

Unidad Temática N° 5

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**Fuentes de Abastecimiento de Agua**

Para poder realizar un correcto abastecimiento de agua potable debemos contar con las fuentes correspondientes, de las que se deben considerar dos aspectos fundamentales a tener en cuenta:

- Capacidad de suministro
- Condiciones de sanidad o calidad del agua

La capacidad de suministrar debe ser la necesaria para proveer la cantidad necesaria en volumen y tiempo que requiere el proyecto de abastecimiento.

Las condiciones de sanidad o calidad del agua son claves para definir las obras necesarias de potabilización.

Las fuentes se clasifican en:

- Meteoricas
- Superficiales
 - Ríos
 - Arroyos
 - Canales
 - Lagos
 - Lagunas
 - Embalses
- Subterráneas
 - Profundas
 - Subsuperficiales
 - Freáticas
 - Subálveas

Es necesario realizar estudios sobre las fuentes posibles de abastecimiento, para establecer sus capacidades y estado sanitario.

Investigación de los recursos hídricos de una región

Al realizar un proyecto de abastecimiento de agua tenemos determinado el volumen necesario, por lo que tenemos que hacer es adoptar la o las fuentes de provisión de agua y para ello debemos realizar la investigación de los recursos hídricos de la región.

La elección de una o varias fuentes de provisión resultará de un prolijo reconocimiento de todos los recursos disponibles, seguido de un estudio pormenorizado y comparativo de sus cualidades biológicas y de los volúmenes que pueden suministrar.

Las cualidades biológicas se determinan mediante los análisis de las muestras de agua, mientras que las cantidades serán evaluadas mediante el examen detenido de la meteorología, hidrología, geología y climatología de la región.

Las fuentes que se consideran son:

- Las aguas meteoricas
- Las aguas superficiales
- Las aguas subterráneas

Todas ellas tienen el origen común en las precipitaciones meteoricas y están influenciadas por su calidad e intensidad.

Teniendo en cuenta este origen común debemos considerar que las aguas meteoricas son aquellas que podemos tomar antes de que lleguen al suelo, mientras que las aguas superficiales, provienen del escurrimiento por el suelo hasta formas los arroyos, ríos y lagos, mientras que las aguas subterráneas provienen de la infiltración en el suelo formando las diversas napas acuíferas y manantiales.

Aguas Meteoricas

Las aguas de lluvia son potables, las que provienen de la nieve derretida son de calidad inferior pues ya se suelen contaminarse al estar depositada sobre el suelos. Las aguas de lluvia no sufren por lo general alteración apreciable a través de su paso por la atmósfera, de la cual recogen cantidades ínfimas de anhídrido carbónico, oxígeno, nitrógeno y polvo en suspensión coloidal, con su posible contenido bacteriano.

Para su recolección se requieren superficies muy extensas para poder recolectar cantidades suficientes, usándose comúnmente el techo de las casas.

Se recurre a esta fuente cuando faltan otros recursos y también en establecimientos rurales y pequeñas instalaciones.

Como vimos anteriormente, las aguas superficiales y subterráneas tienen su origen en las aguas meteoricas, mediante escurrimiento e infiltración.

Las aguas meteóricas que se precipitan sobre el suelo sufren un fraccionamiento triple. Una porción vuelve a la atmósfera por evaporación, otra se escurre por la superficie del suelo y el resto se infiltra formando depósitos subterráneos. Las proporciones de ese fraccionamiento varían de manera considerable con la temperatura, viento y humedad del aire.

Intervienen en forma determinante las condiciones topográficas y la constitución geológica del suelo. Por ejemplo las lluvias cortas de verano que encuentran un terreno compacto y caldeado, pueden sufrir más de un 90 % de evaporación. En cambio, sobre un suelo rocoso o desprovisto de vegetación y con fuertes pendientes, el escurrimiento puede llegar hasta un 95 %. La infiltración también puede presentarse en casos muy importantes si tenemos un suelo constituido por arenas finas, se infiltra con gran celeridad absorbiendo casi totalmente las aguas meteóricas.

No existen coeficientes generales que representen las proporciones del fraccionamiento y se deberá valorizar para cada región, ya que nos brinda información para evaluar y calcular las capacidades de embalses y descargadores o aliviadores de crecientes.

La cantidad que se restituye a la atmósfera por evaporación es distinta, según provenga de una superficie líquida, del suelo libre o de un terreno cubierto de vegetación.

La evaporación de una superficie líquida se puede determinar fácilmente por medio de los evaporímetros. Como resultado general y basado en gran cantidad de mediciones, se ha establecido que la franja del globo terrestre comprendida entre los paralelos 50 tanto norte como sur, evapora en sus superficies líquidas, anualmente, mayor cantidad que la proporcionada por la precipitación pluvial, mientras que en el resto la situación es inversa.

