

# Conceptos Fundamentales

*Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico*

*Porosidad: tipos*

Porosidad total y eficaz  
Porosidad intergranular y porosidad por fracturación  
Factores

*Permeabilidad y transmisividad*

Transmisividad

*Tipos de acuíferos: libres y confinados*

Coefficiente de almacenamiento

*Resumen*

## Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico

**Acuífero** (del latín *fero*, llevar).- Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.

Ejemplos: Arenas, gravas. También granito u otra roca compacta con una fracturación importante.

**Acuicludo** (del latín *cludo*, encerrar).- Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella .

Ejemplo: Limos, arcillas. Un m<sup>3</sup> de arcillas contiene mas agua que el mismo volumen de arenas, pero el agua esta atrapada, no puede salir por gravedad, y por tanto no podrá circular en el subsuelo ni en condiciones naturales ni hacia un pozo que esté bombeando.

**Acuitardo** (del latín *tardo*, retardar, impedir).- Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad.

Evidentemente se trata de un concepto intermedio entre los dos anteriores.

Ejemplos: Arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderadas.

**Acuífugo** (del latín *fugo*, rechazar, ahuyentar).- Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella.

Ejemplo: granito o esquisto inalterados y no fracturados

De estas cuatro denominaciones, es la menos utilizada.

No se trata de definiciones en sentido estricto, ya que no tienen unos límites precisos que permitan delimitar si una formación concreta entra o no en la definición, pero son términos utilizados constantemente en la bibliografía hidrogeológica (el primero de ellos usado en el lenguaje común)

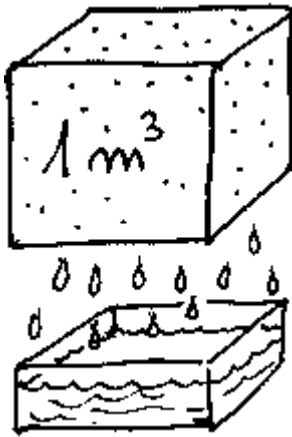
En una región sin mejores recursos, una formación que proporcionara 0,5 litros/seg. se denominaría “acuífero”, y su explotación sería interesante. En cambio, en una zona con buenos acuíferos, esa formación se denominaría “mal acuífero” o “acuífero pobre” o “acuitardo”, y probablemente una perforación con ese caudal se cerraría.

### Porosidad total y eficaz

#### Porosidad total:

$$m_t = \text{Volumen de huecos} / \text{volumen total}$$

Puede expresarse en % ó en tanto por 1 (en cualquier caso es adimensional). Es decir que 12% es equivalente a 0,12, pero dejando claro cómo se está expresando, porque también puede existir una porosidad del 0,12%



#### Porosidad eficaz:

$$m_e = \text{Volumen de agua drenada por gravedad} / \text{volumen total}$$

Se expresa igual que la porosidad total.

**Retención específica:** Diferencia entre los dos parámetros anteriores.

#### Ejemplo:

Disponemos de 1 m<sup>3</sup> de arena seca, le introducimos agua hasta que esté completamente saturado (todos los poros llenos de agua). Supongamos que hemos necesitado 280 litros. Después dejamos que el agua contenida escurra libremente; supongamos que recogieramos 160 litros. Evidentemente los 120 litros que faltan se han quedado mojando los granos.

Con estos datos podemos calcular:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 \approx 1000 \text{ litros}$$

$$m_t = 280 / 1000 = 0,28 \approx 28\%$$

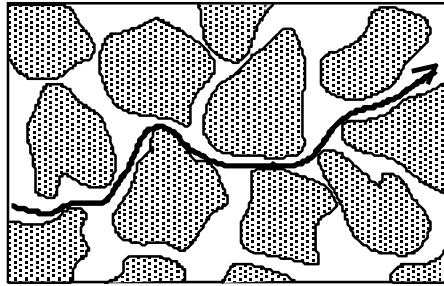
$$m_e = 160 / 1000 = 0,16 \approx 16\%$$

$$\text{Retención específica} = 0,28 - 0,16 = 0,12 \approx 12\%$$

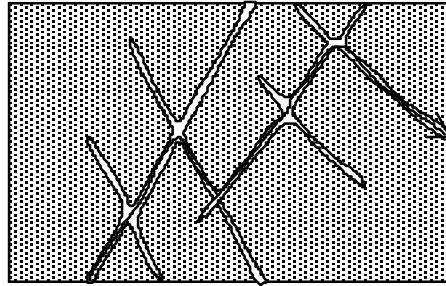
### Porosidad intergranular y porosidad por fracturación

