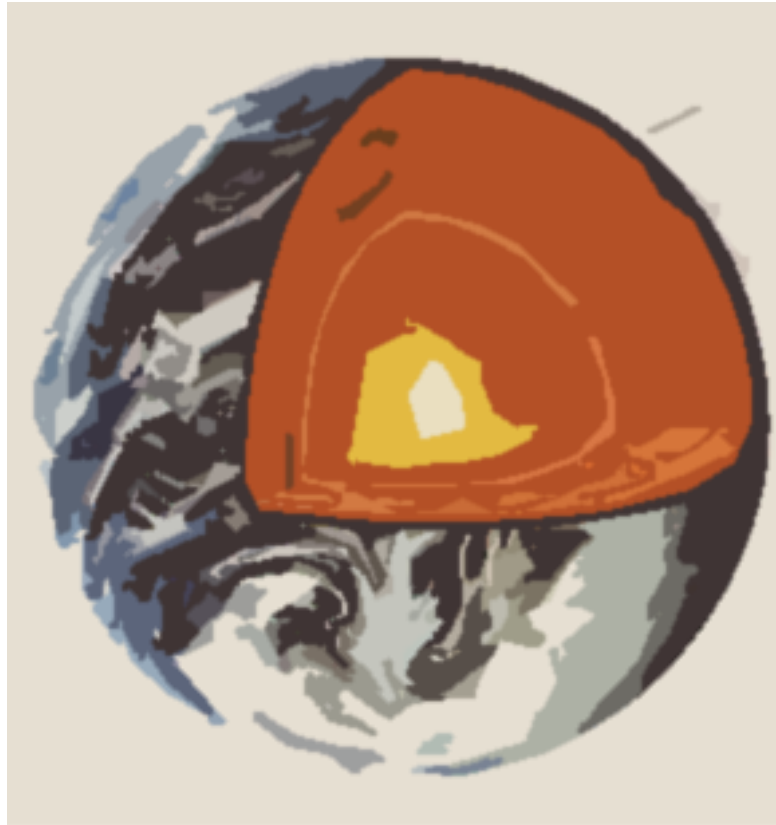


# EL AGUA



*Autor:*

***Pedro Gea***

*rao Estudios y proyectos S.L.*

## **Indice de temas. El AGUA**

### **El Suelo**

La Tierra. Sus dimensiones sismógrafo ondas, la corteza las rocas. Ciclo geológico, estratos.

Interpretación planos geológicos, Periodo de Zeuner. Eras periodos y épocas, fauna y flora.

Pliegues (Anticlinal y Sinclinal), fallas (Inclinada, vertical, combinadas, de tijera, de desplazamiento y cabalgamiento) y diaclasas.

### **Agua-Suelo**

Evolución de la tierra Agua en la corteza, Balance de España .

Acuíferos sus tipos según la presión. Acuífero libre, cautivo o confinado y semiconfinado. acuitardos, acuiocluido y acuífugo.

Tipos de terrenos Karsticos, porosos o detriticos y calco-arenitas.

### **Captaciones de agua.**

Pozos abierto y sondeos, Galerías y drenajes.

Parámetros de los acuíferos. Porosidad de los terrenos, permeabilidad, Trasmisividad y coeficiente de almacenamiento.

Ensayo de bombeo, Búsqueda de aguas, Los zahoríes, el aforo.

### **Estudios del tipo de terreno. Prospección geofísica.**

Métodos eléctricos: Método eléctrico resistivo. Ohmio/metro. Comparación con la resistividad de distintos materiales. SEV.

Métodos sísmicos. Ondas longitudinales y transversales. Captore y geófonos, elementos de amplificación de señales

### **Equilibrio del agua en el suelo**

Movimientos del agua en el suelo. Equilibrio desequilibrio. Aguas duras, intrusión marina. Soluciones.

Comentarios, recomendaciones y aclaraciones sobre el suelo, el agua, los acuíferos.- Aforos de agua en los sondeos.- Idea de cómo funciona un sondeo, tipos de sondeos, que es un acuífero, movimientos del agua.

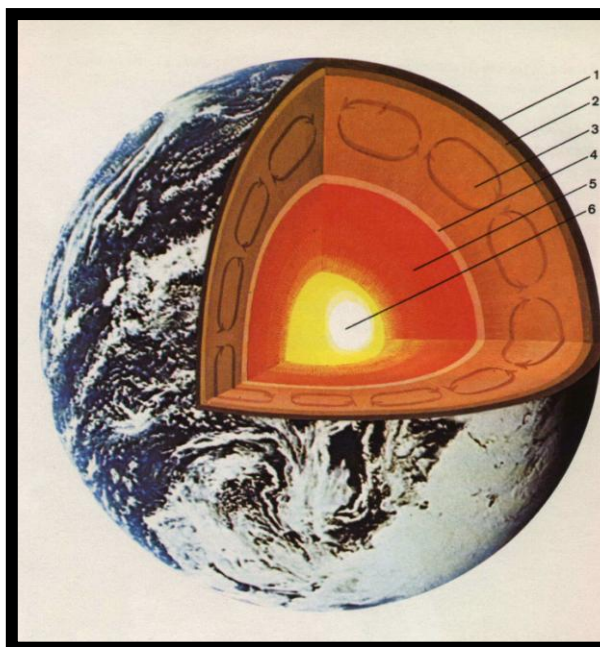
Para desarrollar esta charla vamos a hablar de distintas cosas que a “posteriori” relacionaremos. Lógicamente el agua nuestra de cada día depende de los terrenos, de su existencia y de las extracciones que realicemos, del stock, pretendo dar a conocer algo de geología sencilla de libro de física, que nos sirva también para comprender los datos de los geólogos y columnas de pozos, ya que muchas veces al recibir una columna litológicas y planos geológicos nos quedamos sin entender de que se está hablando. pretendemos también que al conocer y entender nuestra explotación, también la defendamos, fundamentalmente contra nosotros mismos al sobreexplotarlas.

## EL SUELO.-

Para hablar del agua primero habríamos de justificar su existencia en el planeta tierra y donde se encuentra y de eso vamos a hablar para ver como la sacamos. La tierra, según algunos estudiosos, se puede definir como una esfera achatada por los polos y de las siguientes dimensiones:

**Figura: Las capas de la tierra**

- 1.- La corteza terrestre**
- 2.- capa intermedia, discontinuidad de Mohorovicic**
- 3.- Manto terrestre**
- 4.-Capa intermedia**
- 5.- Núcleo exterior**
- 6.- Núcleo interior**



|                              |                                   |                           |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Circunferencia media         | 40076.6 km                        |                           |                                   |
| Diámetro medio               | 12742 km.                         | Superficie de los océanos | $361,1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$   |
| Volumen                      | $10083,3 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ | Volumen de los océanos    | $1,3722 \cdot 10^9 \text{ tm.}$   |
| Superficie                   | $510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$     | Masa de los océanos       | $1,422 \cdot 10^{17} \text{ tm.}$ |
| Masa o Peso                  | $5,6 \cdot 10^{21} \text{ tm.}$   | Masa de la atmósfera      | $5,098 \cdot 10^{14} \text{ tm.}$ |
| Densidad media               | $5,5 \text{ g / cm}^3$            | Masa de hielo actual      | $335 \cdot 10^{14} \text{ tm.}$   |
| Superficie de los continente | $148,9 \cdot 10^6 \text{ km}^2$   | Volumen de hielo actual   | $36 \cdot 10^6 \text{ km}^3$      |

Estos datos han sido obtenidos de ensayos teóricos a través de sismógrafos, que son unos aparatos capaces de recibir ondas, que en función del tipo de terrenos que atraviesan nos dicen de qué tipo de terrenos se trata. Estos aparatos son empleados fundamentalmente para predecir los terremotos y determinar su epicentro.

Estas ondas se clasifican en dos tipos, que pueden ser longitudinales y transversales.

Gracias a este tipo de aparatos se conocen los distintos espesores de las diferentes capas en que se puede dividir la tierra. Estas son: capa exterior o litosfera, capa intermedia y núcleo central.

La más importante e interesante para nosotros es la que se halla a menor profundidad, con un espesor medio de 50 - 70 km, conocida como la corteza terrestre.

Las rocas que la componen, atendiendo a criterios genético – mineralógicos, formación y origen se clasifican en eruptivas, sedimentarias y metamórficas. Influyen en su denominación su formación, los minerales, la presión a la que se formaron, la temperatura...

A su vez cada grupo se subdivide en otros subgrupos. Por ejemplo, las eruptivas se subdividen en plutónicas, filonianas y volcánicas.