La evaporación por la superficie del suelo es de más difícil determinación, ya que a los factores mencionados, debe sumársele la variable de la vegetación que lo cubre total o parcialmente, la naturaleza intrínseca del suelo y la capilaridad del mismo. Para determinar su valor se usan los lisímetros, constituidos por cajones de suelos con fondo de libre salida. Las observaciones realizadas indican que la evaporación del suelo oscila entre el 0,4 a 0,6 con respecto a una superficie líquida.

La transpiración de las plantas, suma sus efectos elevando el valor de la evaporación. En todo terreno cubierto con vegetación, natural o cultivada, la evaporación del suelo unida a la transpiración de las plantas, da valores mayores que los correspondientes a las superficies líquidas libres. A modo de indicador se estableció mediante mediciones que en las tierras de barbecho, la evaporación es de 1,44, con bosques 1,51; con cereales 1,73 y con césped 1,92.

La fracción de escurrimiento es la que contempla la cantidad de agua precipitada que se escurre en forma casi inmediata a su llegada al suelo. Los suelos impermeables o poco permeables producen un escurrimiento similar a los suelos que permiten infiltración, pero que se encuentren saturados por precipitaciones anteriores.

Es claro notar entonces que la fracción de escurrimiento es muy dependiente de las características intrínsecas del suelo, tales como granulometría, compactación, fisuración, capacidad de retención de agua intersticial, etc., como también de su estado hidrogeológico en el momento en que se produce la precipitación de agua.

Por ejemplo si tenemos precipitaciones muy cercanas en el tiempo, o continuas prolongadas durante varias horas, o muy intensas en poco tiempo, no permiten que el suelo, infiltre la cantidad de aguas precipitada por unidad de tiempo, y por consiguiente, el resto escurre por la superficie del suelo.

No siempre es posible medir directamente el agua que escurre pues buena parte de la que se infiltra, puede aflorar y tornarse nuevamente superficial, por tal razón las observaciones se orientan al aforo total, que se derrama a la salida de la cuenca.

Recordando que la fracción de escurrimiento es función de la naturaleza del suelo, de su pendiente, de la temperatura y otros factores locales, No es posible fijar valores absolutos ni siquiera para una misma cuenca, pues varía de años lluviosos a años secos, como valores indicativos anuales, se pueden tomar los que fueron determinados por Lautenberg y que se indican en la tabla 5-1, como porcentaje de la lluvia anual.

Tabla 5-1 Porcentajes de escurrimiento por tipo de suelo	
SUELO	PORCENTAJE
Cenagoso	2 %
Llanura cultivable	25 %
Ondulaciones suaves cultivables	30 %
Colinas Bajas	35 %
Sierras	40 %
Alta montaña	70 %

Estos valores nos permiten estimar los valores de escurrimiento de forma aproximada, debiendo controlarse con mediciones locales propias de la región.

El resto de las aguas de precipitaciones que no son evaporadas ni escurridas, se infiltra en el suelo. Es muy difícil realizar una investigación directa de esta fracción o porcentaje de infiltración.

La cantidad de agua infiltrada varía con las circunstancias locales y depende fundamentalmente de la constitución del suelo, como hemos visto anteriormente. En la constitución del suelo se distinguen la capacidad de imbibición como la cantidad máxima de agua que necesita para su saturación, la capacidad de retención que es la cantidad que guarda bajo libre efluencia y el grado de permeabilidad que representa la cantidad de agua que deja atravesar en la unidad de tiempo.

Estos caracteres no son correlativos, la arcilla, por ejemplo, tiene fuerte poder de imbibición, pero su permeabilidad es casi nula, pues el agua al penetrarla la emulsiona, cerrando sus poros con partículas coloidales.

Las aguas que penetran en los terrenos permeables, descienden bajo la acción de la gravedad con velocidades reguladas por su grado de permeabilidad. A medida que se internan encuentran capas más comprimidas lo que explica muchas veces los

tiempos que tardan en llegar a grandes profundidades. Las aguas de infiltración forman napas o acuíferos que veremos mas adelante

Aguas Superficiales

Las aguas que se encuentran en la superficie comprenden dos categorías distintas. Las animadas de un movimiento continuo por acción de la gravedad descienden desde los puntos mas elevados y después de un recorrido mas o menos regular se vierten en el mar. En forma genérica se denominan corrientes de agua.

Otras aguas, en cambio se detienen en depresiones naturales donde se acumulan formando grandes depósitos. Se llaman lagos cuando ocupan grandes extensiones con gran profundidad, siendo esta última mayor que la de sus tributarios o emisarios. Los reservorios de menores dimensiones y profundidades se denominan lagunas y bañados cuando son de muy poca profundidad. Los esteros son abundantes en vegetación. Las cañadas son tierras bajas con poca o ninguna agua presente en la mayor parte del año, pero tienen una especie de cauce que durante las épocas lluviosas llevan aguas abundantes.

