



Universidad
Politécnica
de Cartagena

ABASTECIMIENTO DE AGUAS

TEMA 3
Captación
de aguas
subterráneas

Francisco Javier
Pérez de la Cruz

ANTECEDENTES HISTÓRICOS



*Pozo de Calíchoron
(Elefsina, Grecia)*

La utilización del agua subterránea para abastecimiento es tan antigua como la historia, realizándose incluso en la época paleolítica.

Existen restos arqueológicos de captaciones subterráneas realizadas por los Persas y los Medos (8000 a. C.).

En la Biblia se menciona el pozo que Jacob (2000 a. C.) compró a Hanor por cien monedas de plata (Gn 33,19) y junto al cual Jesús entabló conversación con una mujer samaritana (Jn 4, 1-42). El “pozo de Jacob” se encuentra ubicado cerca de Nablus (Cisjordania) y tiene un diámetro de 3 m con una profundidad de 32 m.

Olimpiódoro de Tebas, autor egipcio del siglo V, señala la existencia en la zona del Gran Oasis de “numerosos pozos excavados que permiten asegurar la irrigación, dándose hasta dos o tres cosechas al año”.

EJEMPLO

ENTRADA AL POZO DE JACOB

Fotografía tomada en 1894



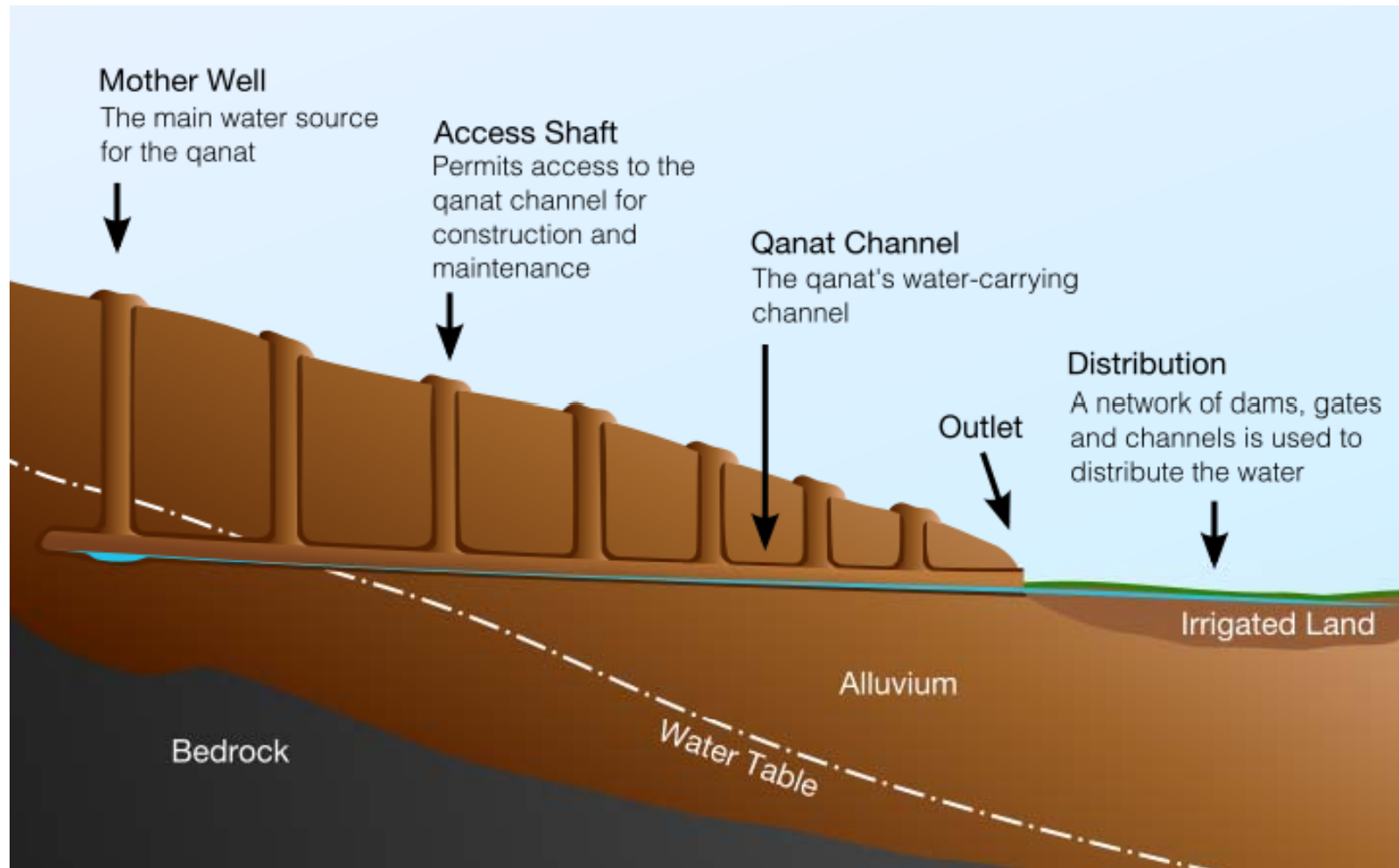
Una técnica que se viene utilizando desde el siglo X a. C. hasta la actualidad es el qanat, galería o túnel construido con el fin de captar aguas subterráneas que presenta una serie de pozos debidamente espaciados, con el fin de asegurar la ventilación y facilitar la construcción y el mantenimiento.

El qanat surgió probablemente en la antigua Persia, llegando mediante la Ruta de la Seda hasta China.

Bajo la dominación romana, se llevaron a cabo amplios proyectos de construcción en Siria y Egipto. La expansión musulmana llevó el qanat a Sicilia y a la península ibérica, desde donde pasó a América.

Actualmente, y a pesar de la existencia de nuevas técnicas, sigue siendo un importante método de irrigación. En Irán, hay alrededor de 20.000 activos. El mayor y más antiguo, situado en la ciudad de Gonabad, provee agua a 40.000 personas.

En España se encuentran, sobre todo, en el sureste peninsular y en Canarias. Fuera de estas zonas destacan algunos como el de Fuentelapeña (siglo IX), descubierto en Zamora en diciembre de 2006, o los famosos “viajes del agua” que abastecían Madrid (siglo VIII).



Esquema de un qanat, donde se aprecia el canal horizontal, el pozo principal (o pozo madre), así como los diferentes pozos de acceso

EJEMPLO

QANAT DE ANSHAN (IRÁN)



EJEMPLO

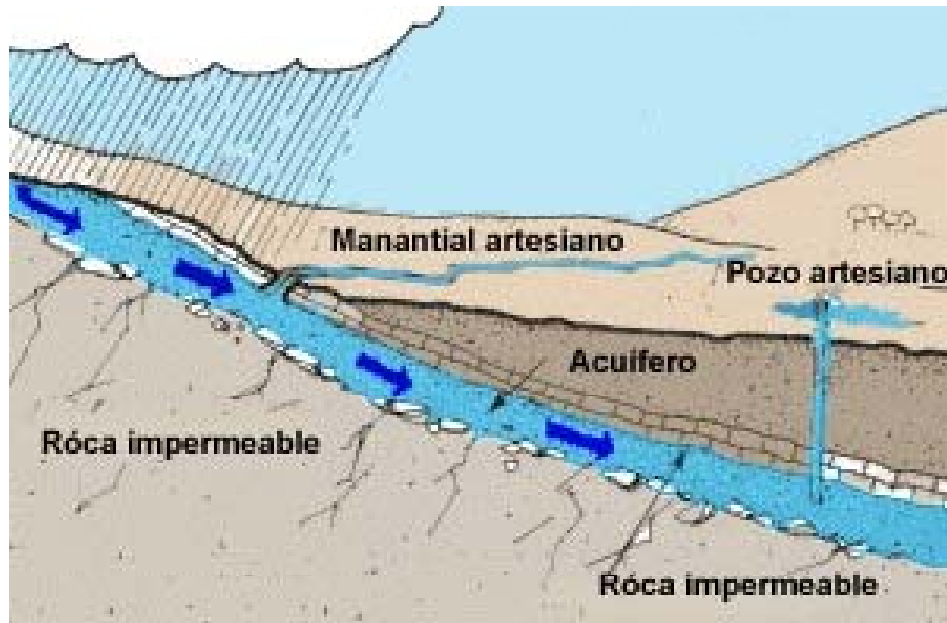
QANATS DE FUENTELAPEÑA (izqda.)

Y DE MADRID (dcha.)



Los pozos artesianos (pozos con un nivel piezométrico situado por encima del nivel freático del acuífero) se denominan así debido a que se cree que el más antiguo de Europa se realizó en la ciudad francesa de Artois en 1126.

Sin embargo, ya en los siglos VIII y IX se habían realizado pozos de este tipo en la zona septentrional de Italia. Esto queda recogido en el escudo de la ciudad de Módena, que contiene dos barrenas de fontanero.

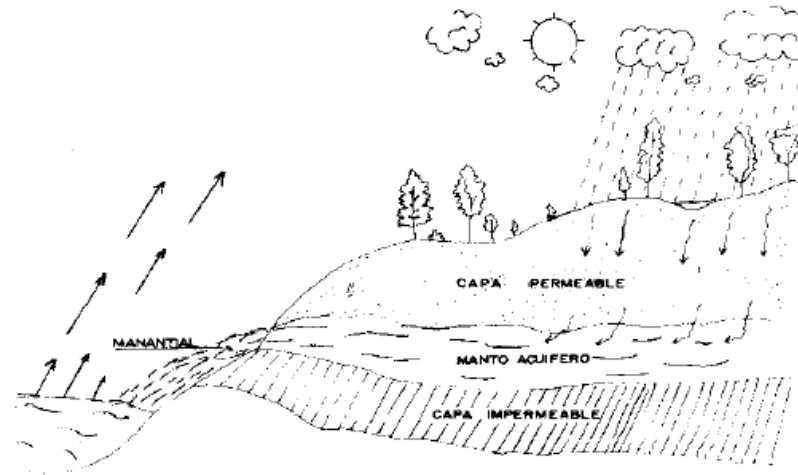


CAPTACIÓN DE MANANTIALES

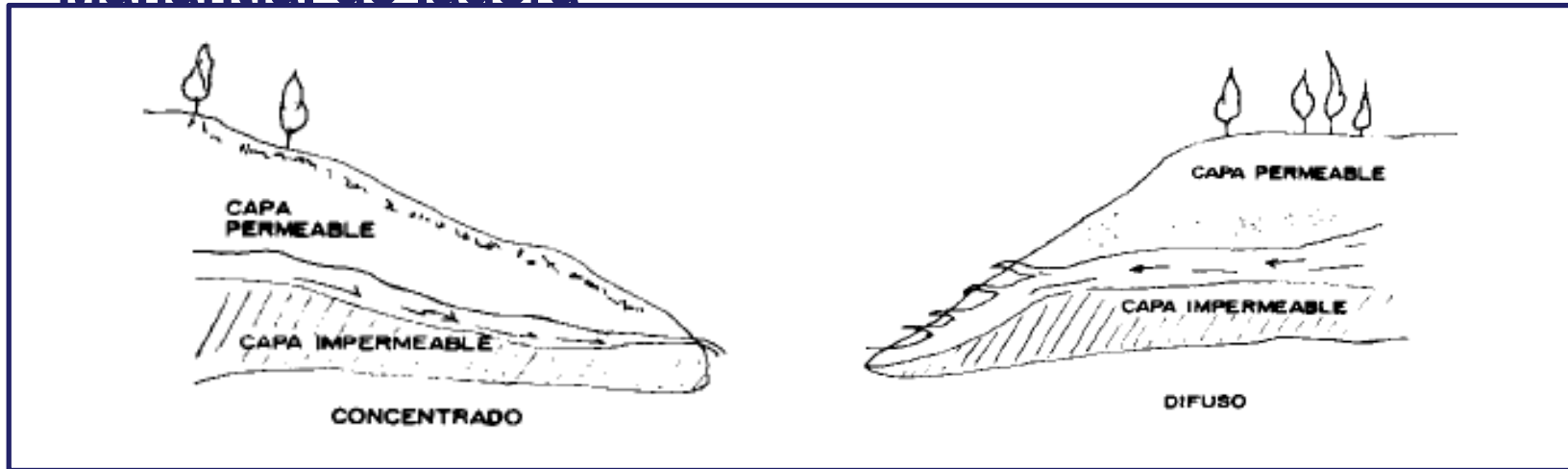
Un manantial es el lugar donde se produce el afloramiento natural de agua subterránea. Por lo general el agua fluye a través de una formación de estratos con grava, arena o roca fisurada (material permeable). En los lugares donde existen estratos impermeables, éstos bloquean el flujo subterráneo de agua y permiten que aflore a la superficie.

Los manantiales se clasifican en función de su ubicación (de ladera o de fondo) y su afloramiento (concentrado o difuso).