Sedimentarias. Conocemos como sedimentarias a todas aquellas rocas que son susceptibles de ser arrastradas o erosionadas por efectos del viento, del agua o de

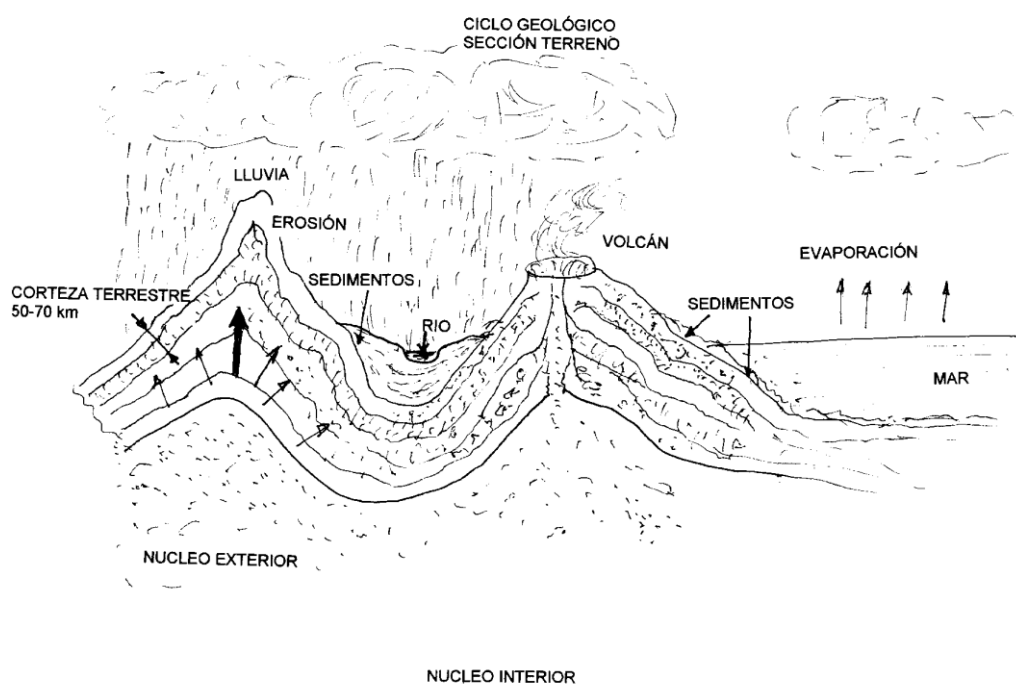
erupciones volcánicas, que las ha ido depositando en sucesivas capas en la misma superficie terrestre.

Las metamórficas se forman debido fundamentalmente a cambios de presión y temperatura o a acciones químicas (proceso de metamorfismo) sobre rocas ya existentes.

Conocemos como rocas metamórficas las filitas, esquistos, micacitas etc.

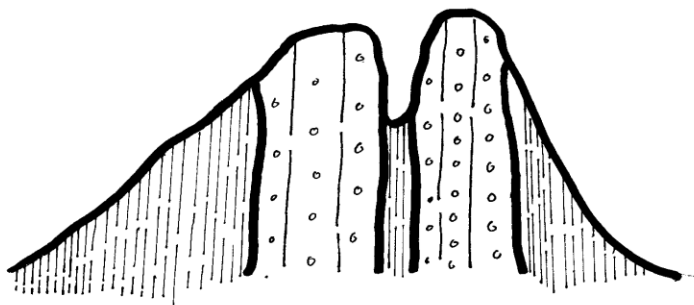
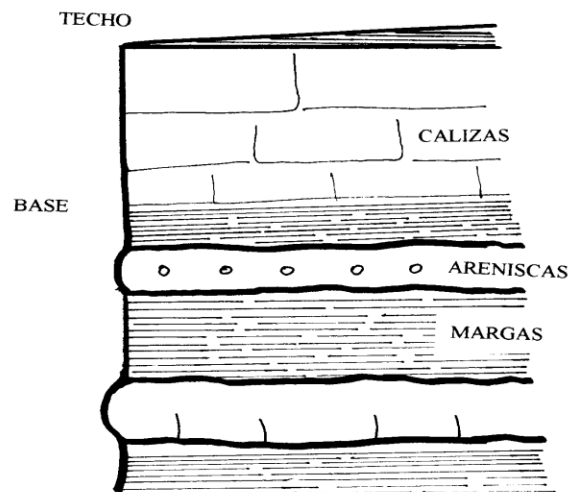
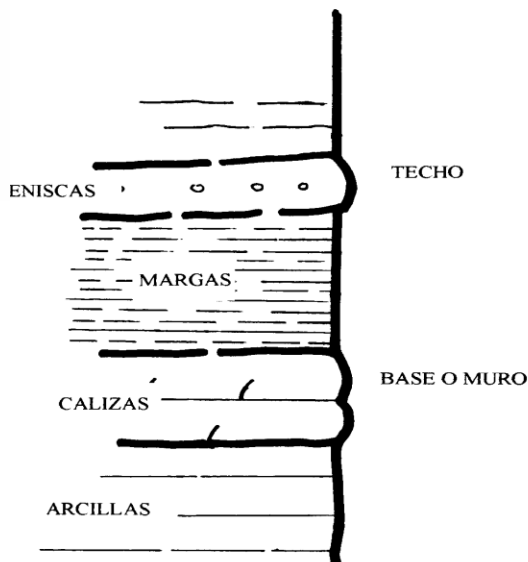
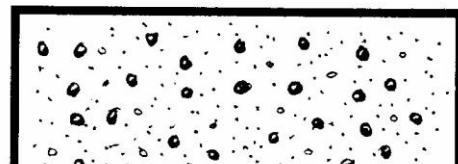
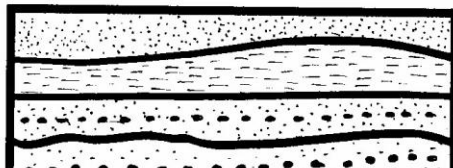
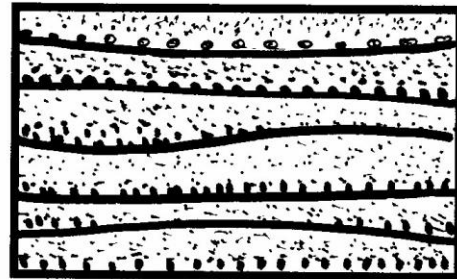
Los materiales: Sedimentos y rocas sedimentarias.

Ciclo geológico de los materiales terrestres



El suelo está compuesto de distintos sedimentos, que generalmente pueden ser de origen rocoso o tierras, químico y orgánico. El primero es conocido como terrígeno; al segundo, en el que han existido agentes químicos, se le conoce como suelo de origen químico ; en el tercero han intervenido seres vivos plantas o animales y se le conoce como orgánico.

Los suelos forman **estratos** de distinta naturaleza, según su procedencia litológica, y representan las rocas sedimentarias que suponen  $\frac{3}{4}$  partes de las formaciones visibles, que en muchas ocasiones han sufrido transformaciones. De ahí esas deformaciones que observamos en distintos cortes o fallas, algunas de poco espesor. Su plasticidad se ve al deformarse sin romperse, como por ejemplo las filitas y pizarras, que forman pliegues en colores generalmente azulones.



Su inclinación en relación a un plano horizontal se conoce como buzamiento y se orienta su posición con una brújula equipada con nivel división en 180 grados llamadas brújulas de buzamiento.

Este razonamiento nos debe conducir a pensar en las distintas capas, tal y como vemos muchas veces en la superficie debido a los efectos de plegamientos de los materiales, de acciones, transgresiones y regresiones similares a los que se provocan en una playa debido a los movimientos de los materiales.

Con relativa frecuencia vemos a los geólogos hablar de períodos geológicos cuando se refieren a los materiales aparecidos en un estudio, y es que para su identificación y según el período se les denomina por el nombre de la era, su duración, período o sistema, época, estadio o serie, fauna y flora. De tal forma que con esa denominación el material queda identificado y se pueden saber sus evoluciones.

Los períodos según Zeuner, 1956, son:

| Periodo                                   | Número aproximado<br>de millones de años<br>transcurridos. | Duración aproximada<br>en millones de años. |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| (Ordenados de más reciente a más antiguo) |                                                            |                                             |
| Pleistoceno                               | 0 -1                                                       | 1                                           |
| Plioceno                                  | 1 -12                                                      | 11                                          |
| Mioceno                                   | 12 -28                                                     | 16                                          |
| Oligoceno                                 | 28- 40                                                     | 12                                          |
| Eoceno                                    | 40- 60                                                     | 20                                          |
| Cretácico                                 | 60-130                                                     | 70                                          |
| Jurásico                                  | 130-155                                                    | 25                                          |
| Triásico                                  | 155-185                                                    | 30                                          |
| Pérmico                                   | 185-210                                                    | 25                                          |
| Carbonífero                               | 210-265                                                    | 55                                          |
| Devónico                                  | 265-320                                                    | 55                                          |



|             |          |      |
|-------------|----------|------|
| Silúrico    | 320-360  | 40   |
| Ordovícico  | 360-440  | 80   |
| Cámbrico    | 440-520  | 80   |
| Precámbrico | 550-2100 | 1500 |

Eras de la historia de la tierra, con sus subdivisiones principales y características de la flora y fauna más importante; desde las más próximas a las más alejadas

Con relativa frecuencia encontramos en informes geológicos párrafos como este:

“Los limites vienen marcados por los afloramiento triasicos de la sierra...., y de la

transversal de tal..y por el Sur por la cuenca terciaria de....