Las corrientes de agua se deslizan por una hendidura del suelo que se llama indistintamente lecho, alveo o cauce, que tiene características especiales según sea la topografía y características de los suelos que traviese.

Normalmente se inician con agua recogida por la cuenta imbrífera o de recolección en los altos valles. En esta etapa del trayecto el régimen suele ser torrencial. Con ello se entiende pendientes fuertes, generalmente entre 60 y 20 por mil, grandes variaciones de caudal, lechos irregulares y gran arrastre de canto rodado o piedras de aluvión. Al llegar al valle bajo, deposita casi todo el material grueso que trae en una zona que se denomina cono de deyección moviendo solo el material particulado tipo grava o de menor tamaño porque la velocidad se ha disminuido.

Penetra luego en la llanura donde labra su cauce de forma mas regular con pendientes decrecientes en su camino al mar. Las variaciones de caudal son menos pronunciadas y el material que arrastra es cada vez de menor tamaño y peso, pasando de la arena gruesa al limo. Esta última sustancia esta compuesta por arcilla y arena de grano mediano a fino. El régimen se ha vuelto de aguas tranquilas y las variaciones de caudal quedan regularizadas por aportes de afluentes y/o napas subterráneas.

Los lagos no son lo común mas que el ensanche del alveo de los ríos y sus aguas provienen de sus afluentes tributarios. Sirven de depósitos naturales de reserva y regularizan el régimen de los ríos.

Si tomamos como ejemplo el Río Negro, observando que tiene en los altos valles de la cordillera una cuenca imbrífera que se extiende sobre 70.000 Km², de esta área de recolección se desprenden infinidad de pequeños torrentes y arroyuelos que se reúnen en dos distintas corrientes de agua, los ríos Limay y Neuquen. El primero tienen 37 lagos reguladores con 1.150 km² de superficie, destacando entre ellos el Nahuel Huapi. En cambio el Neuquen carece de esos moderadores o los tiene en cantidad insignificante y su régimen es torrencial. Su unión en Cipolletti forma el Río Negro. En este punto su pendiente es sólo de 0,67 por mil. Desde esa confluencia corre con rumbo Este una distancia de 537 Km. para verterse en el mar. La pendiente de su último recorrido es de 0,16 por mil.

Del examen hidrogeográfico de una región puede inferirse su naturaleza geológica. Las corrientes son numerosas en los suelos impermeables, pues las lluvias engendran un gran número de torrentes que se vierten en los ríos vecinos con gran rapidez, provocando crecidas violentas de poca duración. En las comarcas permeables los ríos son poco numerosos y su cambio de caudal mas acompasado, respondiendo a un régimen de relativa estabilidad. Las fuertes lluvias no causan grandes crecidas, a causa de la infiltración considerable, ya que el movimiento de las aguas subterráneas es muy lento. El régimen de crecidas indicado puede cambiar en los años muy lluviosos, ya que en esos casos, los suelos están saturados y no pueden infiltrar mas agua, por lo que la escorrentía aumenta considerablemente y termina en los cursos aumentando su caudal pudiendo provocar inundaciones.

Los volúmenes de agua que llevan los ríos varían con los períodos o estaciones de acuerdo al régimen de lluvias, por esa razón deben aforarse periódicamente. Se denominan módulo del río al volumen en m³ por segundo que tienen en un tiempo normal ordinario y se llama coeficiente de perennidad a la relación entre el valor en m³ por segundo de la mayor bajante o estiaje y su módulo. En el caso del Río Paraná tiene en tiempo normal 14.900 m³ por segundo y 6.500 en la mayor bajante por lo que su coeficiente de perennidad es:

$$\text{Coeficiente de perennidad} = \frac{6.500 \text{ m}^3/\text{segundo}}{14.000 \text{ m}^3/\text{segundo}} = 0,43$$

En la tabla 5-2 se observan los datos de caudales de algunos ríos argentinos.

Tabla 5-2 Caudales de Ríos Argentinos				
RIO	LOCALIDAD	CAUDAL EN M3 / SEGUNDO		
		MÁXIMO	MÓDULO	MINIMO
Paraná	Rosario	30.600	14.900	6.500
Paraguay	Formosa	—	3.400	—
Uruguay	Concordia	20.400	7.800	300
Bermejo	—	1.600	400	33
Primero	Dique San Roque	1.980	12,3	2
Segundo	San Antonio	29	—	6
Tercero	Villa María	—	5,2	—
Cuarto	Río IV	—	1,6	—
Quinto	Saladillo	7	—	1,4
San Juan	Valle del Zonda	2.800	53	14