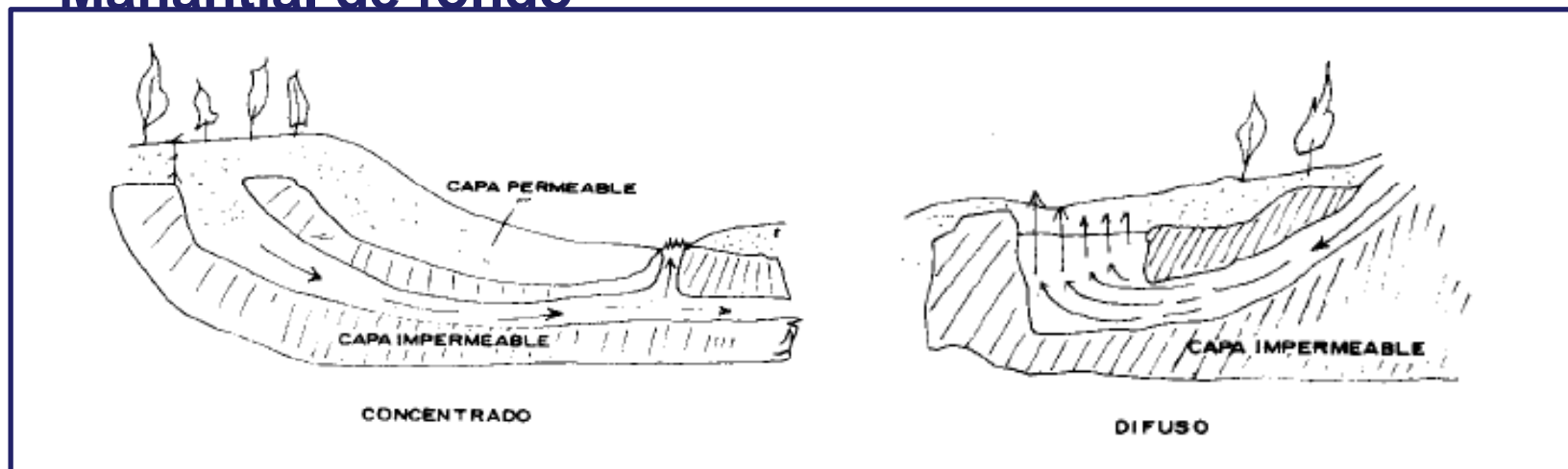
En los manantiales de ladera el agua aflora en forma horizontal; mientras que en los de fondo el agua aflora de forma ascendente hacia la superficie. Para ambos casos, si el afloramiento es por un solo punto y sobre un área pequeña, es un manantial concentrado y cuando aflora el agua por varios puntos en un área mayor, es un manantial difuso.



Manantial de ladera



Manantial de fondo



EJEMPLO

MANANTIAL DE AGUA DULCE

Puerto de Otsondo (Navarra)



EJEMPLO

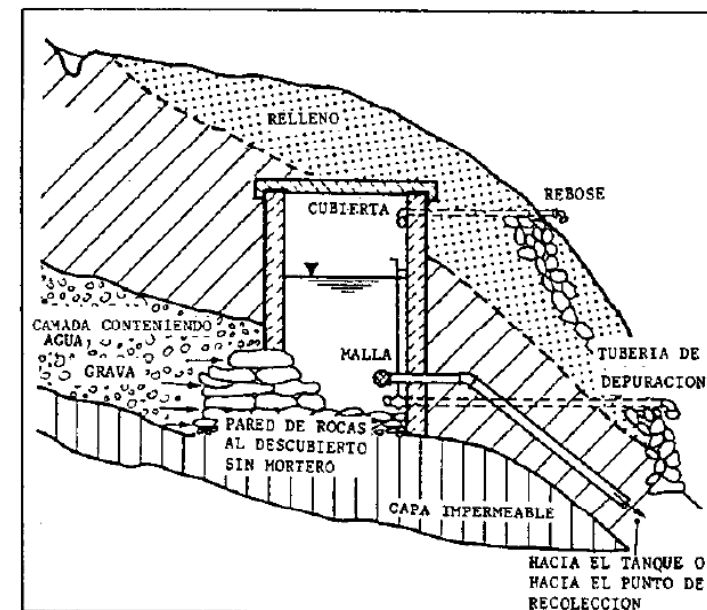
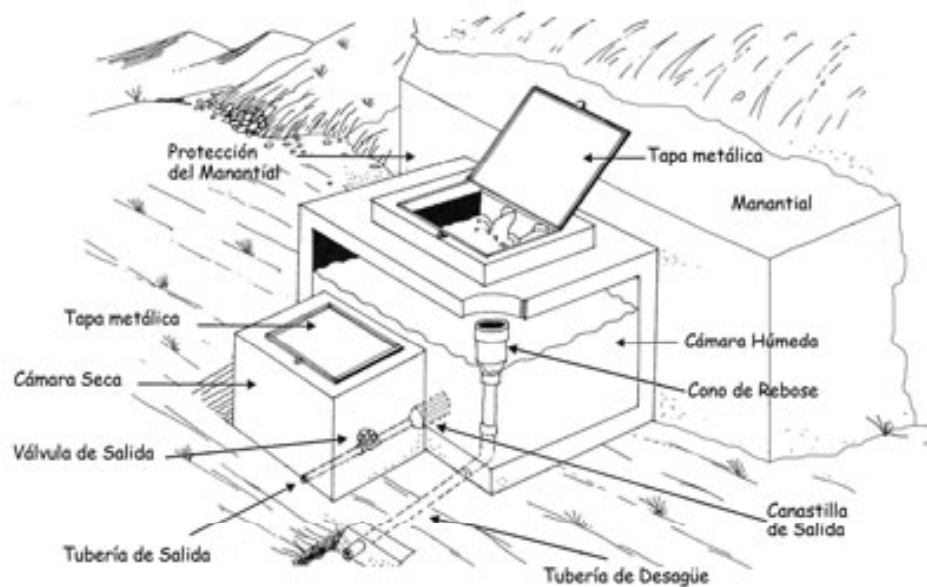
MANANTIAL DE AGUA SALOBRE

Estella (Navarra)



Las tomas o arquetas para captación de manantiales deben construirse con materiales inertes, que no se disgreguen, evitando la posible obstrucción de las venas líquidas. Asimismo, es importante la impermeabilización en sentido contrario, es decir, evitar la posible contaminación de las aguas del manantial por agentes externos.

Normalmente, en lo referente a captaciones, si el manantial es concentrado se dispone una arqueta ajustada al tipo de manantial y a la forma de aflorar el agua.



EJEMPLO

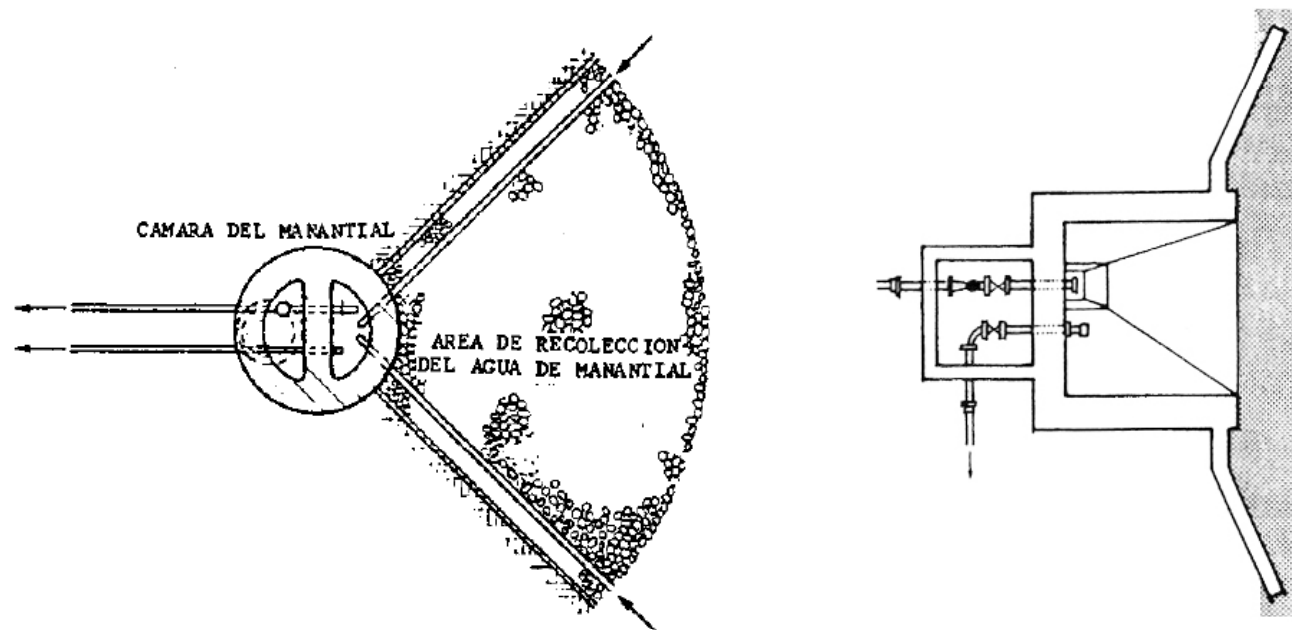
MANANTIAL DEL OJO

Villabuena (Soria)



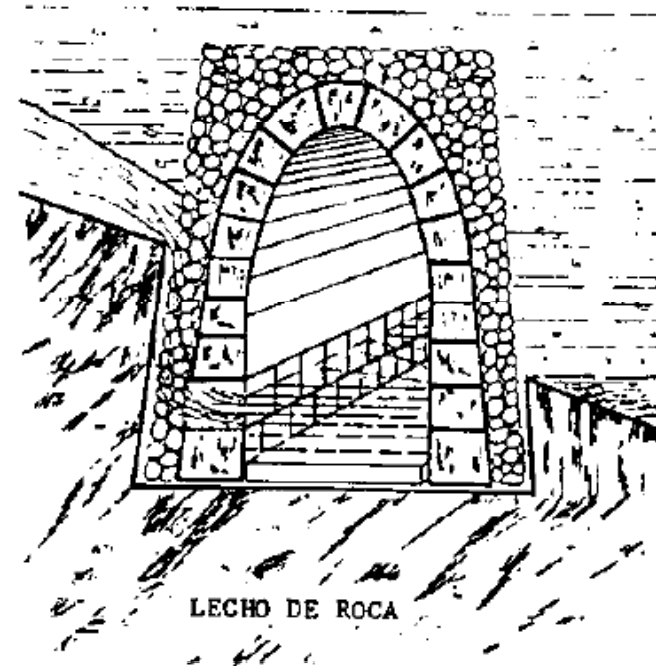
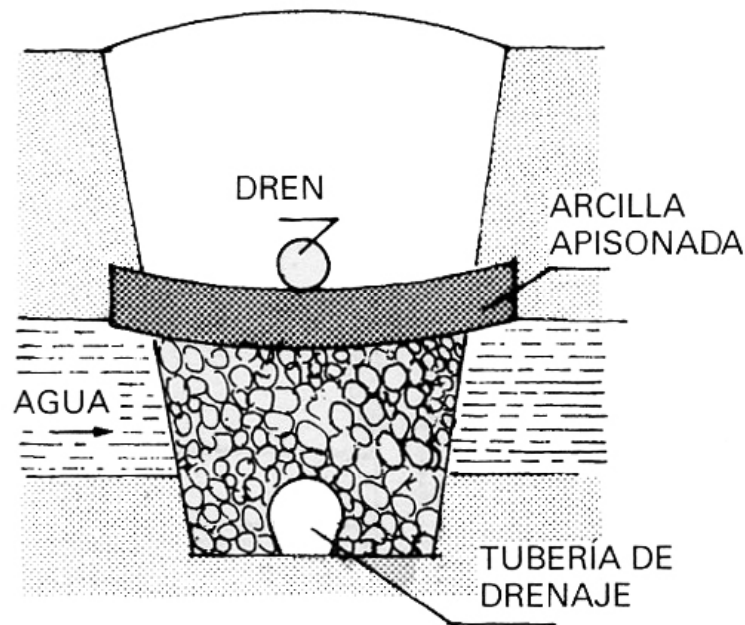
Cuando el manantial es difuso, es decir, las aportaciones se reparten a lo largo de un frente, una solución es llevar a la arqueta los caudales captados mediante un drenaje.

La operación anterior se completa con la construcción de muros interceptores, situados aguas abajo de los drenes, permitiendo y facilitando un mayor rendimiento de la captación.



También se puede disponer de zanjas de avenamiento, como elemento de captación del manantial. Deben ser lo más sencillas posible.

En el caso de manantiales ubicados en zonas de roca fisurada, se pueden usar tuberías rellenas de grava o se puede recolectar el agua mediante túneles o galerías



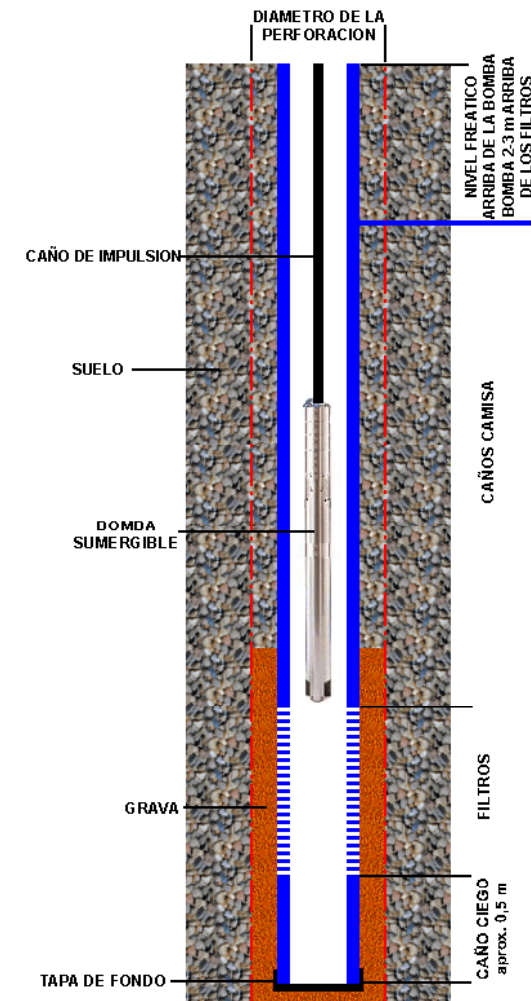
Zanja de avenamiento (izqda.) y túnel (dcha.) para la captación de manantiales

POZOS

Un pozo se define como un hueco cilíndrico excavado en el terreno (bien manualmente, bien con maquinaria), con diámetro y profundidad variable, que al atravesar un lecho permeable permite la afluencia del agua hacia el mismo mediante la disposición de material adecuado.