O este otro” Geológicamente casi todo el subsistema está constituido por

afloramiento de materiales permeables Jurásicos que abarcan desde el Lías al

Kimmeridgiense “ y uno se queda flipando. Bueno pues simplemente se están

refiriendo a la época en que han sido situados los materiales vistos o analizados

en esa zona.

Otro tanto ocurre con la representación gráfica de estos planos en donde todo son

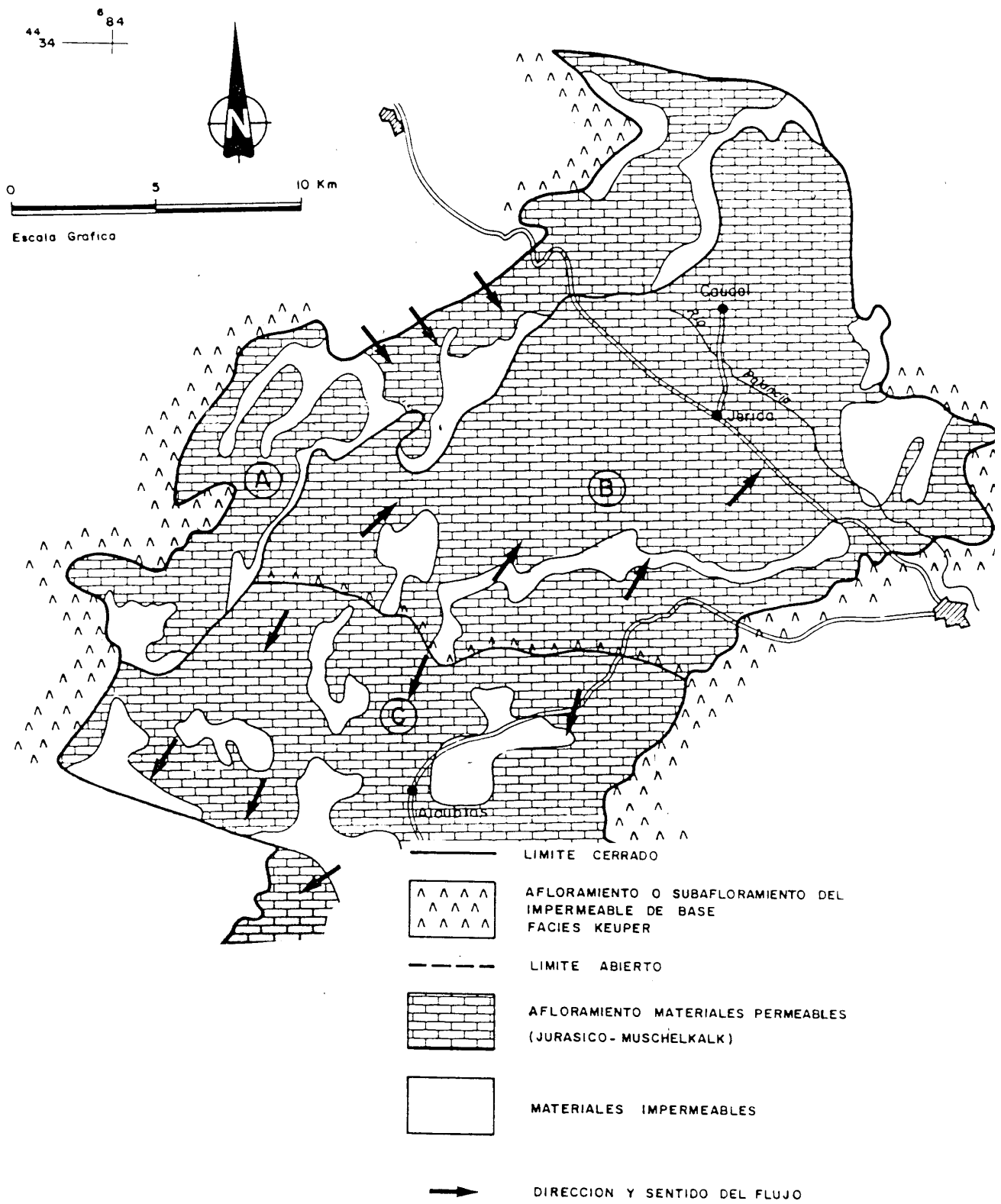
como ladrillos o como pajaritos volando y que varían de unos geólogos a otros

porque algunas veces las interpretaciones son libres. En el gráfico siguiente se

puede observar la representación mas ortodoxa y generalizada de algunos

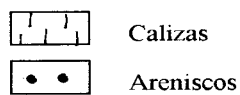
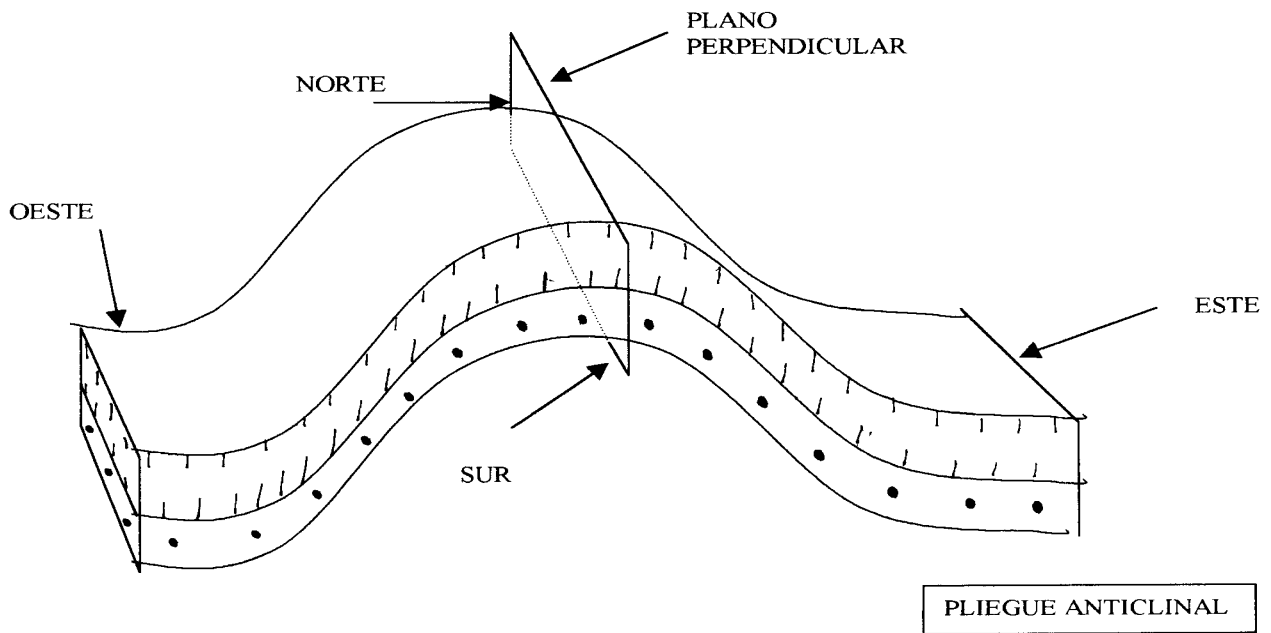
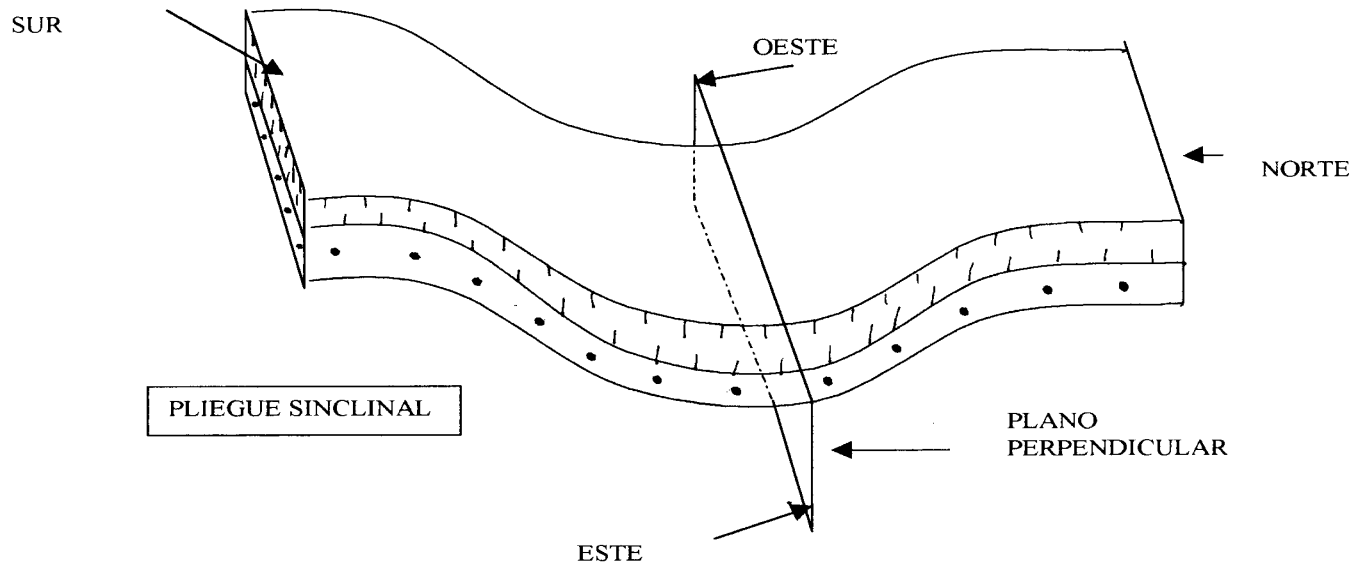
terrenos.