Mendoza	Cacheuta	490	19	15
Blanco	Potrerillos	100	51	1
Tunuyán	La Consulta	250	14	—
Diamante	Boca Quebrada	127	50	24
Atuel	Rincón	137	27	14
Lules	Quebrada de Lules	—	2,1	—
Salado	Estación Barreto	970	—	—
Neuquen	Chos Malal	—	103	—
Limay	Paso Limay	990	—	170
Río Negro	Pringles	9.000	350	185
Chubut	Valle de las Plumas	146	—	22
Quequén	Puente Necochea	350	—	18

Las corrientes de agua son muy numerosas en nuestro país, y constituyen una de las fuentes principales de provisión. Sus aguas son en su mayoría dulces, de buenas condiciones de potabilidad y solo presentan el problema de las partículas en suspensión que suele ser muy abundante.

Siguiendo el trabajo del Dr. F. Latzina en hidrología de los ríos, pueden clasificarse en:

- Los tributarios del Plata
- Los ríos que nacen en la cordillera o serranías centrales y terminan en bañados o se infiltran en médanos o el suelo poroso de la pampa.
- Los ríos que se vierten al océano

Al primer grupo pertenecen los ríos y arroyos de Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Chaco, Jujuy, Salta, Santa Fe, algunos de Córdoba y Buenos Aires.

En el segundo grupo se encuentran las corrientes de Tucumán, Catamarca, Santiago del Estero, La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis y la mayor parte de los cursos de Córdoba y algunos de Buenos Aires.

Al tercer grupo pertenecen parte de los de Buenos Aires y todos los ríos patagónicos.

Los grandes lagos se encuentran en los altos valles de la cordillera y las lagunas tanto de agua dulce como salada se hallan diseminadas en la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe, Córdoba, San Luis y la Pampa.

Cuando las aguas se captan a la salida de su cuenca imbrífera su estado es de gran pureza y son también fáciles de captar con obras de represa o diques.

Cuando continúa su recorrido por los valles, se va cargando de minerales que aportan los afluentes y aguas subterráneas, al mismo tiempo va recolectando parte de los suelos por erosión propia y de las lluvias, teniendo en cuenta que también se arrastran la vida microbiológica que contiene el suelo.

Con su paso por centros poblados aumenta su grado de impureza con los vertidos industriales y domiciliarios, recordando que todas las corrientes de agua poseen un grado de autpurificación, que ya hemos analizado su funcionamiento en capítulos anteriores. Todas estas consideraciones nos indican que siempre el agua superficial debe ser depurada, mediante procesos específicos.

Aguas Subterráneas

Las aguas que se infiltran en el suelo provenientes de las precipitaciones, ríos, lagos y lagunas de fondo permeable, descienden por acción de la gravedad y su velocidad de penetración es inversamente proporcional al grado de permeabilidad de los suelos que atraviesa.

Las aguas pueden ser detenidas en su marcha por un estrato geológico impermeable, horizontal o inclinado, el cual retendrá el agua y su acumulación llenará los vacíos existentes en el suelo y formará una napa o acuífero. Si la capa impermeable es horizontal, permanecerán en el lugar formando una napa estática, si fuera inclinada, iniciará un movimiento de traslación horizontal formando una napa dinámica, siendo la velocidad de traslación de pendiente de la permeabilidad del suelo que la contiene.

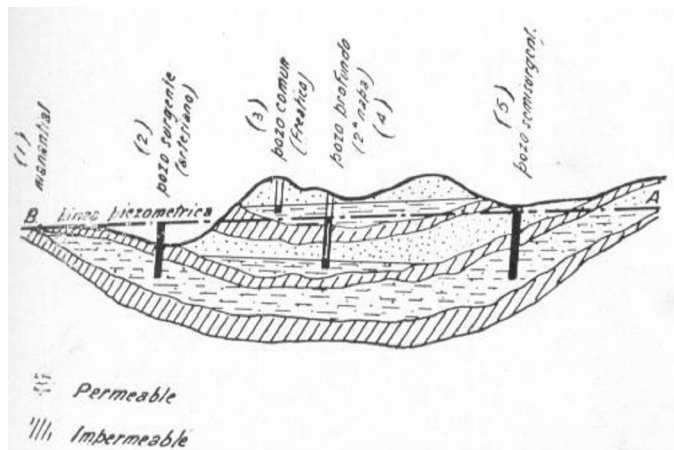


Figura 5-3 Corte esquemático con acuíferos

Cuando el estrato impermeable que ha detenido la infiltración tiene fallas o grietas o no es totalmente impermeable, se produce un nuevo descenso hasta otra barrera impermeable. Se habrá formado así una segunda napa o acuífero la que puede además recibir el aporte de aguas distantes. De esa manera se forman las sucesivas napas o acuíferas. Se las denominan libres cuando no llenan totalmente el espacio contenido entre los dos estratos impermeables y son cautivas o confinadas en caso contrario. Las aguas acumuladas sobre el primer estrato impermeable se denomina freáticas