Un factor a tener en cuenta es el huso granulométrico del terreno natural permeable, en cuanto a la relación entre la velocidad del flujo de agua de aportación y el arrastre de los finos de dicho terreno (se tomará como velocidad admisible el 50% de la velocidad recogida en la clasificación de Thiem):

Diámetro (mm)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
Velocidad (m/s)	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18

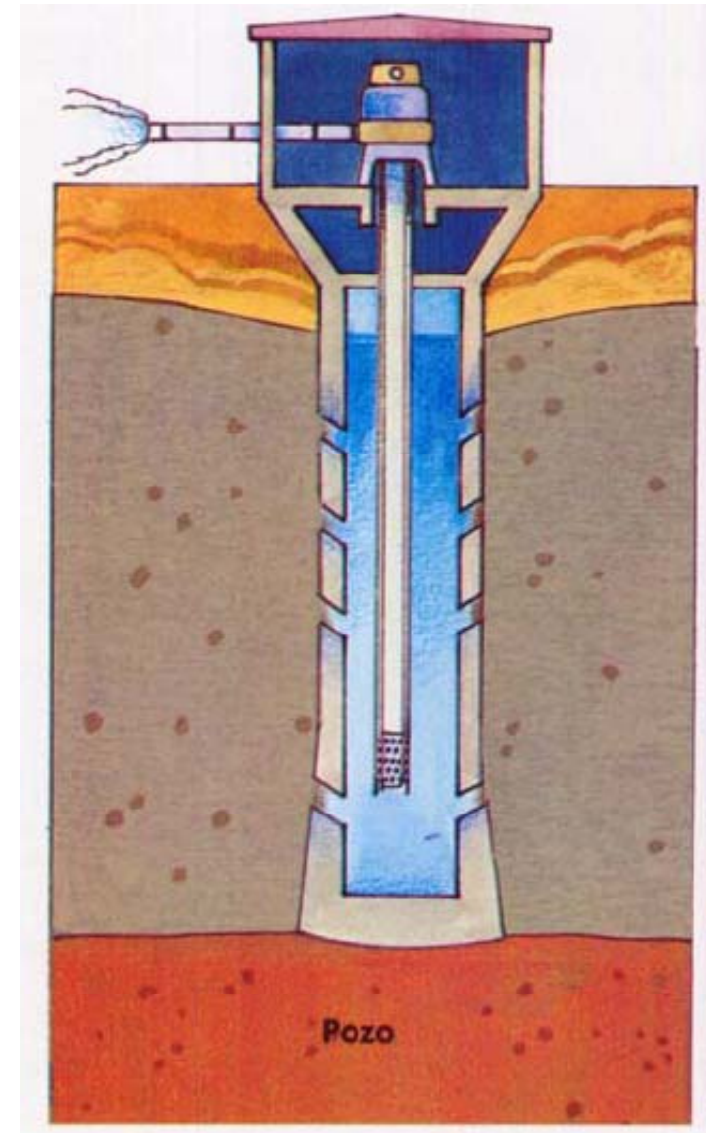


Los pozos presentan, en general, un diámetro entre 1,5 - 8 metros, con una profundidad moderada (decenas de metros), aunque existen realizaciones que superan la centena.

Los pozos, se revisten de ladrillo hueco o de aros de hormigón que tienen unos orificios para que pase el agua.

Los problemas básicos de este tipo de captación lo constituyen el achique del agua y la seguridad del personal. En este último aspecto debe considerarse la problemática de los desprendimientos, solucionable mediante zunchos o entibaciones provisionales que pueden irse introduciéndose a medida que se va excavando el pozo o de revestimientos definitivos.

La obtención del agua se realiza mediante bombas que pueden ser sumergidas o estar en cámaras secas.



La capacidad de captación de un pozo es la siguiente:

$$Q = \mu \cdot S \cdot \varphi \cdot V$$

Q = caudal afluyente al pozo (m^3/s)

S = superficie geométrica de fluencia del pozo (m^2)

V = velocidad de Thiem (m/s)

φ = coeficiente reductor de la velocidad de Thiem (normalmente = 0,5)

μ = coeficiente por el que hay que multiplicar la sección geométrica de fluencia para obtener la sección real de entrada que ofrecen los poros del terreno; el valor de este coeficiente está limitado por los valores siguientes:

$\mu = 0,03$ en terreno con materiales gruesos y finos

$\mu = 0,27$ en terreno con materiales gruesos

EJEMPLO

POZO DEL CLAUSTRO

Monasterio de Uclés (Cuenca)



EJEMPLO

POZO EN EL CAMPO

Villa de Ves (Albacete)



EJEMPLO

POZO AMARGO

Casco histórico de Toledo



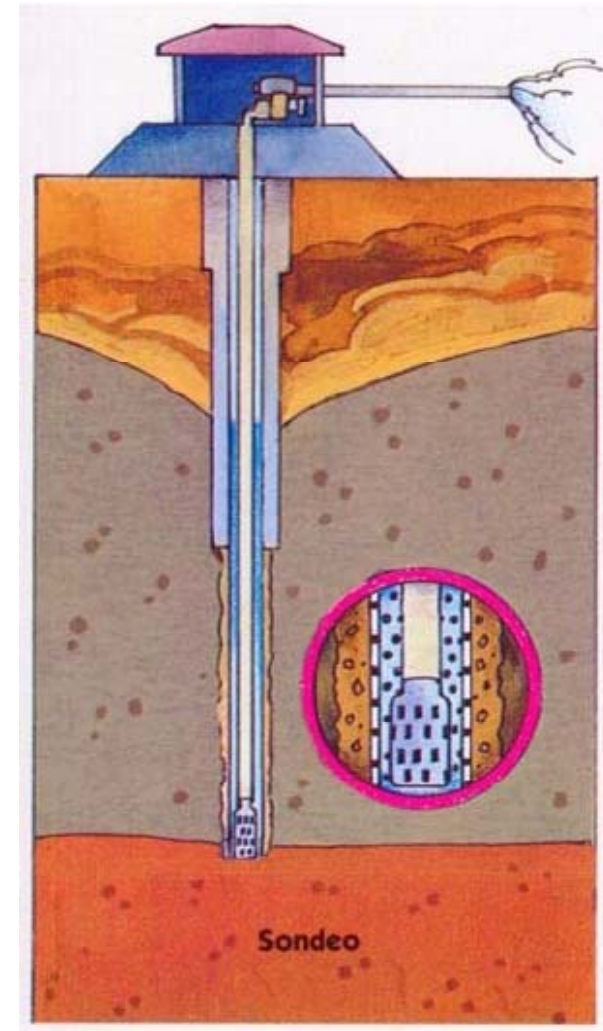
SONDEOS

Son perforaciones verticales realizadas por medios mecánicos con diámetros relativamente reducidos (40 - 80 cm).

Presentan la ventaja de que pueden alcanzar grandes profundidades y tienen un coste normalmente inferior a cualquier otro tipo de captaciones (por eso son las más extendidas).

Los sondeos se revisten de tuberías metálicas con numerosas ranuras u orificios a lo largo de ellas para permitir el paso del agua.

A veces el acuífero tiene arenas muy finas que son arrastradas por el agua en su movimiento. Para que ésta salga limpia se colocan unos filtros entre la pared del sondeo y la tubería ranurada. Estos filtros pueden estar constituidos por gravas de tamaños adecuados.



EJEMPLO

COLOCACIÓN DE LAS REJILLAS



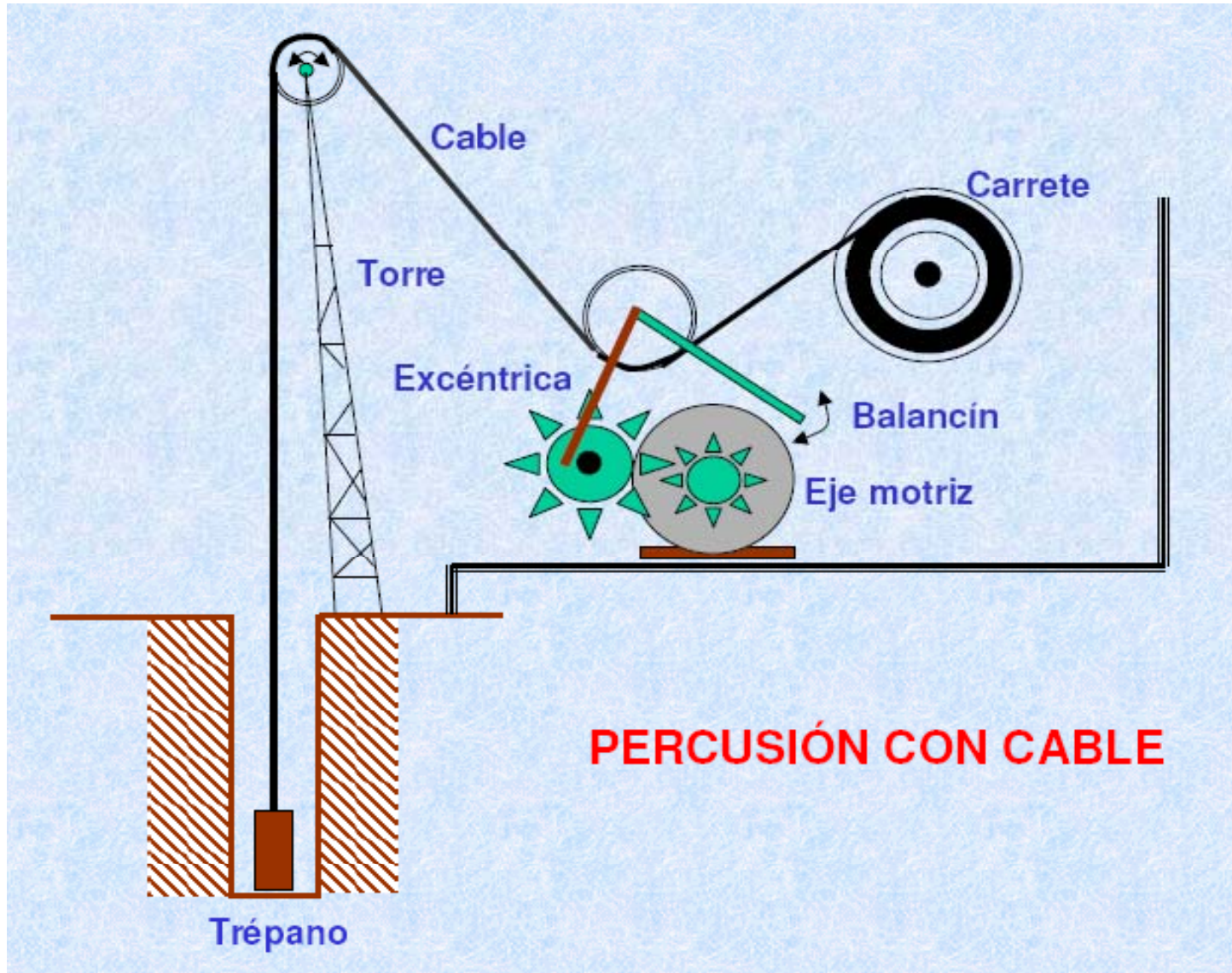
Los sistemas más comunes utilizados en perforación son la percusión, la rotación y la rotoperCUSión.

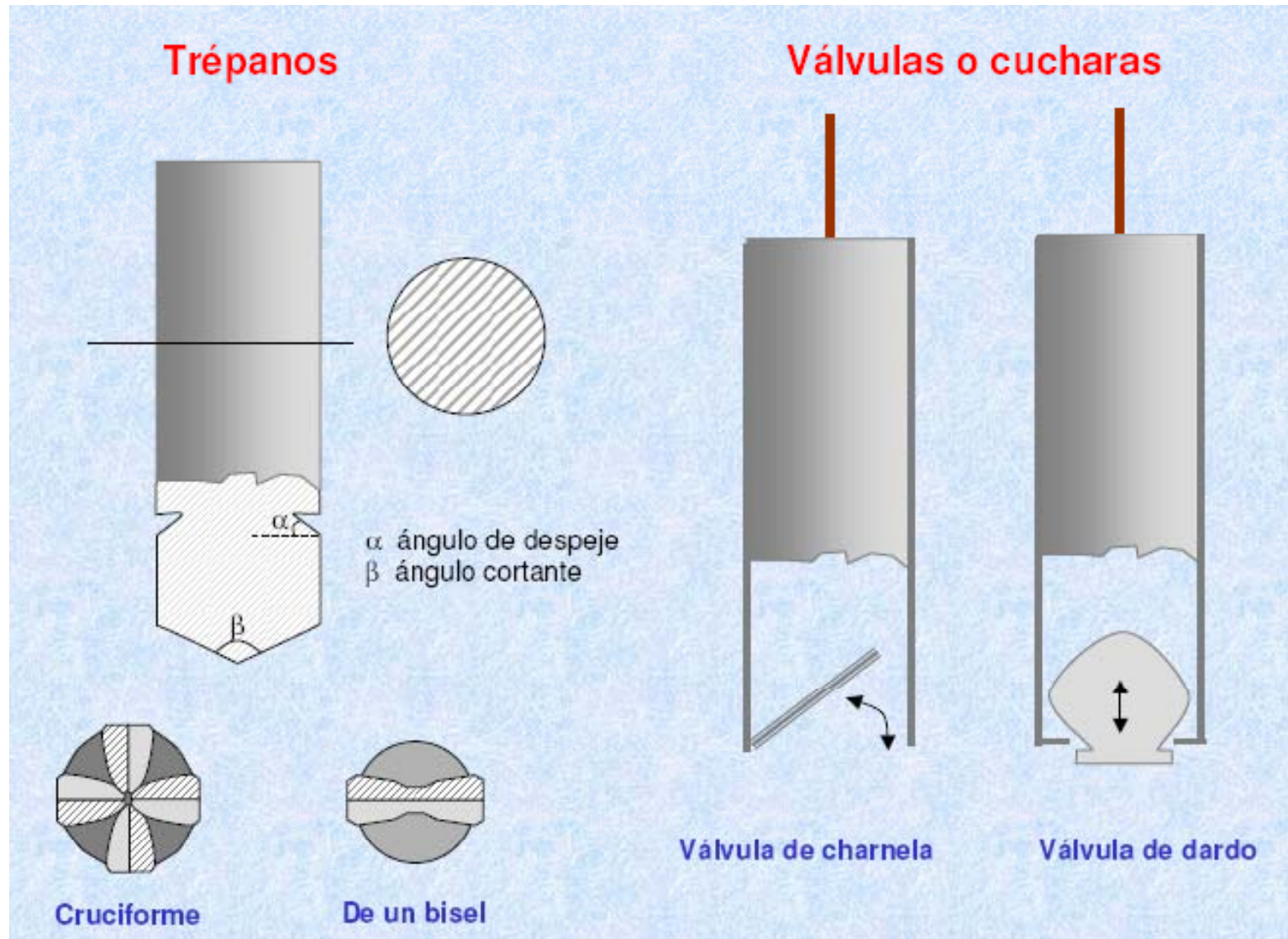
- 1) Percusión → Consiste en la perforación mediante el movimiento alternativo de subida y bajada de una gran masa (trépano) que va fracturando o disgregando la roca.

