Es importante no olvidar que en las zonas cercanas a las áreas de gran desarrollo o crecimiento humano, agrícola o industrial, puede ser muy recomendable estudiar las variaciones que haya sufrido la zona, sobre la base del estudio de la serie histórica de los diferentes vuelos fotográficos sobre la zona (extracciones de áridos actuales o antiguas, encauzamiento de tramos diferentes de los ríos, la dinámica de los meandros divagantes, las zonas cubiertas por las grandes inundaciones, el crecimiento de las zonas urbanizadas, etc.). Ello permite conocer las características hidrogeológicas de la zona antes de la urbanización o industrialización, que ahora, pueden ser de más difícil interpretación, al estar el terreno urbanizado.

De la misma manera, en muchos casos, la simple contemplación o estudio de la geomorfología del terreno, en base a los mapas topográficos detallados (1:5.000, como máximo, mejor a 1:2.000, en función también de la amplitud de la zona a estudiar, evidentemente), puede arrojar ideas sobre la extensión de las terrazas, los diferentes meandros, las zonas de erosión y sedimentación (zonas cóncavas y convexas), las zonas alcanzadas por las mayores avenidas, etc.).

Otra buena técnica para estos casos (y en general, para todos), es realizar una serie de recorridos ligeros o distendidos sobre la zona (algo así como lo que podría denominarse coloquialmente *geoturismo hidrológico*), con algún buen mapa, identificando los diferentes tipos de pozos existentes, su densidad y distribución, llegando incluso a hablar con sus diferentes usuarios, comentando las peculiaridades de los mismos, los cursos de agua de los ríos, arroyos y canales de distribución o riego, las eventuales pérdidas y ganancias de caudal, el aspecto físico del agua de aquéllos, hablar con alguna empresa de abastecimiento o constructor de pozos de la zona, etc., etc., es decir con *ojos críticos de investigadores hidrogeológicos que aterrizan en la zona*. Este tipo de actividad suele dar bastantes frutos de una manera rápida, y siempre es aconsejable.

Evidentemente, esta tarea no es incompatible ni substituye el llamado inventario específico de puntos de agua, descrito más ampliamente en el siguiente apartado y en su clase específica (4.2.T.).

Otro procedimiento adecuado, si existe información hidrológica cuantitativa pretérita, es estudiar o comparar las variaciones de los caudales de los ríos con las eventuales variaciones del nivel piezométrico en algún punto, para intentar buscar correlaciones entre las *posibles subidas o bajadas* de los mismos, ver el tiempo de respuesta del acuífero a las riadas, eventuales conexiones o desconexiones entre ambos, intentar relacionarlas con eventuales cambios en la calidad química del agua extraída -si se conoce ésta, por supuesto-, la explotación del acuífero, etc., etc.

7.2. TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN EN PROFUNDIDAD DEL ACUÍFERO

Con el estudio y evaluación de los diferentes tipos de datos procedentes del inventario de puntos de agua (si está bien hecho, y es suficientemente exhaustivo), el conocimiento de la hidrología subterránea de una zona se empieza a dominar o entender, al considerar conjuntamente todos los datos disponibles sobre los puntos de agua al efecto, (cuantos más mejor, por supuesto) (ver la clase correspondiente y específica sobre este tema, 4.22.T.).

En las zonas poco o nada conocidas, son también recomendables los recorridos por la zona en busca de información hidrológica. Se trataría, pues de una ampliación de lo que antes se ha denominado geoturismo hidrológico, aquí quizá ya más definido y concreto, buscando ya datos e informaciones concretas y específicas. Así, la visita, localización y observación de fuentes, manantiales, diferencias importantes por defecto o por exceso en el caudal de ríos y arroyos - que pueden indicar pérdidas o ganancias de agua, ya sean difusas o muy localizadas-, presencia de molinos, norias, pozos abandonados, zonas fabriles, etc., etc., se considera vital en este tipo de trabajos.

Con todo ello y una primera serie de muestras para análisis químicos sencillos (la conductividad eléctrica y los componentes químicos mayoritarios -cuatro aniones, cuatro cationes-), y algunas medidas del nivel piezométrico (en realidad, de la profundidad hasta el agua) en algunos puntos, pueden ya apreciarse o admitirse algunas hipótesis sobre el funcionamiento hidrogeológico de la zona.

Con la geología superficial, la fotogeología y los datos crecientes del inventario, puede empezarse a trazar perfiles verticales aproximados, en sentido longitudinal y transversal de la zona a estudiar, a la vez de mapas estimativos sobre la profundidad del agua, de los pozos, de la calidad, etc., etc.

Con la ayuda de mapas topográficos detallados (escala 1:5.000) y modernos o actualizados, se pueden dibujar ya esquemas piezométricos tentativos. En otras palabras, la estructura hidrogeológica y la topografía del substrato del acuífero (que se suele considerar casi siempre como impermeable, aunque puede no ser totalmente cierto), puede ser progresivamente discernida o determinada.

Sin embargo, siempre quedarán aspectos, puntos oscuros o incógnitas, que deben tratar de resolverse mediante los trabajos de la siguiente fase, lo cual puede o suele crear, a la vez, algunas nuevas incógnitas o problemas.

De hecho, estos primeros mapas o perfiles permiten el emplazamiento o situación provisional de los siguientes trabajos, que son los correspondientes a la investigación geofísica en profundidad (eléctrica y sísmica, principalmente, u otros sistemas más modernos o sofisticados), para acabar con los trabajos relativos a las obras (siempre los más caros y dilatados en su ejecución temporal), como son los sondeos de reconocimiento piezómetros y los pozos de pre-explotación.

Evidentemente, tanto unos como otros deben seguirse de manera adecuada, tratando de obtener la mayor y mejor información hidrogeológica de los mismos (muestras fiables de terrenos y de agua, toma de niveles, pequeños ensayos de permeabilidad, determinaciones estratigráficas de detalle, etc.), ya que toda ella es muy cara y de difícil obtención, pero la información facilitada es vital.

En este orden de ideas, un aspecto que debe tenerse muy en cuenta es que las perforaciones de investigación que se realicen en el marco de estos estudios o reconocimientos hidrogeológicos deben acondicionarse siempre como puntos de observación o de muestreo de aguas subterráneas (piezómetros), lo que significa que debe pensarse en este objetivo final a la hora de programarlas y diseñarlas, en particular, los aspectos referidos a su ejecución y acabado final (arqueta de protección, accesibilidad futura, etiquetas identificativas, diámetros de las entubaciones, enrejillados, posibilidad de hallar más de un nivel permeable en la misma vertical, sistemas de sellado, cementación o aislamiento, etc.).

Ello es tanto más verdad en términos económicos, ya que una vez realizada la perforación y pagada, por muy poco dinero más -aproximadamente, entre un 5 y un 10 % más-, se obtiene

un punto de observación perfectamente ejecutado y disponible para cualquier actividad hidrológica relativa al estudio en cuestión, e incluso, para actividades hidrológicas futuras.

Este tipo de actuaciones permite, en el futuro y mientras dura el estudio, (generalmente, varios meses o años, en caso de grandes áreas), recoger una serie de datos nuevos o recientes (piezométricos, de calidad química, además de poder realizar ensayos de bombeo sucesivos, de trazadores, a diferentes profundidades, respuesta a los estímulos externos – por ejemplo, épocas prolongadas de recarga o descarga-), lo cual permite ir añadiendo datos, evaluaciones y estimaciones hidrológicas, probablemente más fiables que los primeros datos o de partida, probablemente poco contrastados, o con una fiabilidad relativa, además de comprobar las hipótesis iniciales.