A continuación ponemos una tabla con la denominación de las distintas eras del a  
del mundo.



| ERA | AÑOS<br>( mill) | PERIODO O<br>SISTEMA | ÉPOCA ,<br>ESTADIO O<br>SERIE                                                                                                                                                                    | FAUNA                                                                                                                                                                                                                     | FLORA                                                                                                            |
|-----|-----------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | 0.01            | CUATERNARIO          | HOLOCENO<br>PLEISTOCENO                                                                                                                                                                          | H. Neanderthalensis. H. Sapiens. H. Primitivo: Pithecanthropus, Sinanthropus, Eoanthropus, hombre de Heidelberg<br><br>Aumento de la fauna moderna: aves, insectos, peces, teleósteos, conchas hexacorales, foraminíferos |                                                                                                                  |
|     | 1               |                      | Sup. Plioceno<br>Mioceno                                                                                                                                                                         | Primeros monos etcimios                                                                                                                                                                                                   | Los géneros presentes más modernos, pero con distribución geográfica diferente.                                  |
|     | 30              | TERCIARIO            | Oligoceno                                                                                                                                                                                        | Aumento de mamíferos, aparición de placentarianos. Dominando: carnívoros, roedores, caballos primitivos, elefantes etc.. Prime-Ros Lémures                                                                                |                                                                                                                  |
|     |                 |                      | Inf. Eoceno<br>Paleoceno                                                                                                                                                                         | Desaparición de la Mayoría de los Reptiles, órdenes Como ictiosaurios, Dinosaurios Pterosaurios Desaparición de Los ammonites                                                                                             | Verdaderos helechos y cícadas muy reducidas Angiospermas muy incrementadas.                                      |
|     |                 |                      | Sup. Daniense<br>Senociense<br>Turonense<br>Cenomaniense                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                  |
|     |                 | CRETÁCICO            | Albiense<br>Aptiense<br>Barremiense<br>Hauteriviense<br>Valanginiense<br>Inf. Purbeckiense<br>Portlandiense<br>Kimmeridgiense<br>Coralense<br>Oxforddiense<br>Oolites inferior<br>Lias<br>Rético |                                                                                                                                                                                                                           | Como el Jurásico, pero menos ginkgos en auge. Angiospermas en auge. Apogeo de cícadas.                           |
|     | 127             |                      | Sup. Keuper<br>Muschelkalk<br>Bunter                                                                                                                                                             | Primeras aves                                                                                                                                                                                                             | Como en el Trifásico, pero menos helechos de semilla, que desaparecen. Primeras angiospermas. Apogeo de ginkgos. |
|     |                 | JURÁSICO             | Med.                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                  |
|     |                 |                      | Inf.                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                  |
|     | 152             | TRIÁSICO.            | Sup.                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                           | Verdaderos helechos: cícadas y ginkgos abundan. Flores coníferas y helechos de semillas.                         |
|     |                 |                      | Med.                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                  |
|     | 182             |                      | Inf.                                                                                                                                                                                             | Primeros ictiosaurios<br>Primeros hexacorales                                                                                                                                                                             |                                                                                                                  |

# Pliegues del terreno.



Están formados por **estratos** en la superficie de rocas no sedimentarias y que pueden presentar deformaciones hacia arriba o hacia abajo, con variantes de inclinaciones hacia delante o atrás. Las inclinaciones se miden en grados en relación a un eje vertical. Pueden tener varias dimensiones en altura o profundidad, generalmente son muy largos, de varios kms.

En los pliegues las formaciones de calizas más modernas envuelven a las más antiguas.

Terminología empleada en los estudios geológicos, referente a los pliegues.

Ver figura de pliegues anticlinal y sinclinal.

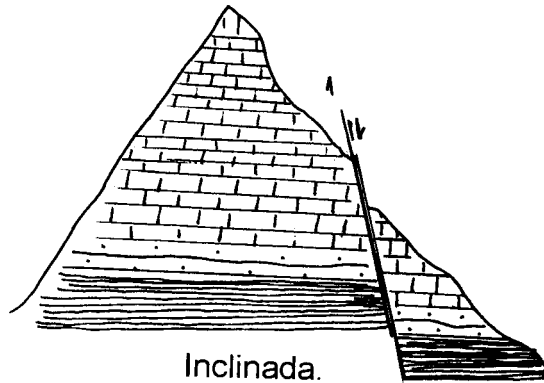
Para que nos entendamos diremos que si imaginamos una alfombra con una arruga hacia arriba esa arruga producida por un pliegue del terreno sería un anticlinal y si fuese hacia abajo sería un sinclinal. Si este pliegue fuese muy alto entendemos que se podría inclinar, dependiendo su inclinación del peso de la misma. Nos podemos imaginar multitud de formas y cada una tendrá un nombre para su diferenciación.

En relación a un plano horizontal los pliegues, como hemos visto alguna vez en el cauce de los ríos, pueden a su vez ir haciendo eses no siguiendo líneas rectas, dependiendo del sentido y dirección de las fuerzas que los han formado.

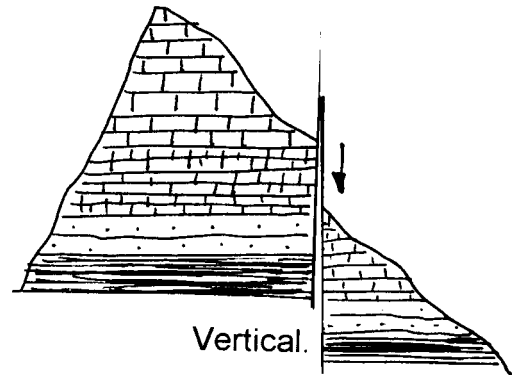
## Fallas

En el párrafo anterior hablamos de pliegues como deformaciones producidas por fuerzas al comprimir los estratos de la corteza terrestre. Ahora bien, cuando estas fuerzas son superiores a la plasticidad que permiten estos estratos la corteza se rompe formando las conocidas fallas.

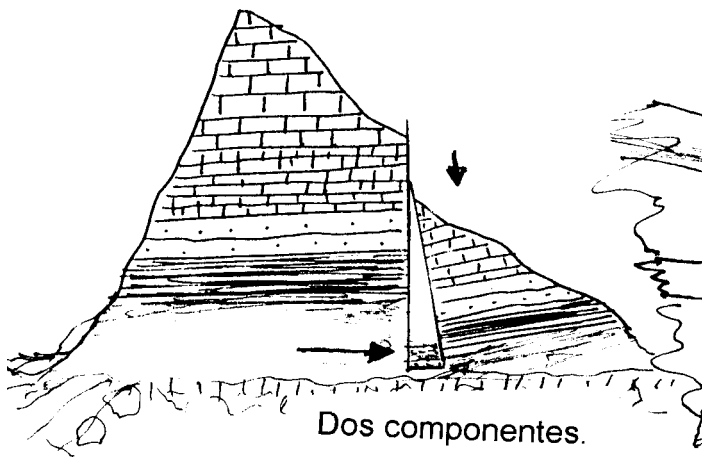
**FALLAS, SUS TIPOS MAS CARACTERISTICOS.**



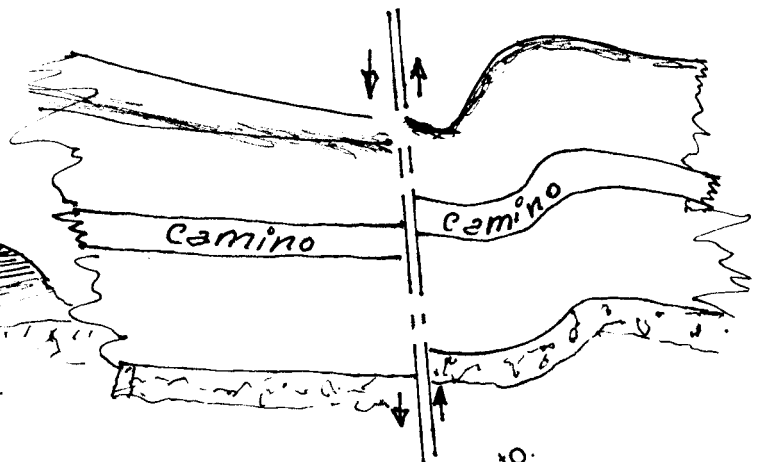
Inclinada.