El detritus es extraído por medio de cucharas de limpieza, que son unos tramos de tuberías, terminados en su parte inferior en una válvula, que puede ser plana, de dardo y de émbolo. Para que las partículas se mantengan en suspensión se suele añadir agua.

Pueden darse dos casos:

- a) *Formaciones rocosas coherentes o consolidadas*, en las que la perforación se realiza sin necesidad de que siga inmediatamente al avance el revestimiento, pudiéndose incluso prescindirse definitivamente de él.
- b) *Formaciones no coherentes, granulares o arcillosas*, en las que es necesario que la entubación de revestimiento siga de cerca al avance de la perforación.





EJEMPLO

SONDEO A PERCUSIÓN



EJEMPLO

SONDEO A PERCUSIÓN

Trépano de perforación



EJEMPLO

SONDEO A PERCUSIÓN

Válvulas de charnela (izqda.) y de dardo



2) Rotación → El arranque de las partículas se realiza mediante el giro de una herramienta de corte que es impulsada por un varillaje. El detritus es extraído por medio de un fluido.

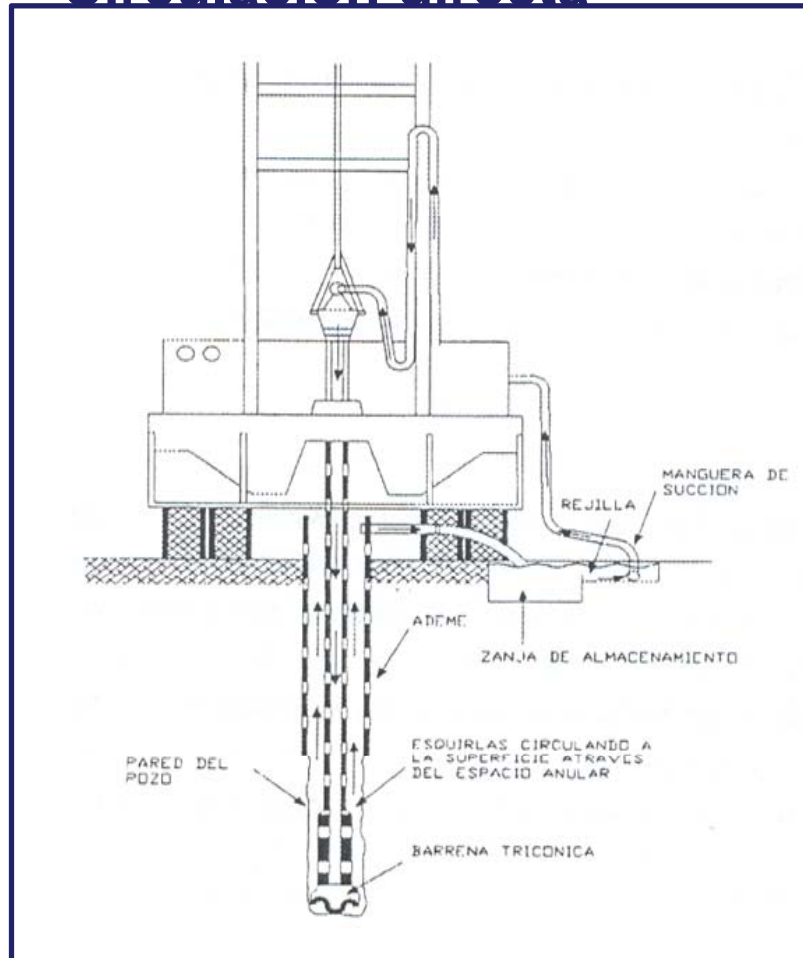
Podemos distinguir entre:

a) *Circulación directa*, en la que el fluido impulsado por una bomba, circula por el interior del varillaje, para retornar al exterior por el anular existente entre el varillaje y la pared del pozo arrastrando el detritus.

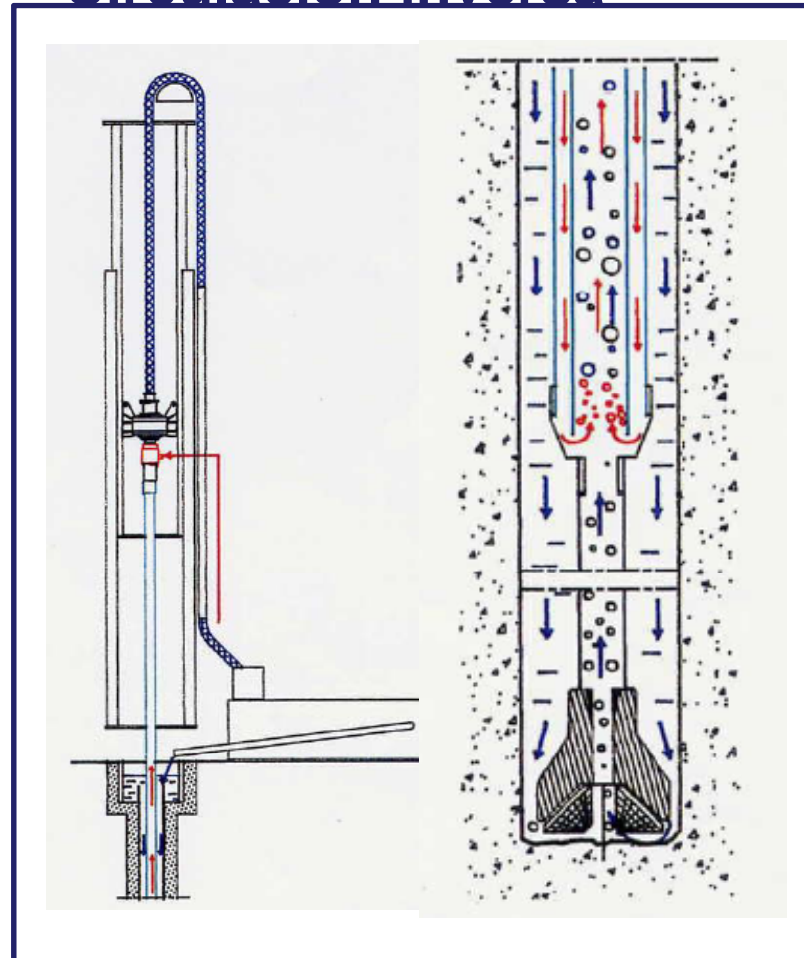
La circulación directa no se debe utilizar en sondeos de captación de agua, pues requiere el uso de lodos bentoníticos (que impermeabilizan el pozo) para el arrastre de los detritus.

b) *Circulación inversa*, en la cual, por medio de una bomba y un varillaje de doble pared se aspira el lodo del fondo del sondeo. Un compresor inyecta aire en el interior de la columna de perforación con el fin de reducir la densidad de la mezcla. En circulación inversa se emplea lodo natural.

Circulación directa



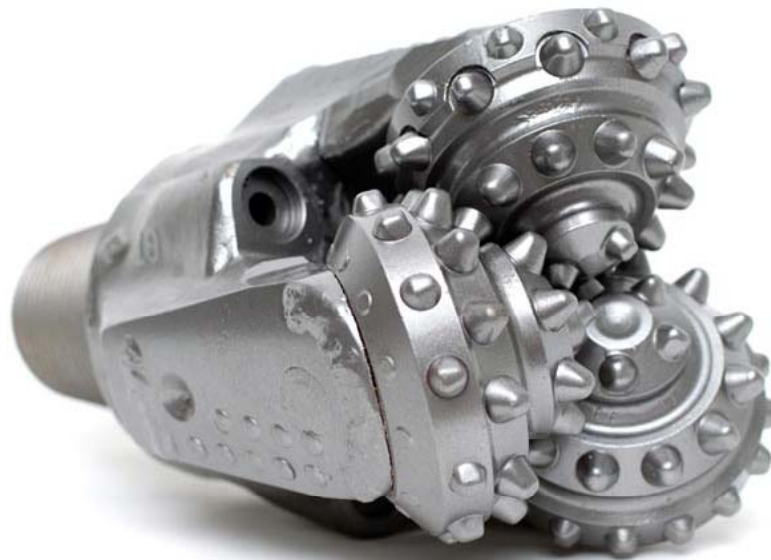
Circulación inversa



Los útiles de corte a emplear se denominan barrenas de rodillos.

Están formadas por un cuerpo fijo que sirve para unir las al varillaje por medio de rosca y para soportar los rodillos. Estos rodillos pueden ser biconos, triconos, cuatriconos, etc. Cada uno de estos conos se denomina piña. También existen rodillos con forma de aletas.

La parte fija tiene interiormente unos orificios para la circulación del fluido de perforación, dispuestos de forma que sirven para limpiar y refrigerar las piñas.



EJEMPLO

SONDEO A ROTACIÓN

Circulación inversa



EJEMPLO

SONDEO A ROTACIÓN

Trialetas (izqda.) y triconos



- 2) Rotopercusión → Esta técnica combina las dos anteriores y se suele emplear en rocas duras donde los sistemas de rotación no serían económicos.

Utiliza un martillo de fondo, accionado por la inyección de aire comprimido, que se encuentra sometido al mismo tiempo a un efecto de giro transmitido por el varillaje desde la superficie.

El aire asciende por el espacio anular del sondeo arrastrando los detritus de perforación, al mismo tiempo que ejerce una acción de lubricado del mecanismo de perforación.

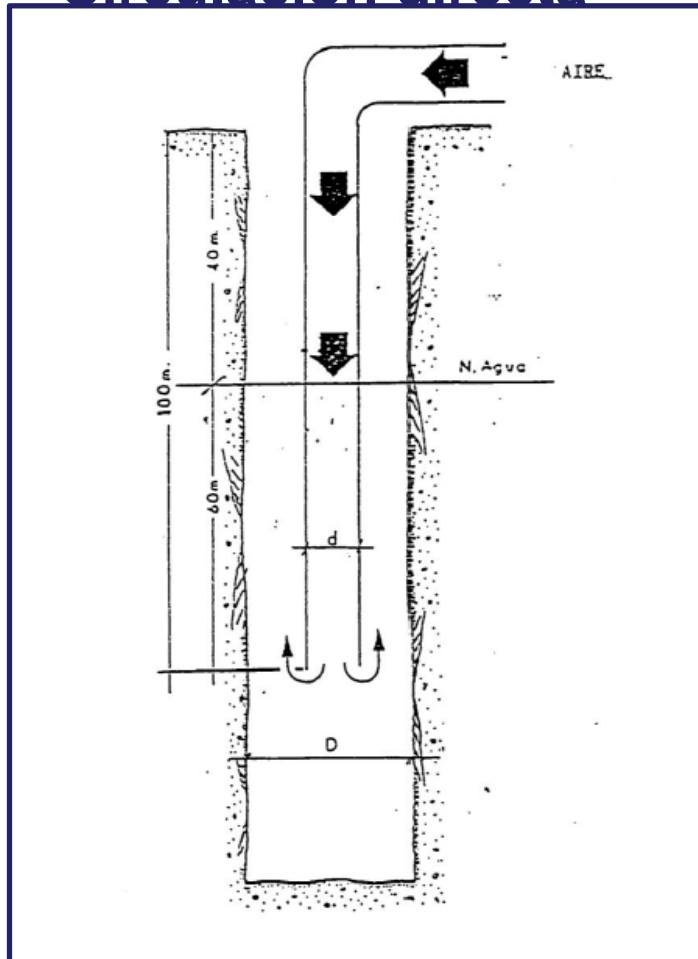
Junto con el aire comprimido se emplea espumante y agua con objeto de ayudar a la acción de limpiado del sondeo.

La rotopercusión puede clasificarse, análogamente a la rotación, en:

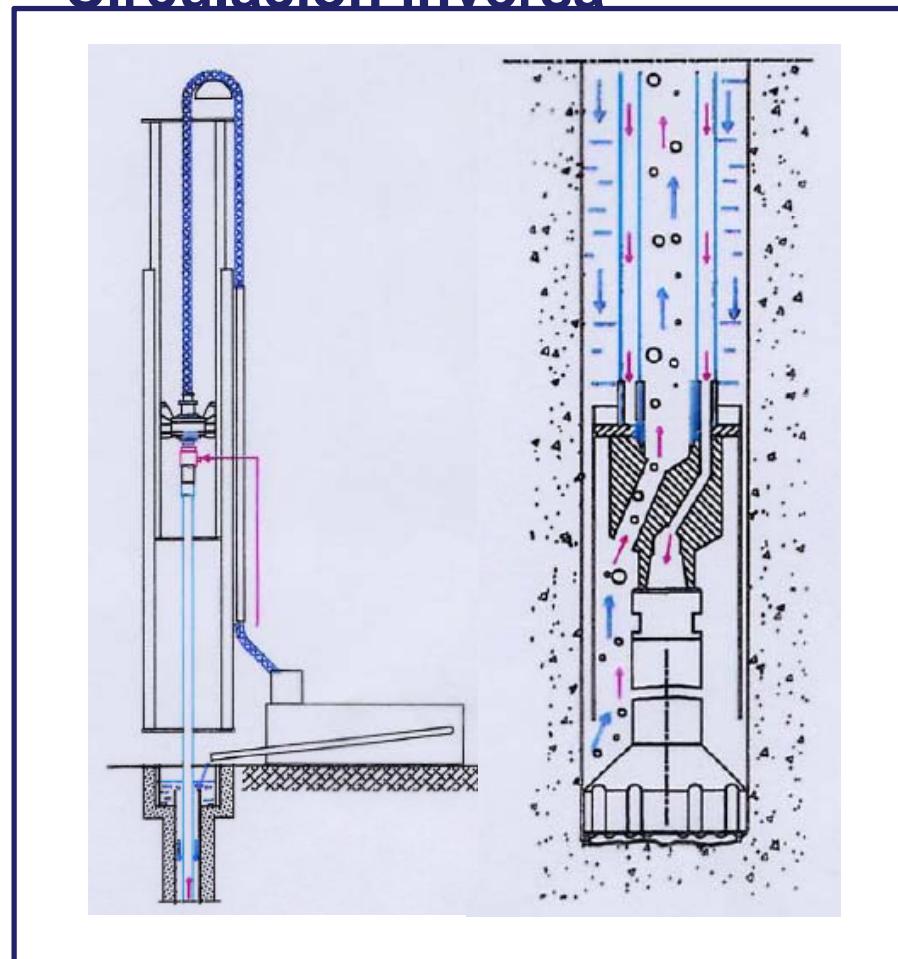
- 1) Rotopercusión con circulación directa
- 2) Rotopercusión con circulación inversa

El martillo perforador es el elemento mediante el cual se realiza el proceso de excavación.