En la figura 5-3 se representa un corte esquemático de la corteza con tres acuíferos, la primera llamada freática, la segunda libre y la tercera confinada, es decir bajo presión. La línea piezométrica declina desde el punto A al B. Si se practican perforaciones se tendría en el indicada como 3 un pozo común a la primera napa o freática. En el 4 se alcanza la segunda napa, mientras que en 5 las aguas casi afloran en la superficie del suelo, es lo que se llama un pozo semisurgente. En el 2 las aguas se elevan sobre el nivel del suelo hasta su nivel piezométrico y entonces tenemos un pozo surgente o artesiano. En el punto 1 las aguas surgen libremente con una débil presión dando como consecuencia un manantial.

La extensión y profundidad de los acuíferos se reconocen haciendo sondeos apropiados. Una vez determinada la extensión y altura o profundidad nos da una idea del volumen de la reserva del acuífero. Pero es de mas utilidad conocer el rendimiento o potencia del acuífero, el cual depende de sus fuentes de alimentación o recarga, estas pueden ser las aguas de lluvia, infiltración de corrientes de agua o aportes de otros acuíferos. Pero en la práctica es muy difícil establecerlas, por lo que en general se recurre al aforo directo, mediante al ejecución de pozos de exploración, bombeando el agua hasta encontrar el nivel de depresión y nos da el caudal del acuífero en el sitio del pozo.

En las napas dinámicas es muy útil conocer la dirección y velocidad de la misma. La dirección puede determinarse recurriendo a una serie de perforaciones y midiendo el nivel piezométrico de los mismos. Por interpolación se determinan las curvas de igual presión y la marcha de la corriente es normal a dichas líneas y se efectúa en el sentido de las cargas o niveles decrecientes. La velocidad puede medirse vertiendo una mezcla colorante en el pozo superior y medir el tiempo que tarda en aparecer en los pozos inferiores. Se debe tener cuidado de utilizar colorantes inocuos para el ser humano y que no contaminen el acuífero.

Las oscilaciones de nivel son muy frecuentes en las napas superiores y son el reflejo de las variaciones de las fuentes de alimentación o también pueden reflejar un cierto agotamiento debido a una abundante explotación del recurso, en cambio las napas inferiores se caracterizan por una mayor constancia volumétrica.

La formación del mapa hidrogeológico argentino ha sido encomendado en el año 1930 a la Dirección de Minas, Geología e Hidrología que ha ido cambiando de nombre y de jurisdicción. Lamentablemente, a pesar del que se ha realizado abundantes perforaciones oficiales a las que se le han agregado las realizadas por particulares, no se ha podido aún realizar el mapa completo, en la forma en que ya lo tienen los EEUU y varios países de Europa.

Las napas freáticas se hallan en casi toda la extensión de nuestro país variando de una profundidad de 0,5 a 150 metros, su nivel no es fijo, sino que varía de acuerdo a los regímenes pluviales fundamentalmente.

Las napas siguientes en profundidad contienen aguas semisurgentes y son alimentadas por acuíferos que descienden de la cordillera en muchos casos, existiendo otros que son alimentados por infiltración de aguas meteóricas. Presentan por lo común buenas características de potabilidad pero no se conocen exactamente su potencia, por lo que se recomienda la investigación local de la misma.

Obras de Captación

Una vez investigados los recursos hídricos de una región, estamos en condiciones de determinar en función del proyecto que estamos realizando obras de captación necesarias para proveer de la cantidad de agua necesaria.

Según sea el recurso a explotar tendremos distintos tipos de obras de captación, por ejemplo, en el caso de aguas superficiales las obras pueden ser tomas sumergidas o semisumergidas, para las aguas subterráneas la perforación de pozos hasta llegar a los acuíferos, y para el caso de aguas meteóricas una serie de obras destinadas a recoger y conducir el agua de las lluvias hacia los puntos de recogida y almacenamiento.

A continuación estudiaremos las distintas obras de captación según sean las fuentes de aguas superficiales, freáticas y/o subálveas, meteóricas y subterráneas.

Obras de Captación de Aguas Superficiales

Las obras de toma o captación de aguas superficiales tales como lagos, embalses y corrientes de agua de régimen permanente, deben ser las adecuadas a la importancia del servicio a prestar.

En los embalses se suelen construir torres de toma libres o adosadas al paramento mojado del dique.

En los ríos y lagos, las obras de toma se colocan a una distancia prudencial de la orilla y la boca de afluentes a un nivel no alcanzable por la impurezas que flotan y por las que puedan removerse del lecho.