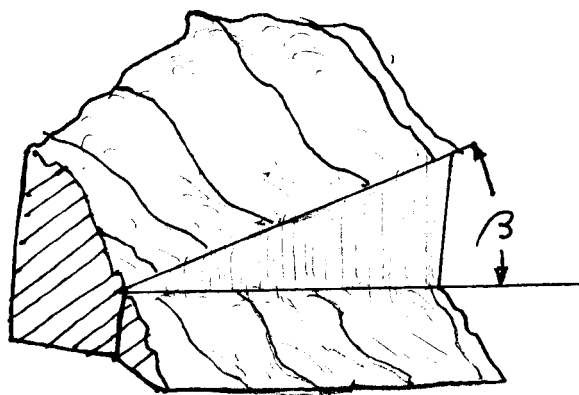
Vertical.



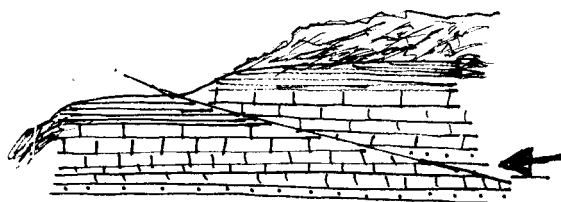
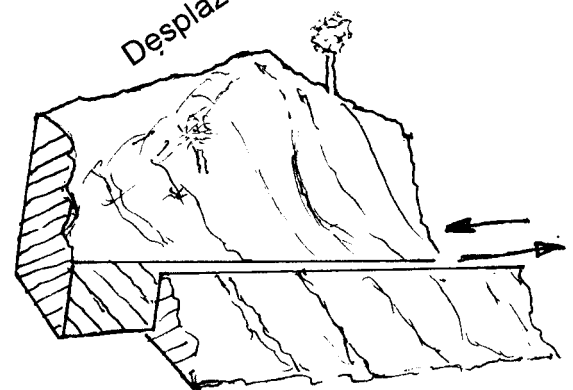
Dos componentes.



Desplazamiento.



De tijera.



Cabalgamiento.

Las fallas, que pueden ser pequeñas o muy grandes, dependiendo del accidente que las genera, provocan movimientos en el sentido vertical y horizontal, y pueden producirse en consecuencia hundimientos y desplazamientos del terreno .

Todos hemos visto alguna vez una montaña que parece cortada a cuchillo este tipo de fallas al pasar por zonas en la que rocas sedimentarias las han cubierto no se pueden apreciar sino es con fotografía aérea en donde por superposición se pueden observar con gafas especiales, más difícil es ver que ha habido por el propio movimiento tectónico desplazamientos horizontales salvo datos de referencias de construcciones o elementos geográficos que a estilo rompecabezas podamos comparar.

Los tipos de fallas conocidos pueden ser: Inclinada, vertical, inclinada-vertical, de desplazamiento, de tijera, y de cabalgamiento.

### Diaclasas

Existe una fracturación de rocas de formas discontinuas sin desplazamientos conocidas como diaclasas, generalmente están asociadas a otras formaciones rocosas y son producidas por enfriamientos, con fenómenos de compresión y descompresión. Pensar en las roturas de tuberías por fenómenos de heladas.

### Evaluación del agua en la tierra. (Estudios de la UNESCO, 1971.)

Damos de estos datos sólo el volumen y la altura como datos más representativos.

| Agua existente en:                                      | Volumen en km <sup>3</sup><br>en Km <sup>3</sup> | Altura equivalente<br>en metros. |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|
| La atmósfera                                            | 13.000                                           | 0,025                            |
| Cauces de ríos                                          | 700                                              | 0,001                            |
| Agua del suelo                                          | 1.700                                            | 0,003                            |
| Agua en zonas no<br>satura y freática<br>poco profunda. | 65.000                                           | 0,13                             |



|                                   |                                                     |         |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|
| Zonas pantanosas                  | 3.600                                               | 0,007   |
| Océanos                           | $1.370 \cdot 10^6$                                  | 2.500   |
| Casquete de hielo                 | $30 \cdot 10^6$                                     | 60      |
| Agua subterránea                  | $(4 \text{ a } 6) \cdot 10^6$                       | 8 – 120 |
| Lagos de agua dulce<br>y embalses | 125.000                                             | 0,25    |
|                                   | <b><math>1.405,2 \cdot 10^6 \text{ km}^3</math></b> |         |

Queremos destacar con cifras ya pasadas y desactualizadas, el que simplemente por la variación del clima, para una superficie de  $510\,000\,000 \text{ km}^2$ , existe un caudal de aguas subterráneas de  $4 - 6\,000.000 \text{ km}^3$ , lo que equivale a decir que por  $\text{m}^2$  se pueden emplear  $9.8 \text{ m}^3$ . La publicación habla de días para decenas de miles de años. Sin comentarios.

Este agua representa en el montante total de agua existente un  $0,003558 \%$ , lo que en verdad es muy poca agua la de utilización del hombre, que además no es real, ya que una buena parte se vierte al mar.

### Estudio de acuíferos.

El definir un acuífero es complicado, ya que en estos momentos en que se define el agua como un bien escaso equivale a decir que cuando hablamos de un acuífero estamos hablando de dinero, y eso complica las cosas.

Por no entrar en la nueva ley de aguas, o en la anterior del 1985, ni en las definiciones de aguas privadas anteriores a esa fecha, doy como definición de acuífero el establecido por el Instituto Geológico y Minero en 1973 que decía que “sistema acuífero es el dominio dentro del cual se puede considerar que los movimientos del agua son independientes de las condiciones reinantes en el exterior.” En otras palabras, es el dominio dentro del cual toda captación en un punto cualquiera puede tener una influencia o afección sobre el conjunto, pero no la tendrá más allá de sus límites, ni siquiera al término de un largo tiempo(a escala humana).

## BALANCE ANUAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN ESPAÑA. (Según Lvovitch 1967)

| Elementos |                                         | España $0.49 \cdot 10^6 \text{ km}^2$       |        |
|-----------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|--------|
| Del       |                                         | Volumen                                     | Altura |
| Balance   |                                         | $\text{km}^3$                               | mm     |
| P         | Precipitación                           | 331                                         | 670    |
| E         | Escorrentía                             | 95                                          | 190    |
| ES        | Escorrentia subterrá-<br>nea, (estable) | 30                                          | 60     |
|           |                                         | Cubeta rectangular de<br>1 x 1 metro y 1 mm |        |
| ED        | Escorrentía directa<br>(crecidas)       | 65                                          | 130    |
| H         | Humedecimiento<br>total del suelo real  | 266                                         | 540    |
| ET        | Evapotranspiración                      | 236                                         | 480    |

Para mejor entendimiento de estas tablas hay que tener en cuenta que las alturas en milímetros quieren decir que un milímetro de altura de agua por metro cuadrado equivale a un litro por metro cuadrado.

Las ecuaciones que cumple este balance son :

$$P = ES + ED + ET$$

$$H = P - ES = ES + ET$$

Para mejor entendimiento también de lo que es un acuífero yo lo quiero comparar con un vaso que tenga dos grifos, uno superior y otro inferior o en el fondo del vaso, todos podemos pensar que no se puede abrir más el grifo inferior al superior porque entonces se vaciará. No se puede extraer más agua de un acuífero del que es capaz de recargarse por las aguas procedentes de los distintos medios, naturales o artificiales.

### **Acuíferos sus tipos.**

#### **Por efectos de la presión que soporta el acuífero pueden ser.**

**Acuífero libre.** Es aquel que en su parte superior está en contacto con la atmósfera, por tanto sometido a la presión atmosférica. Vulgarmente lo denominamos como nivel freático o acuífero freático. Si colocásemos una serie de tubos en contacto con él veríamos que, salvo momentos de extracción, todo estaba al mismo nivel. Viene a ser como una tubería con el mismo nivel en todos sus puntos y en reposo, tendría la misma altura de agua que al principio. Ahora bien, si extraemos agua la línea piezométrica irá bajando en función de las extracciones en el nivel del acuífero. Las salidas serán los distintos sondeos que formarán los conocidos conos de un pozo.