Circulación directa



Circulación inversa



EJEMPLO

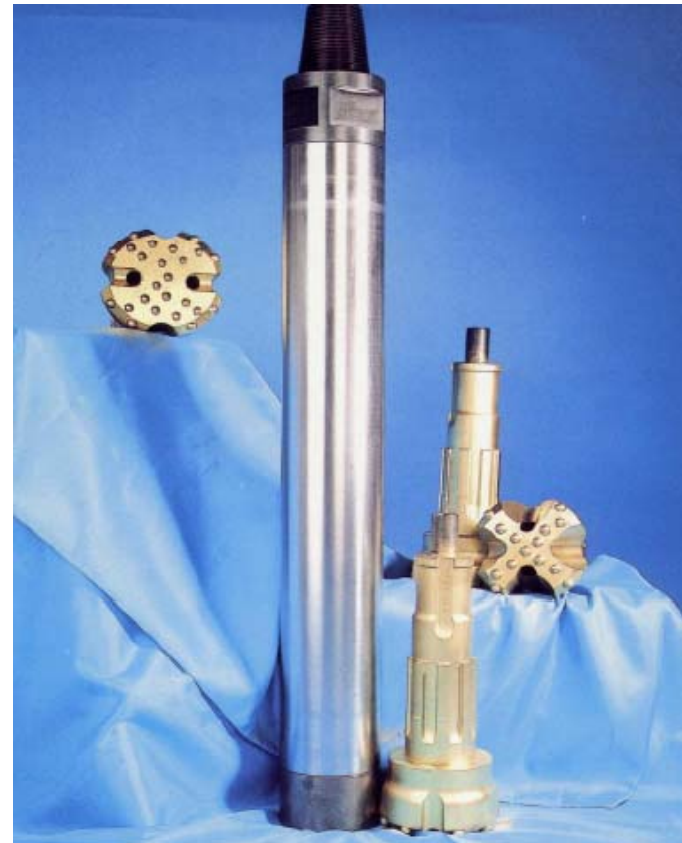
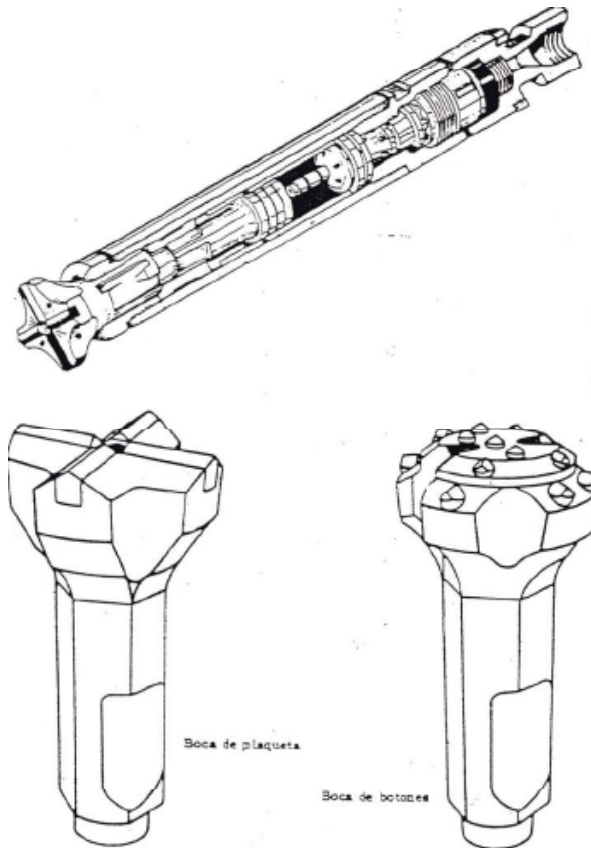
SONDEO A ROTOPERCUSIÓN



EJEMPLO

SONDEO A ROTOPERCUSIÓN

Martillo de fondo



POZOS RADIALES

Estos pozos radiales, conocidos como pozos Ranney, se diferencian de los ordinarios en el mecanismo de captación, que consiste en unos tubos drenantes que, con ayuda de gatos hidráulicos, se introducen en el terreno en posición horizontal y siguiendo direcciones radiales.

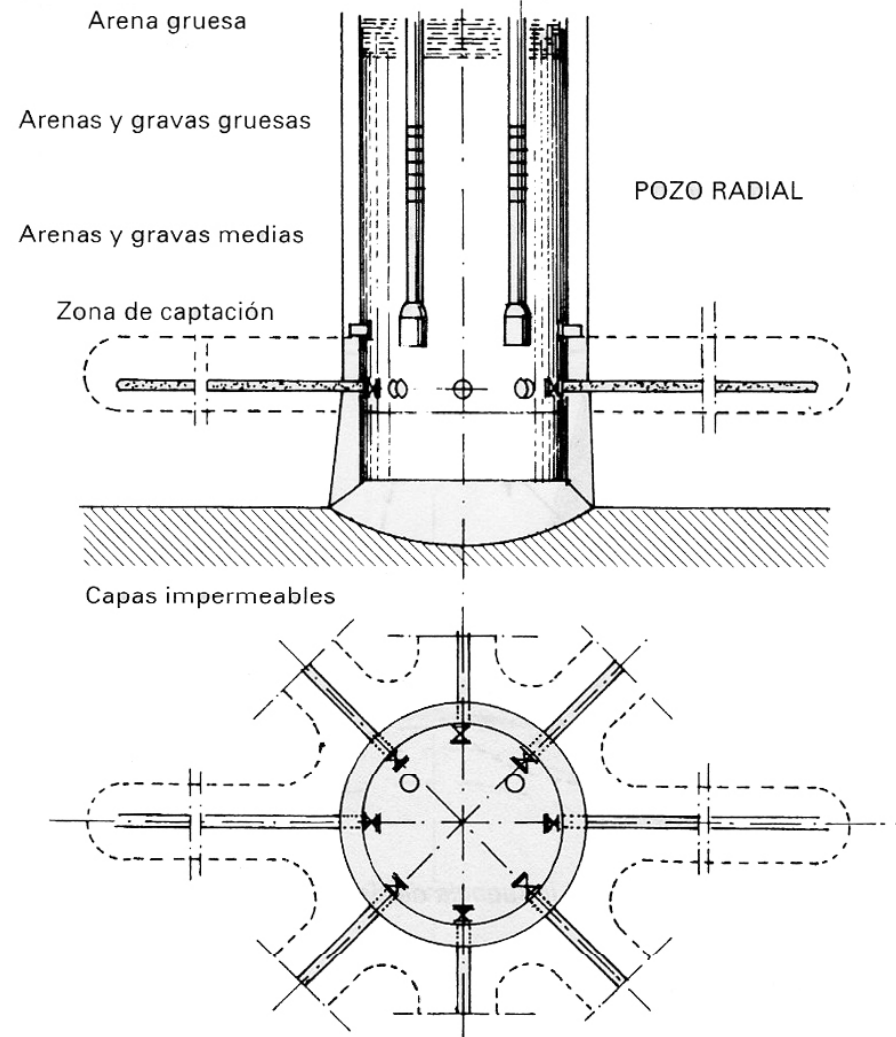
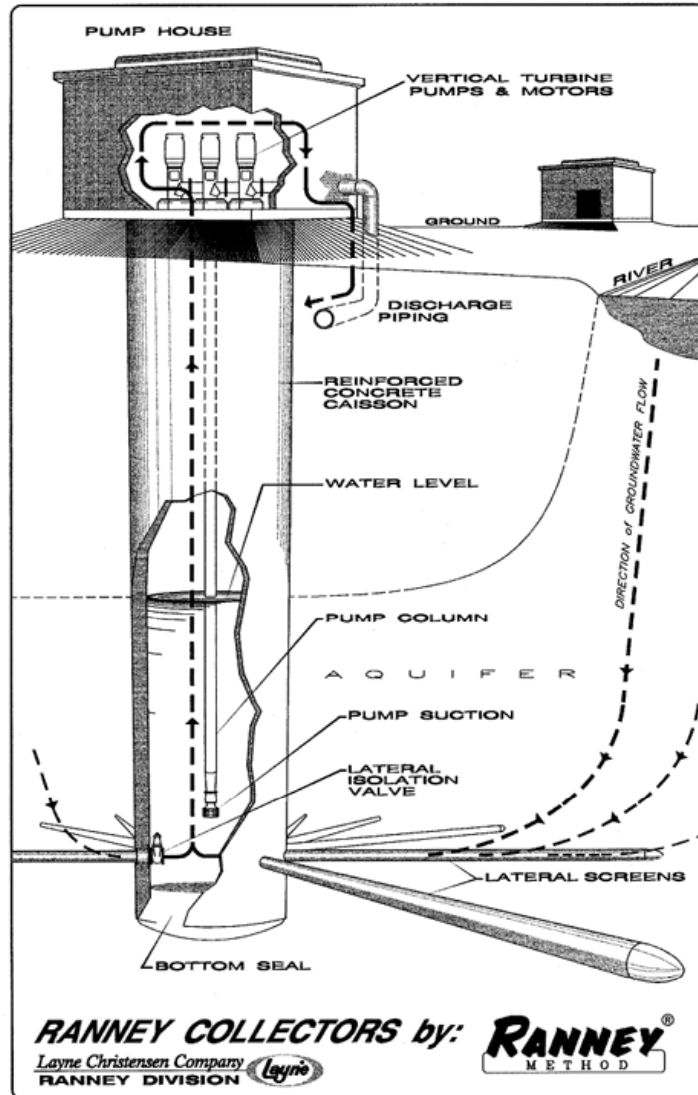


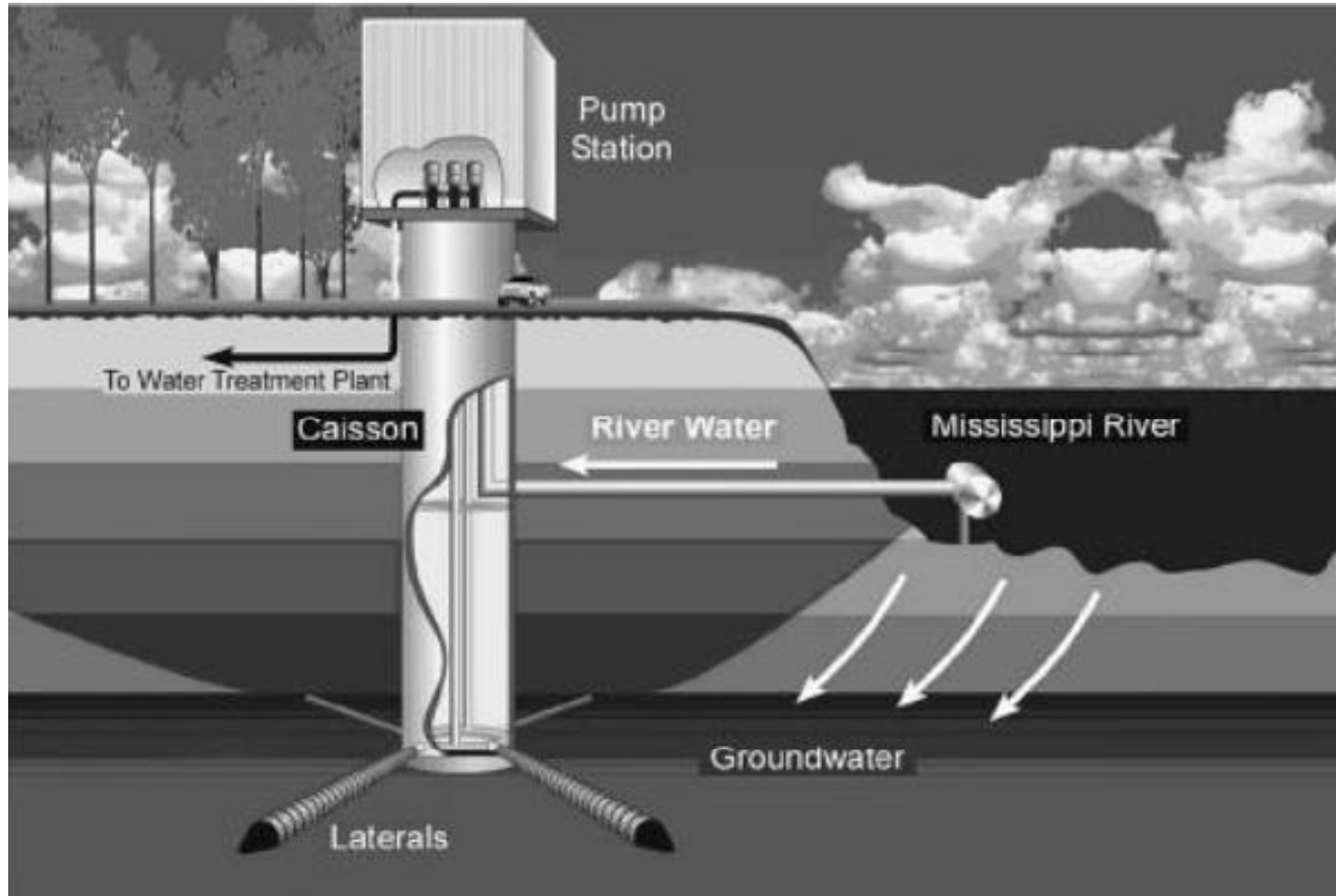
Leo Ranney

Aun cuando los pozos de agua con drenes horizontales ya se utilizaban desde el siglo XVIII, le corresponde a Leo Ranney (Londres, 1933) el desarrollo del pozo radial que, con ligeras modificaciones, es el que se viene utilizando en la actualidad.