Al hablar de porosidad, intuitivamente se piensa en los poros de un material detrítico, pero las rocas compactas también pueden contener cierta proporción de agua en su interior en sus fracturas (diaclasas, fallas). Estos planos de fracturas a veces son ocluidos por los minerales arcillosos resultantes de la alteración, y en otras ocasiones, al contrario, la disolución hace aumentar la fractura enormemente (especialmente en calizas).

Lo único parecido a los míticos “ríos subterráneos” de que hablan los zahoríes existe en acuíferos calizos, donde en ocasiones la disolución aumenta enormemente las fisuras por las que circula el agua.



Porosidad intergranular



Porosidad por fracturación

El dibujo de la izquierda podría estar a tamaño natural o tener 50 X. En cambio, el de la derecha, puede ser a esa escala o estar representando una realidad de varios km.

En ocasiones se produce una combinación de ambos tipos, como en el caso de una arenisca, con granos detríticos y fracturada.

## Factores

En el caso de la porosidad intergranular, la porosidad total no depende del tamaño de grano (piénsese que el % de huecos en el dibujo anterior sería el mismo si lo reprodujéramos ampliado o reducido). En cambio la porosidad eficaz sí se ve muy afectada por el tamaño de grano: si es más fino, la retención específica aumenta.

Tanto la total como la eficaz dependen de:

- > La heterometría: los finos ocupan los poros que dejan los gruesos y la porosidad disminuye.
- > La forma y disposición de los granos.
- > La compactación, cementación y recristalización, que van a ir disminuyendo la porosidad

La porosidad por fracturación está determinada por la historia tectónica de la zona y por la litología; es decir: cómo cada tipo de roca ha respondido a los esfuerzos. Como se indicaba más arriba, en este tipo de porosidad es determinante la posible eventual disolución de la fractura o, en sentido contrario, la colmatación por minerales arcillosos o precipitación de otros minerales.

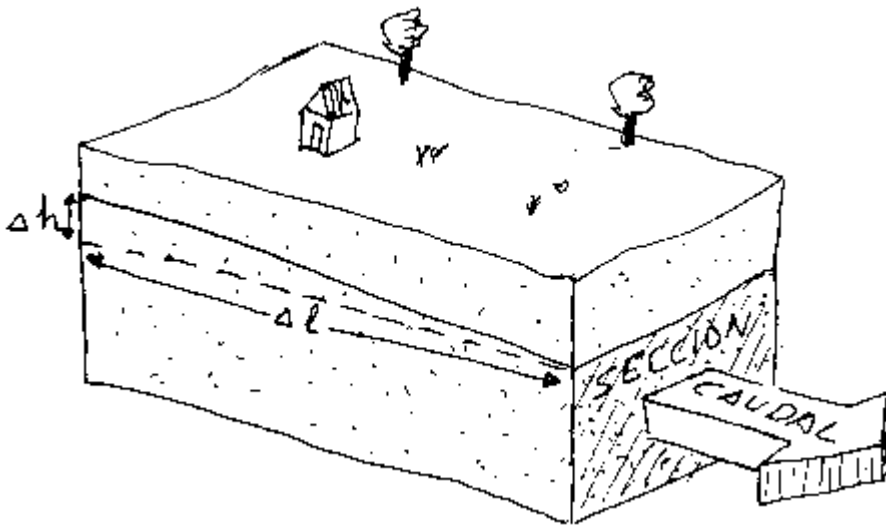
## Permeabilidad y transmisividad

**Permeabilidad** es un concepto común y no haría falta definirlo: la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido, en este caso el agua.