**Acuífero cautivo o confinado.** Es aquel en el que el líquido se encuentra a mayor presión que la atmosférica y en consecuencia el agua sube de nivel del agua en la perforación. No reciben agua ni en el techo ni en el fondo. Cuando hablábamos de pliegues en el terreno pensemos en montes con estratos de material impermeable, bajo otro de material permeable y bajo otro impermeable, esto viene a ser como una tubería por encima de estos terrenos. Lógicamente si pinchamos el tubo en cualquier zona baja el agua saldrá con la presión que le da el desnivel.

**Acuífero semiconfinado o semicautivo.** Es un acuífero de parecidas condiciones al cautivo, con la variante de que puede perder o recibir agua por su techo o por la base. Volviendo al ejemplo de una tubería podemos comprender el funcionamiento de este tipo de acuíferos. Basta con que pensemos que esa tubería que va por una montaña puede recibir aportaciones de agua o extracciones en sus partes altas o bajas.

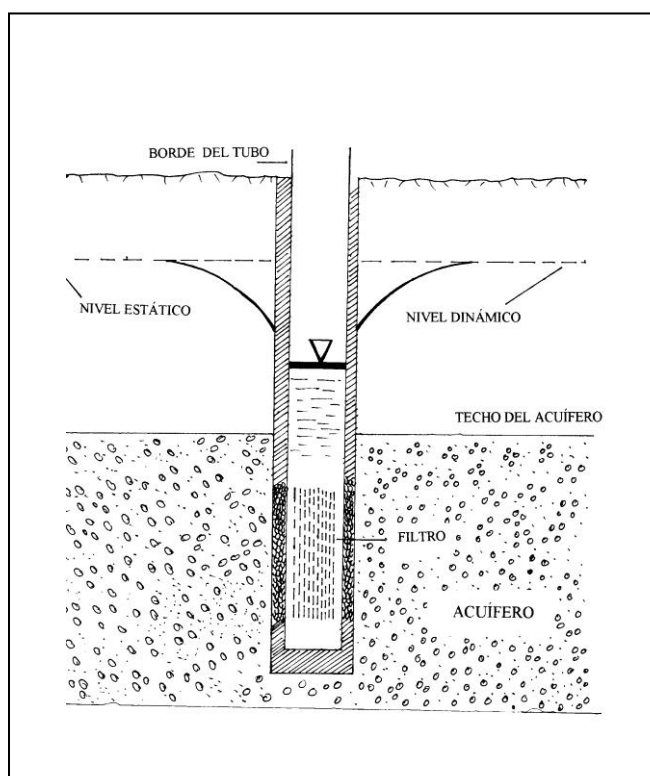
Relacionados con este tipo de acuífero semiconfinados se encuentran los **acuitardos**, que son acuíferos poco permeables, pensemos en terrenos de arcillas o tap que permiten la percolación del agua pero en muy pequeñas cantidades. Si no permitiese el paso del agua en la práctica, aunque la contuviese, se llamaría **acuicluido**. Si no la permite ni la contiene se le conoce como **acuifugo**. Casi de los nombres con los que se le conoce se desprende su actuación.

Existen tres tipos de materiales acuíferos dependiendo de la formación geológica en la que se encuentran y su permeabilidad que son:

- 1.- Kársticos y fisurados son los existentes en formaciones de tipo calizas, dolomitas, basaltos y granitos.
- 2.- Porosos o detríticos formados por gravas y arenas.
- 3.- Combinación de los anteriores se les conoce como terrenos calco-arenitas.

## Captaciones de agua.

1) **POZOS.** Desde hace bastantes años y por cuestiones de seguridad y coste no se realizan pozos abiertos, nos referimos a pozos de grandes diámetros, en torno a los 3 metros. Hay muchos sistemas, pero el más común es el pozo de Inca, cuya forma de construir se atribuye a estos indios, que consiste en colocar un tubo relativamente pesado en posición vertical y a posteriori se va excavando el terreno haciendo que este vaya bajando en dirección al nivel freático.

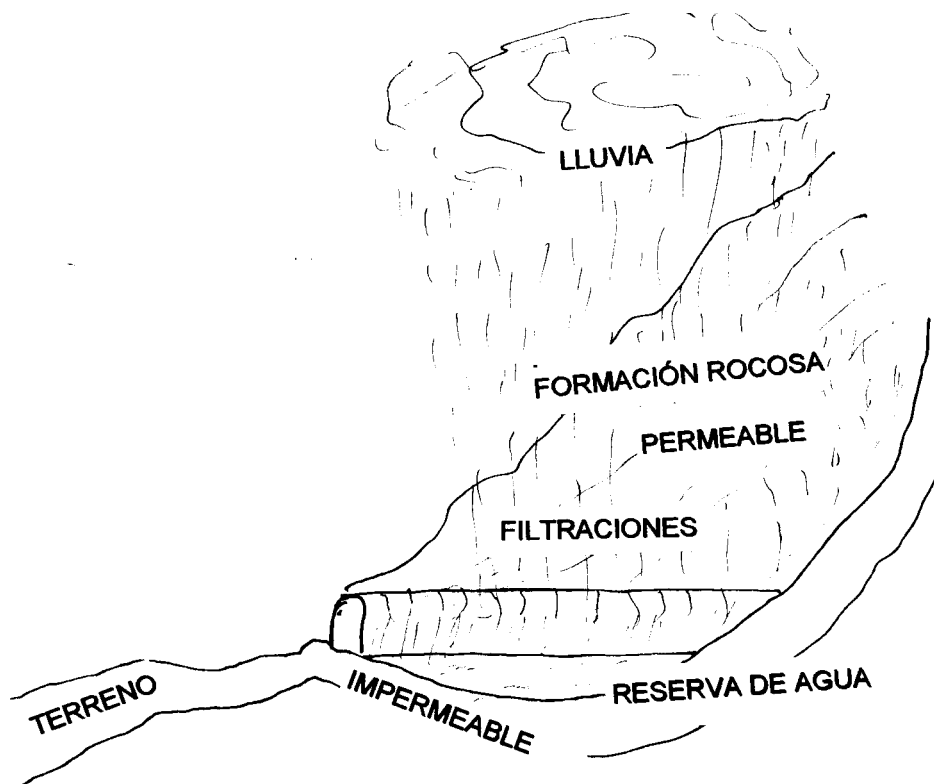


*Figura: Sondeo.*

En la actualidad los pozos suelen ser en primera instancia quizá de investigación, que no de explotación, y su diámetro es igual o inferior a 250 mm . Después de comprobar la existencia de caudales y tipos de terreno se construye por lo general el pozo de explotación, ya con algunas complicaciones más a nivel administrativo y por supuesto mayores costos.

Los pozos de explotación son el tipo de captación más generalizada e interesante, entre otras cosas porque se toma el agua que se precisa dejando el resto en stock o disponible para otro usuario del mismo acuífero.

## 2º .-CAPTACIONES EN GALERIA



La galería de captación, conjuntamente con los pozos abiertos, es la construcción más antigua, todavía existen infinidad de ellas en funcionamiento , construidas por los árabes en el siglo IX. Este tipo de captación, muy generalizada , está basada en una galería, como su nombre indica, que busca un terreno de rocas porosa o un vaso construido por terrenos impermeables que al rebosar busca la salida de la galería. Existen fuertes discusiones por algunos usuarios que pretenden, sobre todo a la vista del bajo costo de este agua, bajar los niveles del fondo de la galería (recordar lo del baso con dos grifos de párrafos anteriores) pensando que van a sacar más agua . Y en

principio es verdad, sólo que cuando el nivel del agua en el vaso llega a estabilizarse vuelve a salir la que entraba ( el grifo de arriba).No decimos que no se limpien y mantengan los cimbres, eso es otra cosa.

También desde muy antiguo existen los drenes atravesando ramblas o barrancos para recoger las aguas subalveas que por ellos circulan. Estos caudales son generalmente pequeños, típicos de las arenas.

### **Otros tipos de captaciones.-**

Son construcciones similares a las ya descritas, como son los pozos con galerías radiales, las zanjas recogiendo pequeños caudales dispersos en terrenos con características de poca filtración, etc. En este tipo de captaciones lo que se pretende es el tener agua estocada para los momentos de necesidad que se pueden considerar como los adecuados para pequeños caudales continuos. Se consigue este stock en la propia galería o en embalse próximo.

### **Parámetros de un acuífero.**

Los parámetros fundamentales por los que se rige un acuífero son la porosidad, la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento.