A modo de ejemplo se muestra en la figura 5-4, la toma que tiene la ciudad de Buenos Aires en el Río de la Plata. Dicha toma está unida a la planta de tratamiento en Palermo por un túnel de 3 metros de diámetro y puede rendir 1.600.00 m³ por día para un río a nivel de aguas medias. La torre está formada por tres cámaras, la inferior de forma cilíndrica de 4,80 m de diámetro y 7,75 m de altura que da salida del agua al túnel mencionado. La intermedia es un doble cilindro de 7 m de alto. El exterior tienen 6 aberturas de entrada de 3,2 x 1,7 m, provisto de rejas. Desde la parte anular el agua penetra al cilindro interior

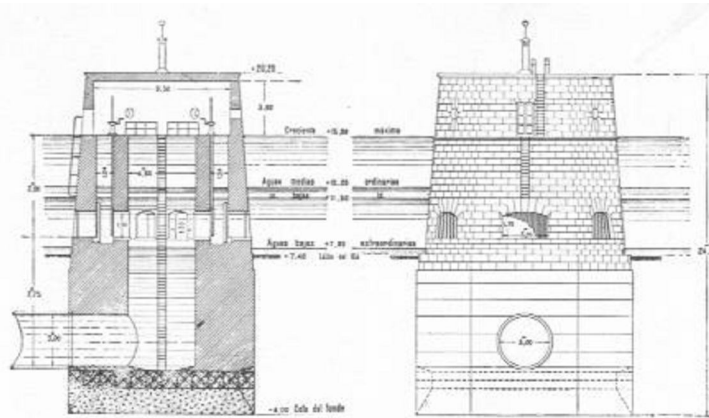


Figura 5-4 Toma de agua ubicada en el Río de la Plata

por 6 aberturas de 1,5 x 1,5 que se pueden cerrar con compuertas, que se operan desde una cámara superior de 3,8 m de alto y 9,5 m de diámetro interior, que se encuentra a un nivel superior a la máxima creciente.

Estudiaremos ahora las pautas de diseño de una obra de captación de aguas superficiales.

Recordemos que dichas obras son estructuras de cierta complejidad y de difícil ampliación, por lo que la proyección utilizada para el proyecto debe ser entre 30 y 40 años.

Si nuestra fuente seleccionada es un curso de agua superficial con un régimen estable y suficiente solo tenemos que diseñar la toma apropiada.

En el caso de que fuente no tenga el caudal necesario en algunos períodos del año, es posible utilizarla si se encuentran las condiciones topográficas para construir un embalse que acumule agua para asegurar la provisión permanente. Se deberá tener cuidado al utilizar esta alternativa ya que al quedar sumergida la superficie del terreno que contiene vegetación, esta se descompondrá y luego mediante el proceso de autodepuración volverá a los niveles naturales originales, insumiendo una cierta cantidad de tiempo que dependerá de la cantidad de vegetación y la capacidad de autodepuración propia del curso de agua, por lo que debemos tener en cuenta ese tiempo antes de poder disponer de la obra de toma en condiciones de usarse.

Las características de las obras de captación dependen de la fuente elegida, caudal de la misma, niveles y lugar de emplazamiento.

Debemos diseñar las obras, obteniendo las mayores seguridades posibles con respecto a los factores que inciden en su funcionamiento y que son los siguientes.

Seguridad Funcional

Garantiza el objetivo fundamental, asegurando el caudal necesario bajo cualquier condición de flujo y durante todo el período de diseño. Las posibilidades son:

- Permanente suficientes
- Periódicamente insuficiente.

Si nos encontramos en el primer caso no existen inconvenientes, pero si tenemos el segundo caso, como el caudal de la fuente es menor en algún período al caudal del proyecto, debe realizarse obras de almacenamiento o prever fuentes alternativas para cubrir ese déficit.

Las fuentes alternativas también deben utilizarse cuando el volumen es suficiente, pero la calidad del agua es muy variable.

Seguridad Contra Contaminación

Nos estamos refiriendo al lugar de emplazamiento de las obras de toma que debe estar lo más alejado posible de los puntos de volcamiento de efluentes cloacales, industriales o pluviales. Recordemos que pueden existir reglamentaciones sobre las distancias mínimas de los vertidos a las tomas de agua como en el caso de la Provincia de Santa Fe.

Seguridad de Ubicación

La toma se deberá ubicar de manera de no modificar el régimen de escurrimiento, evitando embancamientos o erosiones. En los cursos de llanura se deberá preferir los tramos rectos de barrancas estables o bien realizar obras de defensa.

Un punto importante de tener en cuenta es que el acceso a la toma deberá ser fácil permanentemente, para que el personal encargado de su operación y mantenimiento.

En las tomas se debe evitar el arrastre de material sedimentable y/o flotante, por lo que la profundidad de la toma tendrá una sumergencia y una profundidad tales que no permita que dicho material se absorba por las bombas y en sitios donde no esté asegurada la sobre-elevación se puede utilizar una toma flotante.