El diámetro mínimo es de 4 m, con paredes y solera de hormigón armado de espesor del orden de 0,50 m.

Los tubos son de palastro de acero de 8 mm, con un diámetro exterior de 216 mm y ranuras alargadas longitudinales (15 - 20% huecos), terminando en punta reforzada con ranuras de mayor tamaño, que permiten el paso de las arenas y las gravas pequeñas.





Esquema de pozo Ranney. Como se ve en la figura, se puede incluir una toma directa de agua superficial

Las ventajas de los pozos Ranney son las siguientes:

- 1) Permiten, para igual velocidad de infiltración, caudales muy superiores a los conseguidos por los pozos ordinarios.
- 2) Posibilidad de regular el caudal del pozo operando cada colector por separado, con la posibilidad de cierre total, lo cual ayuda también al mantenimiento del pozo.
- 3) La velocidad de entrada de agua a los drenes es baja (6 - 13 mm/s), por lo que la capacidad de arrastre es prácticamente nula, evitando el peligro de atoramiento de los tubos, aumentando la vida útil del dispositivo.
- 4) Las fluctuaciones de nivel freático no le afectan tanto como en el caso de pozos convencionales.
- 5) Como los drenes permanecen permanentemente sumergidos, los fenómenos de corrosión e incrustaciones, que actúan preferentemente sobre las zonas alternativamente secas y húmedas, se reducen en comparación con los pozos ordinarios.

La capacidad de captación en régimen normal de servicio viene dado por:

$$Q = 2 \pi r h \frac{\sqrt{K}}{15}$$

Q = caudal (m³/s)

r = radio del pozo (m)

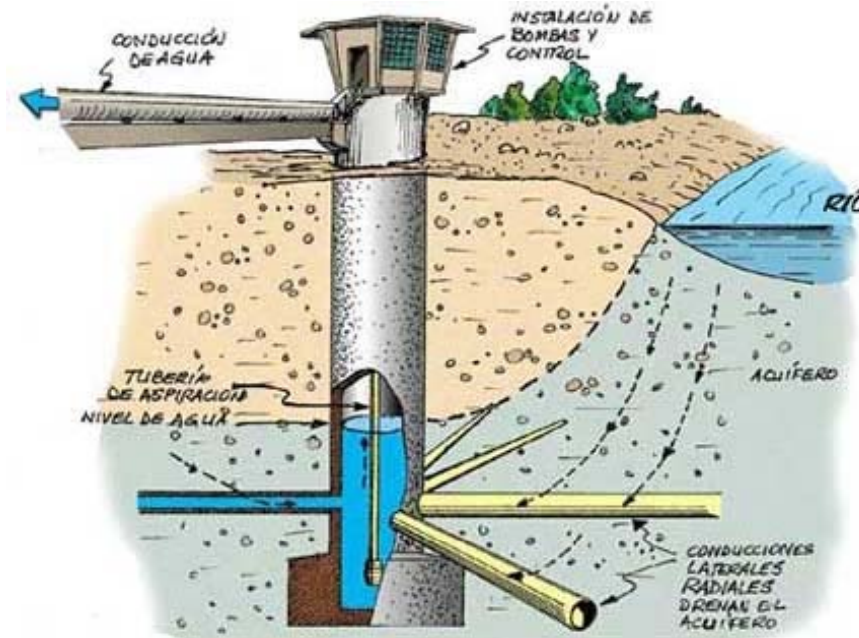
h = altura del agua sobre la solera en régimen normal (m)

K = coeficiente de permeabilidad (m/s)



Las limitaciones de este tipo de pozos son las siguientes:

- 1) Elevada inversión inicial, lo que hace necesario un estudio previo que asegure grandes volúmenes de agua que den rentabilidad de la inversión.
- 2) Este tipo de pozo requiere de un acuífero de no demasiada profundidad (aunque hay realizaciones de hasta 70 m) con recarga abundante a partir de un cuerpo de agua superficial (río o embalse)
- 3) El hincado de los drenes limita los acuíferos aprovechables a los granulares poco compactos de granulometría variable
- 4) La construcción de estos pozos requiere de un alto grado de especialización



EJEMPLO

POZOS RANNEY



*Pozo Ranney en el Bajo Guadalhorce
(Málaga)*

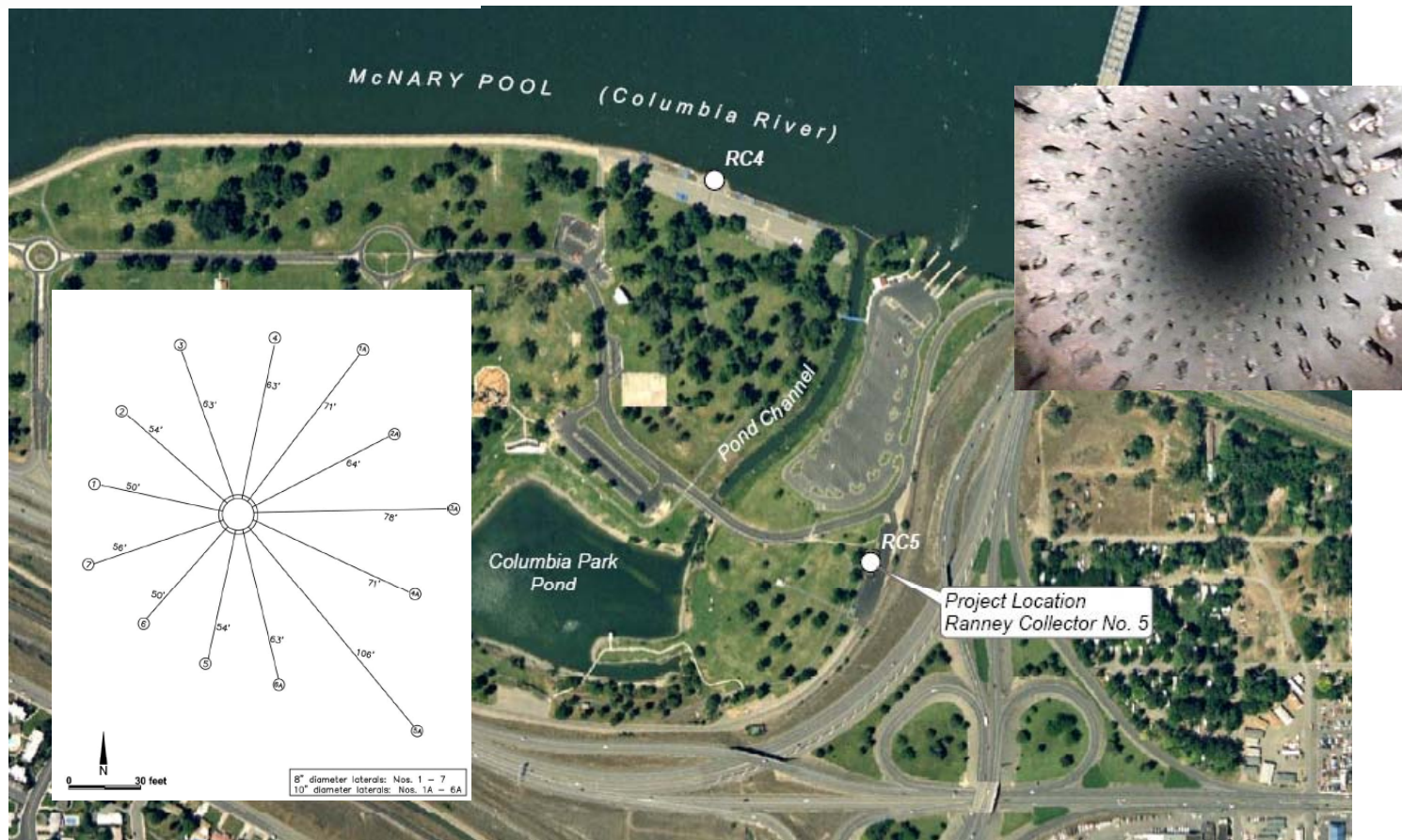


*Pozo Ranney en el río Jarama
(Madrid)*

EJEMPLO

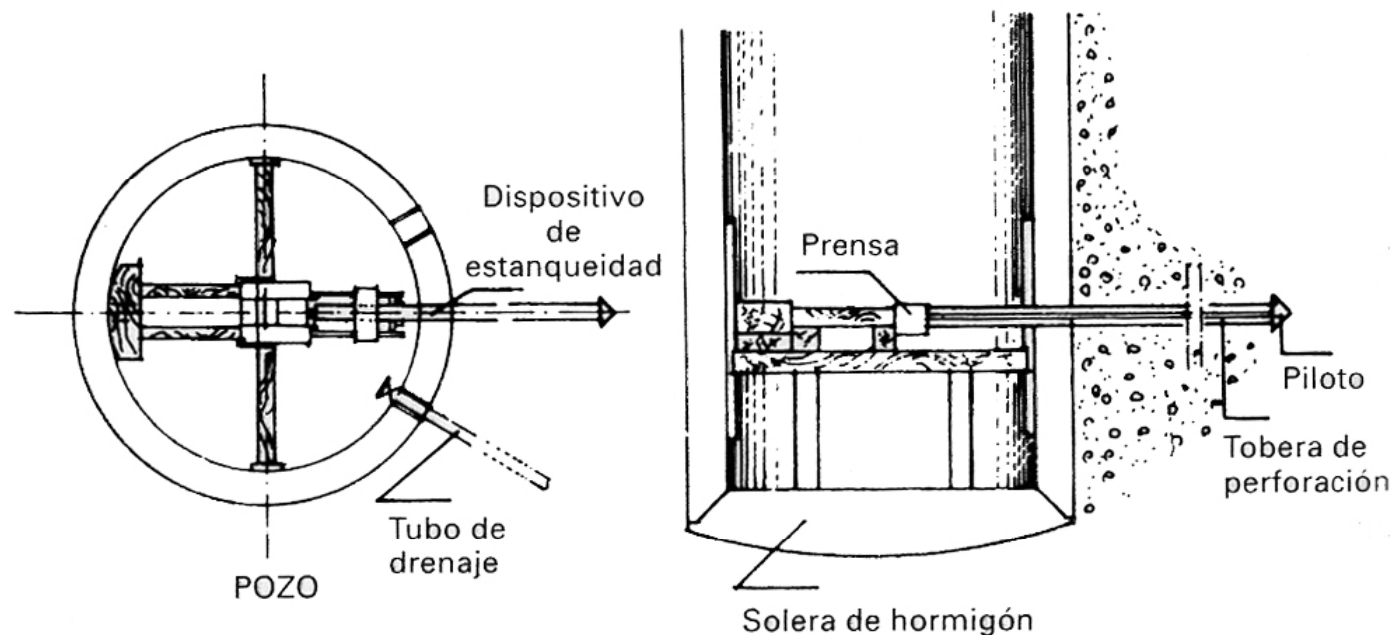
POZO RANNEY

Kennewick (Washington, EE. UU.)



En el año 1946, el ingeniero suizo Hans Fehlmann modificó el sistema Ranney introduciendo tubos de paredes estancas en lugar de introducir directamente los tubos filtrantes en la capa acuífera.

Estos tubos presentan en su extremo una cabeza especial, denominada piloto, que desagrega el terreno facilitando el avance. En el interior de estos tubos se colocan los tubos filtrantes, de manera que los tubos estancos se retiran (pueden ser utilizados de nuevo), quedando abandonado en el terreno el piloto.



Las ventajas del sistema Fehlmann sobre el Ranney son las siguientes:

- 1) Menor espesor del tubo filtrante (3 mm por 8 mm) y mayor proporción de huecos (33% contra 20%) ya que los tubos no tienen que resistir la presión de penetración.
- 2) Posibilidad de emplear en los tubos filtrantes tuberías de tipo diverso (galvanizadas, de plástico...) y protegerlas con recubrimientos en caso de aguas agresivas.
- 3) Posibilidad de conocer, por el piloto, la composición del suelo atravesado, pudiendo disponer tubos ciegos en los tramos sin agua y adaptar las aberturas de los tubos filtrantes a la granulometría del suelo.
- 4) Posibilidad de reutilizar los tubos perforadores
- 5) Posibilidad de avance y retroceso del piloto, permitiendo evitar obstáculos (como, por ejemplo, piedras gruesas).
- 6) Gran avance de los tubos perforadores, con avances diarios de entre 15 y 20 m.

GALERÍAS FILTRANTES

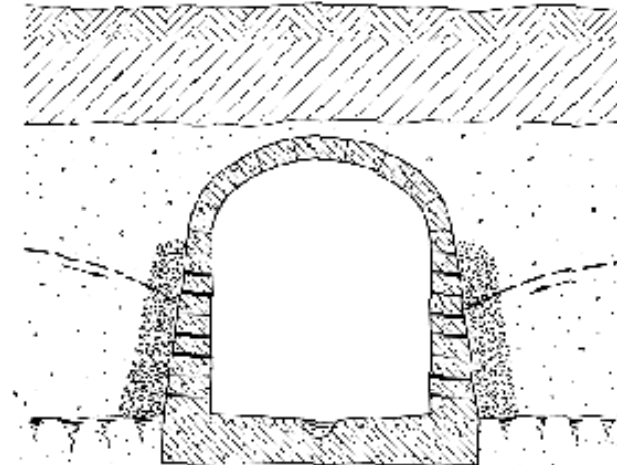
La galería filtrante o galería de captación es una galería subterránea construida para alcanzar un acuífero cuya estructura permeable esta diseñada con la finalidad de captar las aguas subterráneas.