En Hidrogeología, la *permeabilidad* (o mejor: *conductividad hidráulica, K*) es un concepto más preciso. Es la constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y el gradiente hidráulico:

Caudal por unidad de sección =  $K \cdot$  gradiente hidráulico

$$\frac{\text{Caudal (m}^3/\text{día)}}{\text{Sección (m}^2)} = K \cdot \frac{\Delta h \text{ (m.)}}{\Delta l \text{ (m.)}}$$



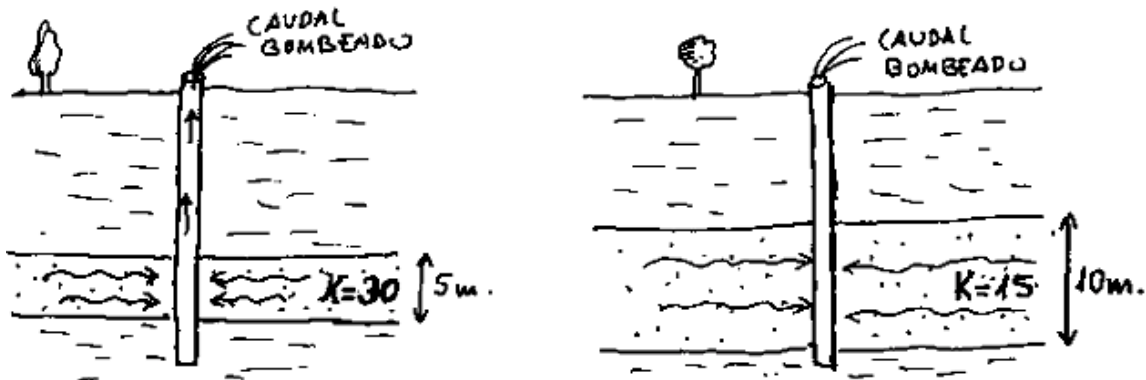
El caudal que atraviesa el medio poroso perpendicularmente a la sección señalada es linealmente proporcional al gradiente  $\Delta h / \Delta l$

Veremos esto en detalle más adelante. Baste aquí comprender que el gradiente es como la pendiente que obliga a una bola rodar por un plano inclinado. Aquí obliga al agua a circular a través del medio poroso, y, lógicamente, a mayor gradiente, circulará mayor caudal.

La ecuación anterior es la Ley de Darcy, y la citamos aquí sólo para definir el concepto de permeabilidad y obtener sus unidades: despejando en la fórmula anterior se comprueba que las unidades de  $K$  son las de una velocidad (L/T). En el Sistema Internacional serían **m/seg.**, pero para manejar números más cómodos, por tradición se continúa utilizando **metros/día**. En Geotecnia y otras ramas de ingeniería se utiliza el **cm/seg.**

## Transmisividad

Si observamos el dibujo intuimos que los dos estratos acuíferos deben dar el mismo caudal: uno tiene la mitad de permeabilidad, pero el doble de espesor que el otro.



Por tanto el parámetro que nos indique la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica será una combinación de la permeabilidad y del espesor:

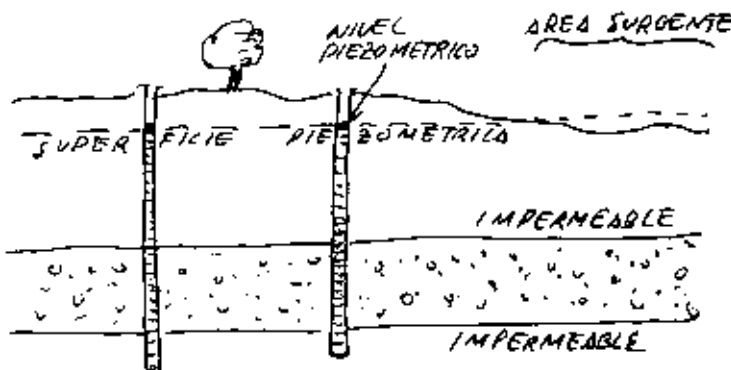
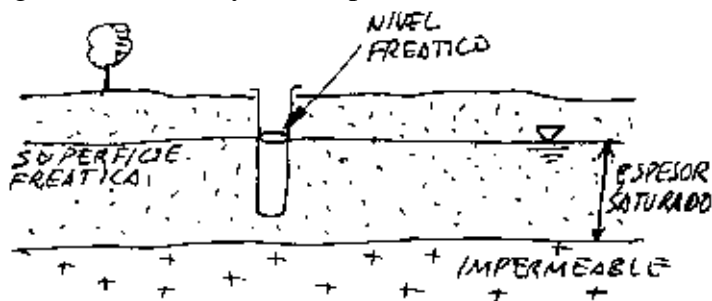
## Transmisividad = Permeabilidad x Espesor

Como las unidades de la permeabilidad son L/T y las del espesor L, las unidades de la Transmisividad serán L<sup>2</sup>/T. Por ejemplo: m<sup>2</sup>/día, o cm<sup>2</sup>/seg.