En los cursos navegables la toma no deberá interferir con el paso de embarcaciones o con elementos flotante arrastrados por el río y además deberá contar con balizas luminosas.

En los cursos de agua, el sistema más sencillo consiste en un conducto abierto que transporta el agua por gravedad a una cámara de carga desde donde se bombea. Dicha toma debe contar con una reja que impida el pasaje de objetos que puedan dañar las bombas

Seguridad Estructural

La obra de toma deberá ser estructuralmente sólida, estable y capaz de soportar los distintos estados de cargas que se le presentan durante todo el período de funcionamiento.

El riesgo a asumir por estas estructuras consisten fundamentalmente en:

- Vuelco
- Socavación
- Flotación

Se debe diseñar de manera que su forma ofrezca la menor resistencia a la corriente de agua

Seguridad Contra Inundaciones

El proyecto de la obra de toma asegurará que determinados elementos queden por encima del nivel de máxima creciente, tal es el caso de los equipos electromecánicos no sumergibles como tableros, sistema de control y de comando, etc.

También es fundamental que se pueda acceder aún en las peores condiciones, de manera de realizar mantenimiento o reparación en el menor tiempo posible.

Calculo de Toma Superficial

Estudiaremos a continuación el cálculo de una toma directa para el abastecimiento de agua a una población pequeña o mediana desde un curso de agua o canal. Es una estructura protegida por una reja que incluye los equipos de bombeo.

Todos los criterios de diseño que se apliquen en esta caso son válidos para otros diseños mas grandes o de otras formas estructurales.

En la figura 5-5 vemos un corte y planta de la toma que vamos a diseñar y calcular. Se indican el nivel de máxima creciente, el nivel de máxima bajante y el nivel de sumergencia necesario para el funcionamiento de las bombas.

Se debe diseñar la toma calculando las dimensiones del recinto de toma y de la reja.

Será necesario conocer el caudal medio requerido por el proyecto y consecuentemente el caudal de bombeo el que será igual o mayor según la cantidad de horas que proyectemos hacer trabajar las bombas.

Comenzaremos diseñando la reja y para ello fijamos la velocidad de paso del agua, teniendo en cuenta que se debe evitar el ingreso de peces al recinto de la toma y la acumulación de sólidos sobrenadantes del curso de agua sobre ella.

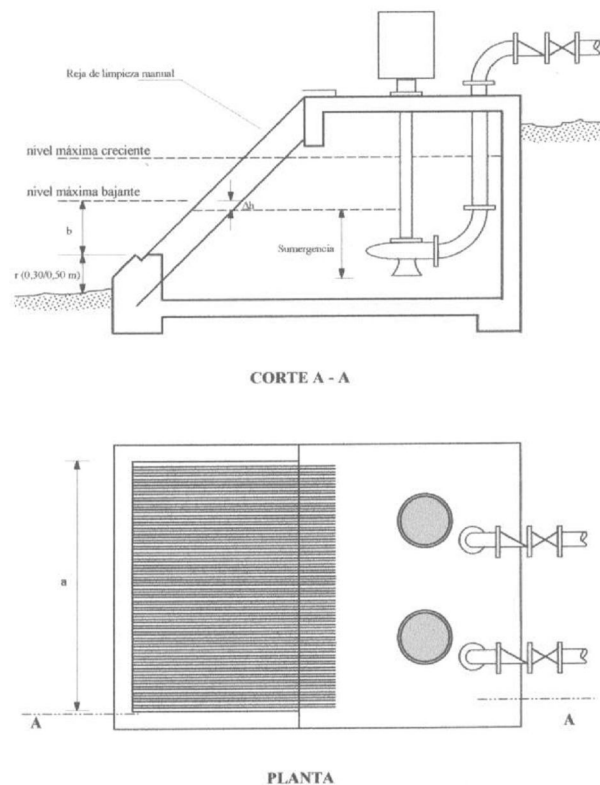


Figura 5-5 Toma de Agua Superficial

Los valores de velocidad se fijan dentro del entorno de

$$V \leq 0,15 / 0,05 \text{ m/seg.}$$

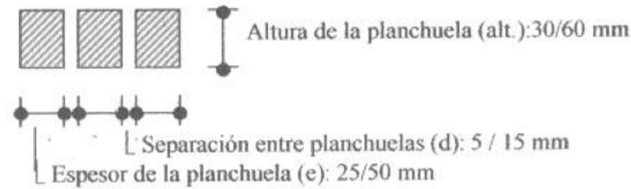
El menor valor corresponde a aquellos casos en que se quiere evitar el paso de los peces

El material utilizado para su construcción puede ser planchuela de acero, que es el mas adoptado no desechando otros materiales que puedan ofrecer similares prestaciones