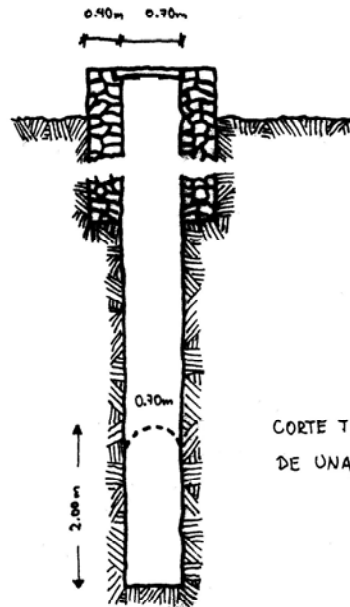
A diferencia de los pozos, que se construyen con la misma finalidad, la galería filtrante es aproximadamente horizontal.

La galería puede terminar en una cámara de captación donde generalmente se instalan las bombas hidráulicas para extraer el agua acumulada.

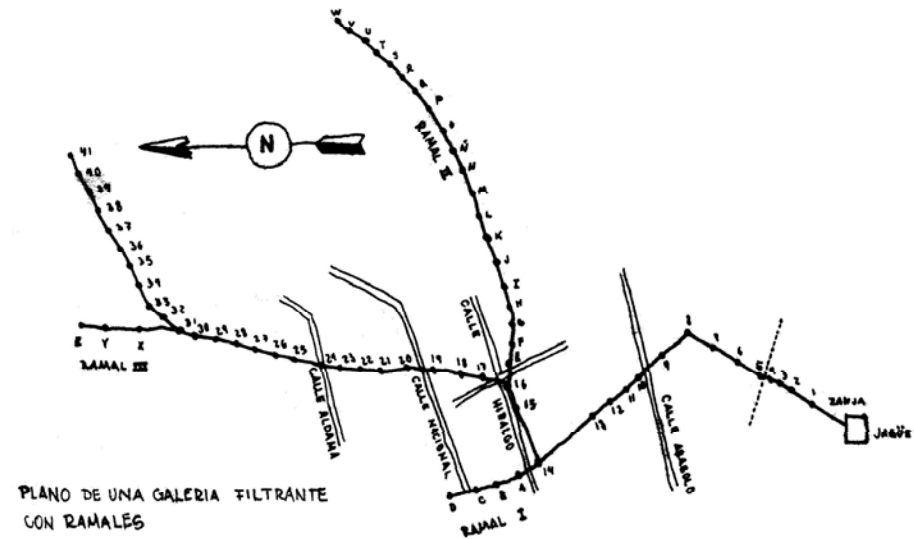
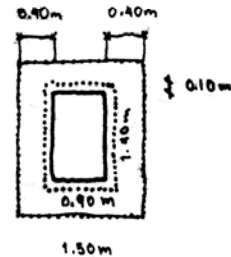
En otros casos, la galería puede tener una finalidad mixta de captación y conducción, prolongándose directamente o mediante obras auxiliares (acueductos, canalizaciones) hasta el lugar donde se va a aprovechar el agua (por ejemplo, una fuente).

Tienen su origen en los qanats que se han descrito en el apartado anterior del tema.



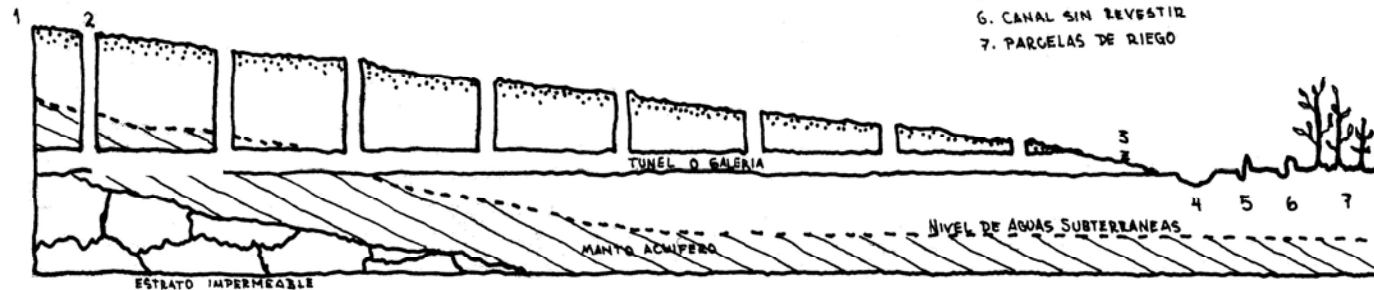


CORTE TRANSVERSAL DE UNA LUMBRERA



PLANO DE UNA GALERIA FILTRANTE CON RAMALES

1. DEPOSITOS DE ALUVION
2. POZOS O LUMBRERAS
3. ZANJA ABIERTA
4. DEPOSITO
5. CANAL REVESTIDO
6. CANAL SIN REVESTIR
7. PARCELAS DE RIEGO



CORTE TRANSVERSAL DE UNA GALERIA FILTRANTE

Las galerías pueden clasificarse, a su vez, en galerías propiamente dichas, zanjias o trincheras y drenes.

- a) Galerías propiamente dichas → Son excavaciones horizontales que se inician con un emboquillado o boca de entrada, desde donde se procede a excavar la galería, estando situada ésta por debajo del nivel de agua en la zona de saturación. La sección transversal tiene dimensiones suficientes como para permitir el desplazamiento de los equipos y de las personas encargadas de su construcción.

Las pendientes suelen estar comprendidas entre uno y diez por mil. Para facilitar los trabajos, deben excavarlos pozos de ventilación cada 40 o 100 m a fin de ventilar la galería y para retirar los materiales provenientes de la excavación.

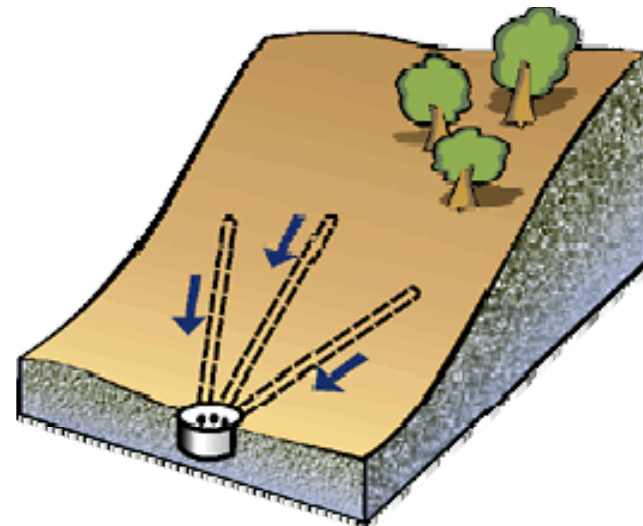
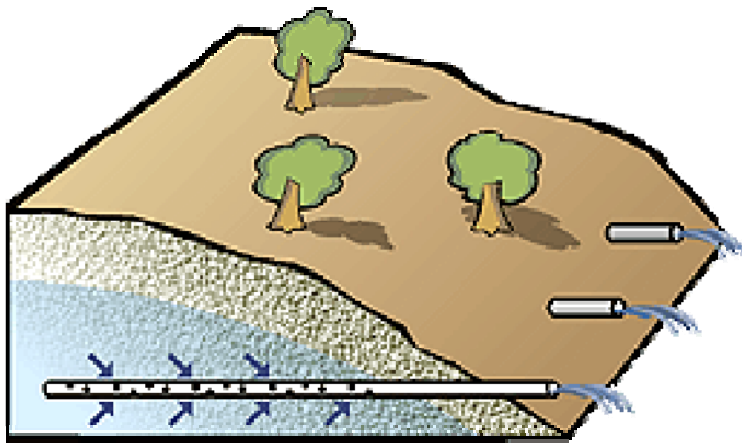
- b) Zanjias o trincheras → Son excavaciones a cielo abierto, utilizadas fundamentalmente cuando el agua subterránea está próxima a la superficie (< 6 m).

Este tipo de obra está expuesta a problemas de crecimiento de algas, erosión, obstrucción por vegetación o contaminación superficial.

c) Drenes → Son perforaciones horizontales (drenes californianos) o zanjas, en cuyo interior se instalan tuberías perforadas o ranuradas. En ambos casos se recubren con material seleccionado para garantizar un adecuado rendimiento y evitar la pérdida de finos.

Normalmente, los diámetros de los drenes son mayores de 200 mm, con pendientes que fluctúan entre uno y cinco por mil.

Cuando se disponen varios drenes, estos pueden confluir en un colector desde el que se efectúa el bombeo.



EJEMPLO

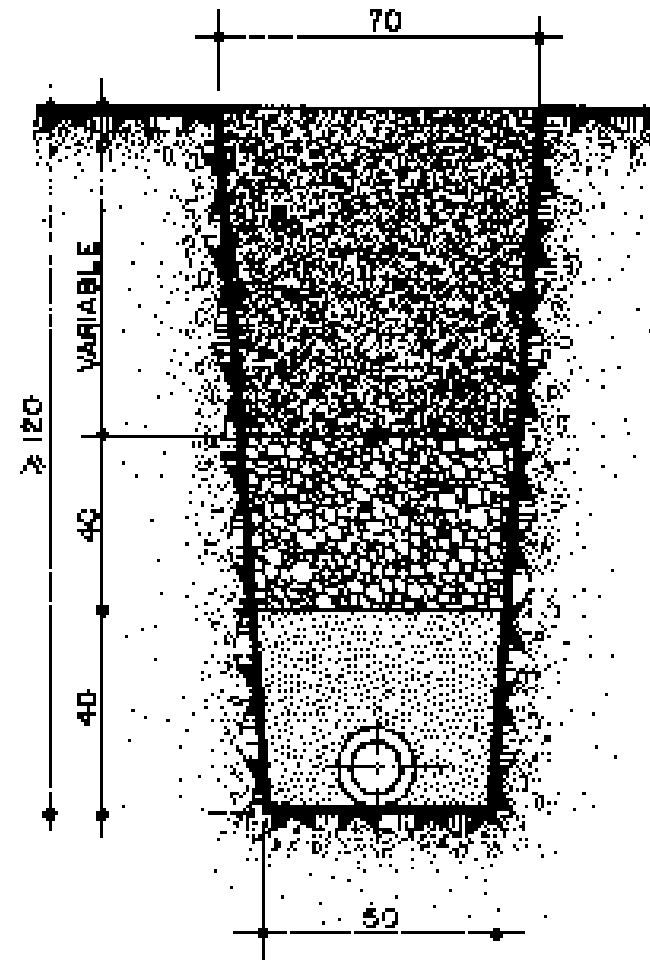
GALERÍAS FILTRANTES

San Luis Potosí (México)



EJEMPLO

DRENES EN ZANJA



EJEMPLO

DRENES CALIFORNIANOS





Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



BIBLIOGRAFÍA

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3

KRESIC, N. *Groundwater resources: sustainability, management and restoration*. McGraw Hill Professional, 2008. 852 p. ISBN: 978-0-07-149273-7

MARTÍNEZ SALDAÑA, T. et al. *Antología sobre pequeño riego*. Vol 3. México: Editorial Plaza y Valdés, 1997. 473 p. ISBN: 968-839-228-6.

MUÑOZ CARPENA, R. et al. *Hidrología agroforestal*. Ed. Mundi-Prensa Libros, 2005. 348 p. ISBN: 84-8476-245-9

PIMIENTA, J. *La captación de aguas subterráneas*. Barcelona: Editorial Reverte, 1980. 202 p. ISBN: 84-7146-186-2

RAY, C. et al. *Riverbank filtration: improving source water quality*. Ed. Springer, 2003. 394 p. ISBN: 1-4020-1133-4

VIDAL PARDAL, M. *Aguas subterráneas*. Revista de Obras Públicas nº 2928, 1959



Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



REFERENCIA DE IMÁGENES

DIAPOSITIVA PORTADA

“Pozo en Aldeas de San Felipe (El Salvador)” © Toni Ros Esteban

DIAPOSITIVA página 2

“The ancient well of Demeter” [Imagen tomada de] GOUGH, A. “The Eleusis Mystery” [Blog] *Arcadia* [en línea]. 24 de mayo de 2006. Disponible en: <http://www.andrewgough.co.uk/eu_well.jpg>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIAPOSITIVA página 3

“Jacobs Well - 1894” [Imagen tomada de] “Pictures”. *Bible sidenotes* [en línea]. Disponible en: <<http://hitch.south.cx/Jacobs%20Well%20-%201894.jpg>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIAPOSITIVA página 5

“Qanat cross section” [Imagen tomada de] “Water well”. *Wikipedia, the free encyclopedia* [en línea]. 5 de mayo de 2011. Disponible en: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Qanat_cross_section.svg>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIAPOSITIVA página 6

“Aerial view of qanat near Anshan” [Imagen tomada de] *The Qanat: Ancient Antidote to Arid Iran’s Thirst* [en línea]. 1 de enero de 2010. Disponible en: <<http://www.semp.us/images/Biot676PhotoK.jpg>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]



Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



DIPOSITIVA página 6 (continuación)

“View down a shaft to the qanat below, in Iran” [Imagen tomada de] *The Qanat: Ancient Antidote to Arid Iran’s Thirst* [en línea]. 1 de enero de 2010. Disponible en:
<<http://www.semp.us/images/Biot676PhotoH.jpg>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 7