### Tipos de acuíferos: libres y confinados

En los **acuíferos libres** el agua se encuentra relleno los poros o fisuras por gravedad, igual que el agua de una piscina llena el recipiente que la contiene. La superficie hasta donde llega el agua se denomina superficie freática; cuando esta superficie es cortada por un pozo se habla del nivel freático en ese punto.

En los acuíferos libres se habla de **espesor saturado**, que será menor o igual que el espesor del estrato o formación geológica correspondiente. Por ejemplo, si el espesor de un aluvial es de 8 metros, y la superficie freática se encuentra a 3 metros de profundidad, el agua se almacena y circula por los 5 metros inferiores; su espesor saturado es de 5 metros.



En los **acuíferos confinados** (o cautivos) el agua se encuentra a presión, de modo que si extraemos agua de él, ningún poro se vacía, sólo disminuye la presión del agua y en menor medida la de la matriz sólida.

Al disminuir la presión del agua, que colaboraba con la matriz sólida en la sustentación de todos los materiales suprayacentes, pueden llegar a producirse asentamientos y subsidencia del terreno.

La superficie virtual formada por los puntos que alcanzaría el agua si se hicieran infinitas perforaciones en el acuífero, se denomina **superficie**

**piezométrica**, y en un punto concreto, en un pozo, se habla de **nivel piezométrico** (en griego: piezo = presión)

Si se perfora un sondeo y, transcuridos los primeros metros, la perforación alcanza la superficie freática de un acuífero libre, el fondo del sondeo se irá llenando de agua, de manera que el nivel del agua en la perforación permanece en el mismo nivel en que se cortó. Es tan simple como cuando en la playa abrimos un hoyo con las manos, y en el fondo aparece agua, ya que la arena de la playa está saturada hasta el plano del nivel del mar.

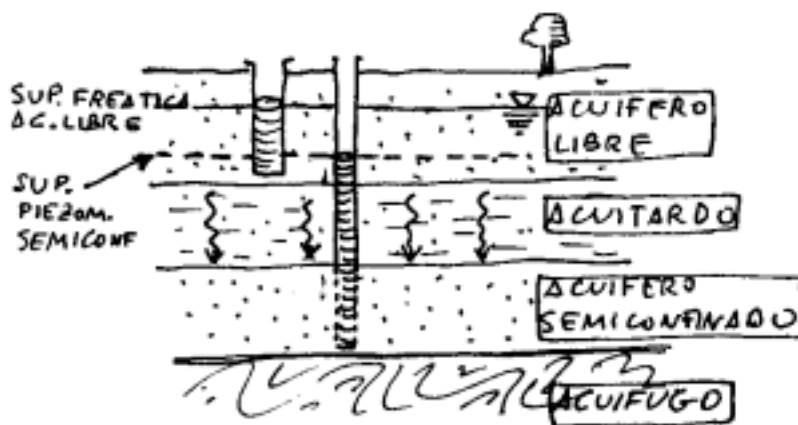
En cambio, cuando una perforación alcanza el techo de un acuífero confinado, el nivel del agua dentro de la perforación puede subir varias decenas de metros.

Cuando la superficie piezométrica está por encima de la superficie topográfica, se producen los **sondeos surgentes**. "Artesianos" es una denominación antigua, se refiere a la

región de Artois, Francia, donde el siglo XIX se obtuvieron caudales surgentes espectaculares; entonces no existían bombas capaces de extraer agua de niveles profundos, de modo que la surgencia era el único modo de aprovechar el agua subterránea que estuviera más profunda que unos pocos metros.

La surgencia no es un indicador de la productividad de la captación: un sondeo surgente al ser bombeado puede proporcionar un caudal mínimo que lo haga inexplorable. La surgencia refleja la altura de la presión del agua (veremos después que no es exactamente la presión, sino el "potencial hidráulico"), mientras que el caudal que puede proporcionar el sondeo depende de la Transmisividad y del Coeficiente de Almacenamiento (que veremos en el siguiente apartado).