Las acciones físicas de extracción de agua de recarga del acuíferos por lluvias o inundaciones dependerán siempre de la capacidad de almacenamiento que tengan.

### **Porosidad de los terrenos.**

Como ya podemos intuir la cantidad de agua que pueden dar nuestros acuíferos está íntimamente relacionada con el tipo de terreno en el que están ubicados.

Digamos que un poro es un hueco en una parte sólida, por tanto en los acuíferos podremos decir que la importancia y el interés de esta porosidad estriba en su capacidad de estar ocupados por agua.

Poros muy gordos. El mejor acuífero es aquel que está situado en una falla no sellada. Imaginemos que en un terreno ha habido un hundimiento, de tal forma que se ha producido en el terreno lo que se conoce a nivel popular como “río subterráneo”. El construir un pozo en este punto nos puede permitir que toda el agua que por buzamiento de rocas, por porosidad etc., haya ido a parar a este río subterráneo la podemos captar, este evidentemente es el punto ideal para construir un sondeo. Otro punto de similares condiciones sería el de un acuífero de los comentados como cautivos con mucho agua (Recordar el ejemplo de la tubería con presión) en donde además de obtener agua suficiente la tendríamos con poco desnivel y hasta podría ser surgente. Bien, pues la cantidad de agua en este segundo caso de un material poroso entre dos impermeables depende de la porosidad.

Otros terrenos porosos todos conocemos materiales que contienen cantidades importantes de agua teniendo unos porcentajes muy bajos de retención.

Existen formas sencillas de estimar la parte sólida y por deducción la cantidad de agua en una cantidad de masa que ocupa un volumen.

### **Permeabilidad.**

Se entiende como la capacidad que tienen los terrenos de dejar pasar el agua, en riego se conoce esta expresión como percolación. Pues bien en función de esa permeabilidad un acuífero puede dejar pasar más agua o menos en función de un coeficiente del tipo de terreno aplicando a dos elementos que se multiplican entre si se puede averiguar la cantidad de agua que es capaz de pasar por una sección en función de su permeabilidad, para que lo tengamos claro es igual que en una tubería donde el caudal es igual a la sección por la velocidad que lleva el agua multiplicado por un coeficiente que contempla la obstrucción en relación a una sección limpia.

En función de la trasmisividad o capacidad de transmitir agua los acuíferos se califican con una bondad que varia desde muy alta a muy baja.

**Coeficiente de almacenamiento** se define como la cantidad de agua que puede ser liberada. Para comprender la capacidad de almacenamiento y lo que se entiende como



terreno saturado nos podemos imaginar que tenemos una maceta que llena de tierra seca la metemos dentro de un cubo con agua hasta que el agua la inunda por completo esa sería la capacidad de almacenamiento. Si extraemos la maceta del cubo y la ponemos a escurrir tendremos primero que una cantidad de agua que no ha sido capaz de retener la tierra que es liberada y sale por los agujeros, esta agua sería susceptible de ser extraída de un sondeo por una bomba, después, si hemos pesado la maceta seca antes de introducirla ahora veremos que pesa mas porque una parte del agua ha quedado retenida por la tierra produciendo un efecto de saturación y que se evaporará o saldrá por efecto de la gravedad en el tiempo pero que no sale en cantidades importantes instantáneamente como para ser extraída por esa bomba.

Esto ocurriría en un acuífero en que el coeficiente de almacenamiento coincidiría con la porosidad. En otro tipo de acuíferos como cautivos entran en juego la presión y otros efectos mecánicos.

El coeficiente de almacenamiento se define como la cantidad de agua que puede ser extraída de un prisma vertical de sección unidad y altura la del acuífero saturado, cuando se produce un descenso del nivel piezométrico igual a la unidad.

### **Ensayos de bombeo.-**

Los ensayos de bombeo son la principal herramienta de que dispone el hombre para predecir el comportamiento de un sondeo y de un acuífero. Los parámetros que se buscan son los caudales y descensos en función de estos. Todos hemos pido hablar del nivel dinámico y estático de un sondeo, digamos que el dinámico es con la bomba sacando el agua prevista y el estático con esta parada.

Para la valoración y estudio del acuífero lo que se mira son los descensos y las afecciones en otros puntos como son por ejemplo otros sondeos.

Cuando se realizan estos ensayos una de las cosas que se descubre es si es o no es suficiente la ranuración que se ha efectuado en la chapa del entubado del sondeo.

Siempre hay que tener en cuenta el tipo de acuífero que tenemos , así como las extracciones, si son o no son en régimen permanente etc.

### **Búsqueda de agua**

La realidad en estos momentos es encontrar agua, preocupándonos bastante poco las condiciones del terreno, ya que esta es más bien escasa. Esta mentalidad de su escasez nos lleva la gran mayoría de las veces a que sólo con la intuición de un zahorí nos metamos a construir un pozo con la inversión que supone, sin realizar previamente un estudio del tipo de terreno y analizar a nivel técnico, las posibilidades de que conduzca agua, así como el punto ideal de realizar la perforación. Mi opinión personal es que antes de meterse en la realización de un sondeo hay que complementar todas las posibilidades, porque es mucha la inversión.

### Los zahoríes

Quiero anticipar, y no soy zahorí, que yo creo en las posibilidades del hombre para detectar agua subterránea, no creo en que se puedan establecer cantidades, sino por deducción lógica de antecedentes del acuífero. Recuerdo aquí el estudio de Andrés Murcia Ramos, ingeniero y zahorí, que situando diversos elementos conteniendo líquidos hizo pasar por encima a 100 zahoríes, de los cuales 15 detectaron la existencia de un líquido al pasar por encima donde estaba situado, pero solamente 3 definieron cuándo estaban pasando por encima de tubos que contenían agua. Basándome en esta experiencia creo que en el hombre desde sus principios existió ese instinto, ahora en la mayoría atrofiado, y existente todavía en algunos animales como el caballo, del que se dice que es capaz de detectar la presencia de agua en el desierto, pero como dice el estudio sobre zahoríes el 97% no es real, aunque él esté convencido de que sí lo tiene.

### El aforo.

A lo largo de mi vida profesional he participado en multitud de aforos, en donde he procurado enterarme de lo que se iba ahacer, de lo que se estaba haciendo y de los resultados. Se pueden cometer una serie de fallos por falta de experiencia y por aquello de la economía mal entendida.

Me atrevo a decir que el aforo es el análisis más real del comportamiento de este sondeo en su vida natural y que nos va a decir con más exactitud que nada qué

posibilidades tenemos y en consecuencia qué previsiones podemos tener de plantaciones y de instalaciones con esas posibilidades de agua, que además será lo verdaderamente caro

Antes de iniciar un aforo el técnico debe de tener estudiados todos los datos que va a precisar para analizar con la mayor profundidad el pozo y el acuífero, no vale improvisar.

Entiendo que la Comunidad es la primera y principal interesada en no equivocarse. Por esto el aforo se debe analizar muy bien, estableciendo la mejor época para su realización, se deben implicar los responsables, no vale con que nos lo cuenten, se debe estar presente durante su ejecución, no cabe el que se pretenda economizar gasoil bajando las revoluciones del motor por la noche, no cabe el tener prisas con el riesgo de producir derrumbes en el pozo que nos pueden abollar la tubería de la camisa del pozo, con la consiguiente dificultad para la extracción de la bomba, no cabe el que por abrir inicialmente e irresponsablemente las válvulas a tope se nos descuelgue arena al limpiar los veneros del pozo. Se debe poner la bomba en marcha poco a poco, comprobando en la parte inferior del tubo que no se nos depositan arenas en la mano y con el número de horas suficiente como para darnos una garantía de que el caudal que pretendemos extraer lo aporta el acuífero. Comprobar que no bajan los niveles en número importante de horas.

### **Estudios del tipo de terrenos. Prospección geofísica.**

Es la ciencia que partir de fenómenos físicos, trata de conocer los materiales en el subsuelo, así como sus características y posibilidades. En el caso nuestro de contener o transportar agua.

Existen diversos métodos para la realización de estudios del tipo de terreno que tenemos y analizar las posibilidades de que contengan o conduzcan agua.

Estos métodos son el magnético, gravimétrico, eléctricos, electromagnéticos, sísmicos, radiactivos y térmicos. De estos los mas extendidos son los eléctricos y los sísmicos.

### **Métodos eléctricos:**

Comentamos solamente el eléctrico resistivo como mas conocido

**Método eléctrico resistivo.-** Este método, en apariencia sencillo, tiene sus complicaciones, fundamentalmente en la interpretación de los datos de campo en comparación con curvas patrones, por lo que no es fácil su aplicación por personal no profesional.