“Imágenes del *qanat* de Fuente Peña y del *qanat* de Madrid” [Imagen tomada de] ABRIL, J. M. “Qanats” [Blog] *Cuadernos de Bujalance* [en línea]. 24 de junio de 2009. Disponible en:
<http://2.bp.blogspot.com/_Qy7b-h_n-cM/SkJzAOmxNdl/AAAAAAAAAkQ/KeNmfbHHbyw/s1600-h/qanat-madrid.jpg>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 8

“Manantial artesiano” [Imagen tomada de] “Glosario de acuicultura”. *FAO* [en línea]. Disponible en:
<http://www.fao.org/docs/up/glossary/18113/2366/009-009-001_ES.jpg>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

“Modena-Stemma it” [Imagen tomada de] “Modena”. *Wikipedia, the free encyclopedia* [en línea]. 3 de abril de 2009. Disponible en: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Modena-Stemma.png>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 9

“Recarga de manantial” [Imagen tomada de] “Agua potable”. *Centro Peruano de Estudios Sociales* [en línea]. Disponible en: <http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]



Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



DIPOSITIVA página 10

“Tipos de manantiales” [Imagen tomada de] “Agua potable”. *Centro Peruano de Estudios Sociales* [en línea]. Disponible en: <http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 11

“Manantial en la subida al Puerto de Otsondo” [Imagen tomada de] CALVO, M. “15ª jornada” [Blog] *Vía del Piamonte Francés y Camino del Baztán* [en línea]. 29 de junio de 2009. Disponible en: <<http://www.mariocalvo.eu/CAMINO%20DE%20LOURDES/15jornada/03manantial.jpg>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 12

[Imagen tomada de] “Manantial de agua salada”. *Minube* [en línea]. Disponible en: <http://esphoto500x500.mnstatic.com/manantial-de-agua-salada_397776.jpg>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 13

[Imagen tomada de] “Principales sistemas rurales de abastecimiento de agua”. *Guía de Orientación en Saneamiento Básico. Organización Panamericana de la Salud* [en línea]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/images/manantial_con_proteccion_de_vertiente.jpg>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

“Cámara de almacenamiento de agua de manantial” [Imagen tomada de] “Captación de aguas de manantial”. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente* [en línea]. Disponible en: <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-07.pdf>>. [Consulta: 6 de septiembre de 2010]

DIPOSITIVA página 14

“Manantial del ojo” [Imagen tomada de] ESTEBAN JÁUREGUI, J. I. “Fuentes U-Z”. *Fuentes y manantiales de Soria* [en línea]. Disponible en: <<http://www.soria-goig.org/fuentes/villabuena2.jpg>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 15

“Captación de agua de manantial de un acuífero de roca fisurada” [Imagen tomada de] “Captación de aguas de manantial”. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente* [en línea]. Disponible en: <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-07.pdf>>. [Consulta: 6 de septiembre de 2010]

“Captación con concentración de vena mediante muros interceptores”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3. Página 320

DIPOSITIVA página 16

“Zanjas de avenamiento”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3. Página 321

“Túneles para la captación de manantiales de afloramiento” [Imagen tomada de] “Captación de aguas de manantial”. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente* [en línea]. Disponible en: <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-07.pdf>>. [Consulta: 6 de septiembre de 2010]



Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



DIPOSITIVA página 17

[Imagen tomada de] “Pozos de agua”. *INPER Geoproyectos* [en línea]. Disponible en: <<http://www.inper-geoproyectos.com/fotos/Pozo-Esquema.gif>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 18

[Imagen tomada de] “Obras de captación: pozos y sondeos”. *Instituto geológico y minero de España* [en línea]. Disponible en: <http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/guia_didactica/pdf_carteles/cartel4/CARTEL%204_4-5.pdf>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 20

[Imagen tomada de] DÍEZ ARNAL, J. *Monasterio de Uclés* [en línea]. 15 de septiembre de 2006. Disponible en: <<http://www.jdiezarnal.com/monasteriodeuclesclauastro01.jpg>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 21

[Imagen tomada de] “Villa de Ves, Albacete”. [Web de] *Turismo de Castilla – La Mancha* [en línea]. Disponible en: <<http://www.spaincenter.org/turismo/albacete/provincia/villa-de-ves-1.jpg>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 22

“Imágenes de la plaza del Pozo Amargo en Toledo” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIPOSITIVA página 23

[Imagen tomada de] “Obras de captación: pozos y sondeos”. *Instituto geológico y minero de España* [en línea]. Disponible en:

<http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/guia_didactica/pdf_carteles/cartel4/CARTEL%204_4-5.pdf>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 24

“Descenso de entubación y rejillas” [Imagen tomada de] “Captación de aguas subterráneas”. [Web del] *Grupo de Investigación de Recursos Hídricos de la Universidad Jaume I de Castellón* [en línea].

Disponible en: <<http://www.agua.uji.es/pdf/PRESRH23-25.pdf>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 26

“Percusión con cable” [Imagen tomada de] “2ª etapa de la exploración hidrogeológica: captación de aguas subterráneas”. [Web del] *Grupo de Investigación de Recursos Hídricos de la Universidad Jaume I de Castellón* [en línea]. Disponible en: <<http://www.agua.uji.es/pdf/presentacionPEG03.pdf>>.

[Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 27

“Trépanos y válvulas” [Imagen tomada de] “2ª etapa de la exploración hidrogeológica: captación de aguas subterráneas”. [Web del] *Grupo de Investigación de Recursos Hídricos de la Universidad Jaume I de Castellón* [en línea]. Disponible en: <<http://www.agua.uji.es/pdf/presentacionPEG03.pdf>>.

[Consulta: 29 de mayo de 2011]



Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



DIPOSITIVA página 28

[Imagen tomada de] *ACISA. Agrícola comercial e industrial S. A.* [en línea]. Disponible en: <http://www.pozosacisa.com/images/img_perforacion_03.jpg>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

[Imagen tomada de] “Sistemas de captación de aguas subterráneas”. *Centro Científico Tecnológico CONICET Bahía Blanca* [en línea]. Disponible en: <http://www.criba.edu.ar/agronomia/carreras/ia/archivos/Materias/579/archivos/aguassubterранеas/presenta_sistemas_captacion.pdf>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 29

“Trépano de perforación” [Imagen tomada de] “2ª etapa de la exploración hidrogeológica: captación de aguas subterráneas”. [Web del] *Grupo de Investigación de Recursos Hídricos de la Universidad Jaume I de Castellón* [en línea]. Disponible en: <<http://www.agua.uji.es/pdf/presentacionPEG03.pdf>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 30

“Válvulas de charnela y de dardo” [Imagen tomada de] “2ª etapa de la exploración hidrogeológica: captación de aguas subterráneas”. [Web del] *Grupo de Investigación de Recursos Hídricos de la Universidad Jaume I de Castellón* [en línea]. Disponible en: <<http://www.agua.uji.es/pdf/presentacionPEG03.pdf>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 32

[Imagen tomada de] “Perforación a rotación con circulación directa”. *Sondeos Puebla S. L.* [en línea]. Disponible en: <http://www.sondeospuebla.com/index/ pozos/files_directa/esquema_directa.png>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]



Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



DIPOSITIVA página 32 (continuación)

“Perforación a rotación con circulación inversa” [Imagen tomada de] “Sondeos profundos”. *VII Jornada de nuevas tecnologías energéticas. Energía geotérmica: análisis y prospectiva* [en línea]. Disponible en: <<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report10/mesa4-torres.pdf>>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 33

[Imagen tomada de] *Physics of Drilling* [en línea]. Disponible en: <http://ffden-2.phys.uaf.edu/211_fall2010.web.dir/Jared_Boerger/tri-cone-00.jpg>. [Consulta: 29 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 34

“Perforación a rotación con circulación inversa” [Imagen tomada de] “Sondeos profundos”. *VII Jornada de nuevas tecnologías energéticas. Energía geotérmica: análisis y prospectiva* [en línea]. Disponible en: <<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report10/mesa4-torres.pdf>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 35

“Elementos de corte a rotación con circulación inversa” [Imagen tomada de] “Sondeos profundos”. *VII Jornada de nuevas tecnologías energéticas. Energía geotérmica: análisis y prospectiva* [en línea]. Disponible en: <<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report10/mesa4-torres.pdf>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 37

“Rotopercusión a circulación directa” [Imagen tomada de] “Sondeos profundos”. *VII Jornada de nuevas tecnologías energéticas. Energía geotérmica: análisis y prospectiva* [en línea]. Disponible en: <<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report10/mesa4-torres.pdf>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 37 (continuación)

“RotoperCUSión a circulación inversa” [Imagen tomada de] “Sondeos profundos”. *VII Jornada de nuevas tecnologías energéticas. Energía geotérmica: análisis y prospectiva* [en línea]. Disponible en: <<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report10/mesa4-torres.pdf>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 38

“Perforación a rotoperCUSión” [Imagen tomada de] “Sondeos profundos”. *VII Jornada de nuevas tecnologías energéticas. Energía geotérmica: análisis y prospectiva* [en línea]. Disponible en: <<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report10/mesa4-torres.pdf>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 39

“Martillo de rotoperCUSión” [Imagen tomada de] “Sondeos profundos”. *VII Jornada de nuevas tecnologías energéticas. Energía geotérmica: análisis y prospectiva* [en línea]. Disponible en: <<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report10/mesa4-torres.pdf>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 40

“Leo Ranney, petroleum engineer and water pioneer, circa 1927” [Imagen tomada de] “History of the Ranney Well ”. *Ranney Collector Wells* [en línea]. Disponible en: <<http://www.collectorwells.com/images/history.jpg>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 41

[Imagen tomada de] “Ranney Collector Well Diagram”. *Ranney Collector Wells* [en línea]. Disponible en: <http://www.ranneymethod.com/images/ranney_collector_large.jpg>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 41 (continuación)

“Pozo radial tipo Ranney”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3. Página 334

DIPOSITIVA página 42

“Typical collector well, showing possible additional direct intake of surface water”. En: KRESIC, N. *Groundwater resources: sustainability, management and restoration*. McGraw Hill Professional, 2008. 852 p. ISBN: 978-0-07-149273-7. Página 516

DIPOSITIVA página 44

[Imagen tomada de] “How to maximize yields from your groundwater supply “. *Ranney Collector Wells* [en línea]. Disponible en: <<http://www.collectorwells.com/images/ranneycutawayillustration.jpg>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 45

[Imagen tomada de] “Excursión Valle del Jarama. Trayecto Torrelaguna – Uceda”. *Seminario permanente de ciencias de la tierra y del medio ambiente* [en línea]. Disponible en: <<http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/2000/campo/jarama/figuras/ranney2.jpg>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 46

“Ranney de Intelhorce: former well in the lower Guadalhorce” [Imagen tomada de] “Research activity and current projects”. *CEHIUMA*. [en línea]. Disponible en: <<http://cehiuma.uma.es/en/images/Ranney.jpg>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 46 (continuación)

[Imagen tomada de] “Excursión Valle del Jarama. Trayecto Torrelaguna – Uceda”. *Seminario permanente de ciencias de la tierra y del medio ambiente* [en línea]. Disponible en: <<http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/2000/campo/jarama/fotos/jarama13.jpg>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 47

[Imágenes tomadas de] *Design report Ranney nº 5 well cleaning project* [en línea]. Disponible en: <http://www.westerngroundwaterservices.com/reports/KennewickReport_062007.pdf>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 48

“Sistema Fehلمان para colocación de drenes en pozos radiales”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3. Página 336

DIPOSITIVA página 50

[Imagen tomada de] “Galerías filtrantes”. *Es.foto* [en línea]. Disponible en: <http://www.aguamarket.com/sql/imagenes/galeria_filtrante.gif>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 51

[Imagen tomada de] “Galerías filtrantes”. *Es.foto* [en línea]. Disponible en: <<http://jacintapalerm.hostei.com/croquisgaleria.JPG>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]



Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



DIPOSITIVA página 53

[Imagen tomada de] “Drenes”. *Captaciones* [en línea]. Disponible en:
<<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/subterraguas/temas/captaciones/captaciones3.htm>>. [Consulta: 7 de septiembre de 2010]

DIPOSITIVA página 54

“Galerías filtrantes, Pozo del Carmen” [Imagen tomada de] “Recorridos de campo”. *Seminario San Luis de Potosí: la edificación de una unidad territorial* [en línea]. Disponible en:
<http://www.colsan.edu.mx/investigacion/historia/seminario/img/fotos/Galer%C3%ADas%20filtrantes%20Pozo%20dl%20Carmen_.jpg>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

“Galerías filtrantes, Ex hacienda La Angostura” [Imagen tomada de] “Recorridos de campo”. *Seminario San Luis de Potosí: la edificación de una unidad territorial* [en línea]. Disponible en:
<http://www.colsan.edu.mx/investigacion/historia/seminario/img/fotos/Galeria%20filtrante%20Angostura_.jpg>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

DIPOSITIVA página 55

[Imagen tomada de] “Making a French drain”. [Blog] *Homeowner's* [en línea]. Disponible en:
<<http://www.catskillhouse.us/blog/wp-content/uploads/2007/07/french-drain.jpg>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

“Zanja de drenaje” [Imagen tomada de] “Normalización de elementos constructivos para obras de urbanización”. *Milliarium. Ingeniería Civil y Medio Ambiente* [en línea]. Disponible en:
<<http://www.miliarium.com/Proyectos/Detalles/Urbanizacion/119.gif>>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]



Capítulo 2. CAPTACIÓN DE AGUAS

Tema 3. Captación de aguas subterráneas



DIAPPOSITIVA página 56

[Imagen tomada de] “Drenes californianos”. *CIVOGAL. Soluciones geotécnicas* [en línea]. Disponible en: <http://www.civogal.com/images/secciones/Drenes/Drenes_lugo_CIVOGAL_6.jpg>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]

[Imagen tomada de] “Drenes californianos”. *CIVOGAL. Soluciones geotécnicas* [en línea]. Disponible en: <http://www.civogal.com/images/secciones/Drenes/drenes_civogal_2.jpg>. [Consulta: 30 de mayo de 2011]