Más frecuentes que los acuíferos confinados perfectos son los **acuíferos semiconfinados**. Son acuíferos a presión (por tanto entrarían en la definición anterior de acuíferos



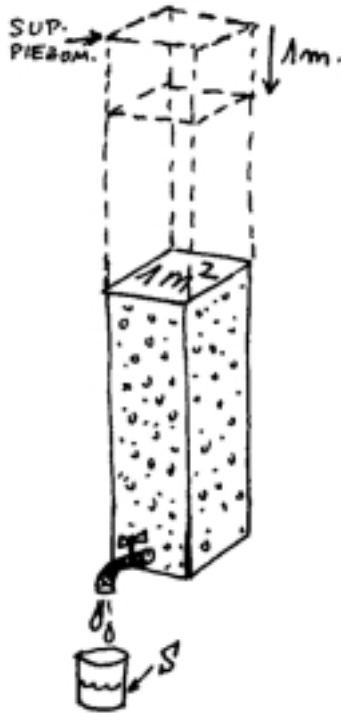
confinados), pero que alguna de las capas confinantes son semipermeables, acuitardos. Vemos en la figura adjunta un acuífero libre y un semiconfinado separados por un acuitardo. Se aprecia que el nivel del agua en el libre es más alto que en el sondeo que corta el acuífero profundo (la

entubación de este sondeo solo estaría ranurada en el acuífero inferior). Por tanto, aunque la permeabilidad del acuitardo sea muy baja, se producirá un flujo de agua a través del mismo hacia abajo.

Si el sistema se mantuviera estable, sin alteraciones desde el exterior durante el tiempo suficiente, el flujo a través del acuitardo equilibraría los niveles, la superficie freática y piezométrica se superpondrían y cesaría el flujo (no habría gradiente hidráulico que obligara al agua a circular). Pero una situación como la del dibujo puede mantenerse indefinidamente debido a la explotación del acuífero inferior o a la llegada de agua al superior por infiltración de las precipitaciones. También podría ser al contrario: por explotación del acuífero superior o por una sequía prolongada el nivel del libre podría quedar por debajo del nivel del semiconfinado; entonces el flujo a través del acuitardo semiconfinante sería vertical ascendente

## Coefficiente de almacenamiento

Hemos visto que el volumen de agua que proporciona un acuífero libre podemos calcularlo mediante la porosidad eficaz. Pero es parámetro no nos sirve en el caso de los acuíferos confinados: cuando proporcionan agua, todos sus poros continúan llenos, sólo disminuye la presión, de modo que el dato de la porosidad eficaz no indica nada.



**Coefficiente de almacenamiento** ( $S$ ) es el volumen de agua liberado por una columna de base unidad y de altura todo el espesor del acuífero cuando el nivel piezométrico desciende una unidad.<sup>1</sup>

Es evidente que la porosidad eficaz encaja perfectamente en la definición de coeficiente de almacenamiento: si consideramos  $1 \text{ m}^2$  de acuífero libre y hacemos descender 1 metro su superficie freática el volumen de agua que habremos extraído será la porosidad eficaz.

El coeficiente de almacenamiento es, como la porosidad eficaz, adimensional (volumen / volumen), y los valores que presenta son mucho más bajos en los confinados perfectos que en los semiconfinados. Los valores típicos serían éstos:

Acuíferos libres: 0,3 a 0,01 ( $3 \cdot 10^{-1}$  a  $10^{-2}$ )

Acuíferos semiconfinados:  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$

Acuíferos confinados:  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$

## Resumen

La personalidad hidrogeológica de cualquier roca o formación geológica está definida por dos factores:

- Su capacidad de **almacén**, de almacenar agua y cederla después (porosidad, coeficiente almacenamiento)

- Su cualidad de **transmisor**, de permitir que el agua circule a través de ella (permeabilidad, transmisividad)

Recordando los conceptos básicos del primer apartado:

	<b>Porosidad total</b>	<b>Permeabilidad</b>
<b>Acuíferos</b>	Alta o moderada	Alta
<b>Acuitardos</b>	Alta o moderada	Baja
<b>Acuicludos</b>	Alta	Nula
<b>Acuífugos</b>	Nula o muy baja	Nula

<sup>1</sup> En inglés *Storativity* ( $S$ ). Un concepto distinto es *Specific Storage* ( $S_s$ ) que es el volumen liberado por  $1 \text{ m}^3$  de acuífero, no por toda la columna de acuífero, al descender 1 metro la superficie piezométrica