Se basa en la descarga a través de electrodos no polarizables de descarga y captaciones de corrientes, que para llegar a determinados puntos han de atravesar el terreno, pudiéndose establecer con bastante aproximación la resistencia de estos terrenos al paso de la corriente en función de su resistividad con en relación a datos patrón de tipos de terreno.

La unidad de medida es el ohmio/metro, que correspondería a un conductor de 1 metro cuadrado de sección por un metro lineal y que permite pasar una intensidad de un 1 amperio cuando se aplica en ambas caras una diferencia de potencial de 1 voltio.

Sólo se admiten como conductores de electricidad los materiales metálicos y sus sales, los demás se consideran resistivos o aislantes. Naturalmente las resistividades de los distintos materiales vendrán afectadas por su capacidad de contener agua así como el tipo de agua. No es lo mismo que su porosidad esté ocupada por mucho agua de mar o poca, no es lo mismo que su porosidad esté ocupada por mucha que por poco agua dulce, así como de su pureza.

Está establecida una resistividad de 0,03 ohmios/metro para agua de mar y 3000 ohmios/metro para agua pura destilada.

Resistividad para un terreno saturado = resistividad del agua / porosidad en tanto por uno .

Si el terreno no está saturado entonces habría que multiplicar por S, que representa la saturación al denominador.

Resistividad terreno no saturado = resistividad del agua/( porosidad en tanto por uno. x S) 2

Como se puede empezar a intuir se comprende que no se puede clasificar

No se pueden clasificarlos terrenos solo por la resistividad ya que influye mucho en ellos la porosidad y esta es afectada por la cantidad de agua que contiene y de su calidad.

Resistividades de algunos materiales.

Unidades en ohmios/metro.

|                                                   |              |
|---------------------------------------------------|--------------|
| Agua subterránea en granito<br>y roca hipogénica. | 20-100       |
| Aguas subterráneas en<br>calizas y acarreos.      | 20-50        |
| Aguas salobres                                    | 1-10         |
| Aguas potables superficiales.                     | 20-300       |
| Agua de mar.                                      | Menor de 0,2 |
| Agua destilada                                    | Mayor de 500 |
| Arcillas y margas                                 | 10-100       |
| Calizas y areniscas                               | 50-3000      |
| Pizarras.                                         | 50-300       |
| Rocas hipogénicas y<br>Metamórficas.              | 100-10000    |

|         |           |
|---------|-----------|
| Gravas. | 100-10000 |
| Arenas. | 130-1000  |
| Limos.  | 30-500    |

Toma de datos:

Se colocan en la zona a medir unos electrodos, imaginemos colocados en forma de cuadrado teniendo en cada esquina uno y enviamos corriente, los conectamos de tal forma que por dos medimos intensidades y por otros dos medimos tensiones. De la diferencia de tensiones y el punto inicial emitidas podemos medir las resistividades. Claro si el terreno fuese de un solo material lo tendríamos resuelto, bastaría con comparar la resitividad obtenida mediante una formula que relaciona el potencial creado, con la intensidad registrada, con las longitudes y sabríamos de que resistividad estamos hablando y en consecuencia conocer los materiales el problema se complica cuando la resistividades obtenidas no son reales sino aparentes, mezcla de las resitividades de los distintos materiales.

Por esta complicación es necesario recurrir a gráficas prototipo que nos permitan efectuar comparaciones y sacar conclusiones. Este tipo de sondeos se conocen como sondeos eléctricos vertical SEV.

El equipo que se precisa para efectuar estos sondeos electricos verticales consiste en una fuente de energía, cables que permitan enlazar los electrodos de corriente y potencial con los equipos de medida y un equipo de medida compuesto por un galvanómetro, un amperímetro y un milivoltímetro..

Los datos que pretendemos tomar son los necesarios para relacionar el potencial/intensidad.

Naturalmente las distintas curvas de resistividad nos van a decir una vez interpretadas los materiales existentes y si existe una falla próxima, en la que colocar nuestro sondeo.

## Métodos sísmicos .

Cuando hablábamos de los distintos espesores de que está formada la tierra ya mencionamos los sismógrafos que funcionaban por métodos naturales y artificialmente naturales eran los movimientos sísmicos y artificiales las explosiones provocadas por el hombre, que provocan ondas longitudinales o de compresión, transversales o de cizalla y ondas superficiales.

Este sistema está basado en la refracción de las ondas, algo así como la recepción de nuestra voz en el eco de una montaña o la ida y vuelta de las olas en un estanque cuando tiramos una piedra “gordota” en el centro.

Sin entrar en profundidades con este sistema, solo mencionarlo como uno importante aunque no empleado en la practica en las cosas de cada día podemos decir que se trata de emitir y recibir tres tipos de ondas, que en función del terreno que encuentre se reflejaran y que se emplea para estudios mas importantes, aunque en la posguerra se utilizo mucho, para el conocimiento de fallas, cauces enterrados etc.

Ondas longitudinales o de compresión. Son de los tres tipos de ondas las más rápidas funcionan por el medio como sinusoides (recordar las ondas de la corriente eléctrica que pasa de positivo a negativo y al revés describiendo una senoide). Se transmite en todas las direcciones y con fenómenos de compresión y deformación. La velocidad viene definida por velocidad de la onda en m/seg. definida por el módulo de Poisson, el módulo de elasticidad del terreno en  $\text{tm/m}^2$ , aceleración de la gravedad en  $\text{m/seg}^2$  y el peso específico en  $\text{ton/ m}^3$

También como en el método eléctrico se comparan los efectos de rebote de la ondas con velocidades ya conocidas de propagación del sonido en distintos materiales.

El equipo para la realización de estos trabajos puede constar de:

Dispositivo de explosionar cargas unido eléctricamente al elemento registrador donde queda marcado el tiempo de inicio de la explosión.

Captoreos y geófonos para capturar las ondas.

Elementos de amplificación de las señales.

Registro de señales.

Movimientos del agua en el suelo

Ya hemos mencionado que el mejor análisis de lo que ocurre en un acuífero se puede obtener con sondeos de investigación y personalmente opino que con un estudio hidrogeológica, por ejemplo sondeo vertical eléctrico SEV, por aquello de las posibles fallas sitios ideales si no están selladas para las captaciones.

No obstante un estudio de fotografía aérea donde puedan aparecer las fallas del terreno ( se ven como rallas discontinuas, por las zonas de sellado) una visión de las rocas donde se pueden observar las sombras provocadas por el sol que nos dicen los buzamientos de las rocas, colorear con productos no tóxicos un agua y tratar de localizar por donde sale, meter una cámara adecuada para escanear sondeos, etc. nos pueden dar ideas de los movimientos del agua en el suelo.

Un movimiento de agua peligroso en un sondeo es que desde que ponemos en marcha el sondeo hasta que paramos el nivel dinámico no se estabilice, puede indicar que tenemos el pozo en una cubeta de la que estamos extrayendo mas agua que recarga tiene, se recomienda consultar a especialista, asi como controlar niveles de otros sondeos del mismo acuífero.

También me quiero referir aquí a las posibles intrusiones marinas y fundamentalmente a las aguas salobre de un sondeo.

Cuando en un sondeo sacamos agua con una fuerte salinidad lo primero que pensamos además del dinero gastado es que estemos hablando de intrusión marina, cuando a lo mejor nos estamos encontrando con que de las distintas zonas en que entre el agua en un sondeo tenemos una zona de yesos que nos producen ese grado de salinidad. Nos parece importante el que se mida su salinidad, así como otros datos del agua como son el PH, la temperatura, la variación de niveles en invierno y verano



(niveles estáticos y dinámicos) los caudales extraídos y el tiempo de su extracción, ya que se puede mediante un entubamiento aislar esa parte del acuífero y tomar aguas de los que no atraviesan esa zona de yesos.

Volviendo a la intrusión marina es complicada de estudiar por las muchas variantes que se dan, pero sepamos que hay una zona de mezcla, que se puede estudiar. Que una buena solución para que no entre agua es haciendo que haya un equilibrio, siempre con reservas, y que las aguas se pueden depurar y filtrar en el subsuelo evitando la intrusión. El mejor filtro para el agua es el terreno, lo que no quiere decir que podamos tomar aguas residuales e infiltrarlas en el subsuelo. Se dice que en algunas ciudades importantes del mundo, como San Francisco el agua se llega utilizar has 7 veces para uso humano.

Hacer un llamamiento a no contaminar, a reutilizar todo lo que nos sea posible, fundamentalmente el agua bien escaso y base de la vida.

Libros consultados:

CURSOS DE INGENIERIA HIDRÁULICA APLICADA ALOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE LA UPV. UD MECANICA DE FLUIDOS.

AGUAS SUBTERRANEAS DE ANDRES MURCIA RAMOS.

PUBLICACIONES DE LA FAO.

PUBLICACIONES DE LA UNESCO 1971

PUBLICACIONES DE LVOVITCH 1967