En la figura 5-6 observamos un corte y una vista de la reja en donde :

- d: espacio entre rejas
- e: espesor de la planchuela
- b: altura mínima de escurrimiento (vertical)
- a: longitud de escurrimiento (horizontal)

Corte de la reja



Vista de la reja

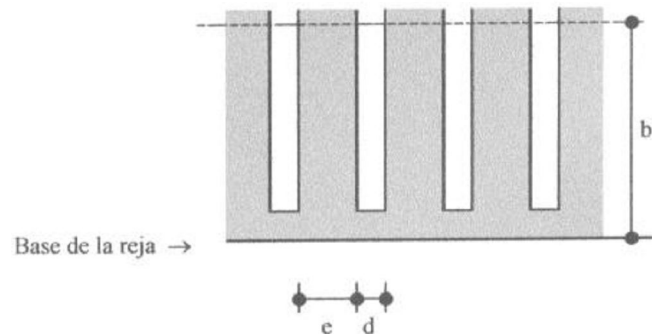


Figura 5-6 Corte y Vista de Reja

Definimos algunos términos importantes:

- Superficie unitaria total de reja: $\Omega_t = b(d+e)$
- Superficie unitaria útil de reja: $\Omega_u = b \cdot d$
- Superficie total de reja: $\Omega_T = a \cdot b$
- Superficie total útil de reja: $\Omega_{UT} = b \cdot d \cdot n^{\circ} \text{ esp. libres}$

Comúnmente se produce una colmatación en la reja que varía entre un 25 % a un 50 %, por lo tanto debemos calcular la superficie total útil a reja sucia:

$$\Omega_{us} = \frac{b \cdot n \cdot d}{f_{\text{colmat}}}$$

En donde el factor de colmatación f , varía de 1,33 (25 %) a 2 (50 %).

Luego ya estamos en condiciones de calcular al ancho de los barrotes y su número, ya que conocemos b y podemos adoptar d .

De la fórmula:

$$V = \frac{Q}{\Omega_{us}}$$

Reemplazando Ω_{us} y despejando el n° de barrotes tenemos:

$$n^o = \frac{Q}{V} \cdot \frac{f_{colmat}}{b \cdot d}$$

Luego con **d** y en **n° de barrotes** calculamos **a**, es decir el ancho de la reja.

Otro elemento a tener en cuenta será la pérdida de carga que se produce en la vena líquida al atravesar la reja. Puede estimarse dicha pérdida de carga según dos métodos que veremos a continuación.

El primer método utiliza la fórmula del *Manual de Diseño de Pequeñas Presas*

$$\Delta h_{reja} = Kr \frac{V^2}{2g} \left\{ 1,45 - 0,45 \frac{\Omega_{us}}{\Omega_T} - \left[\frac{\Omega_{us}}{\Omega_T} \right]^2 \right\}$$

Siendo:

Kr el factor de forma del barrote, aproximadamente **0,9**

Ω_{us} es la relación entre sección útil y sección total de reja

Ω_T

Hay que tener en cuenta que en la sección útil deberá tener en cuenta el factor de colmatación.

Deberá tenerse en cuenta de que la velocidad no sobrepase los 0,15 m/seg.

El segundo método se basa en la estimación de la pérdida de carga a reja limpia y la pérdida de carga a reja sucia. Para la reja limpia se usa la formula Kirschner:

$$\Delta h_1 = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde **K** se calcula según la siguiente formula:

$$K = \beta \left[\frac{e}{d} \right]^{4/3} \text{sen } \alpha$$

Siendo

α el ángulo de inclinación de la reja con respecto al horizonte.

β es función de la forma del barrote:

$$\begin{array}{ll} \square & 2,42 \\ \bigcirc & 1,67 \\ \bigcirc & 1,72 \end{array}$$

Para la reja sucia se usa la fórmula de Metcalf:

Donde:

V = velocidad de pasaje a través de la reja

Vo = velocidad de aproximación del agua cercana a la reja

$$\Delta h_2 = \frac{V^2 - V_o^2}{2g} \cdot \frac{1}{0,7}$$

Si la corriente es tangencial a la reja **Vo = 0**

Como dato final puede mencionarse que, para tomas en servicio la Δh es pequeña, estando en el orden de algunos milímetros y acaso puede llegar a muy pocos centímetros.

Captación de Aguas Meteoricas

En los casos en que no se dispone de otros recursos, pueden realizarse la captación de aguas meteoricas. El agua pluvial en su paso por la atmósfera arrastra polvo y gases disueltos como el anhídrido carbónico, oxígeno y otros que la hacen levemente corrosiva, pero no se contamina prácticamente por bacterias o parásitos. Siendo el agua meteorica de buena calidad no constituye una fuente constante y por consiguiente hay que almacenarla durante las épocas lluviosas para proveernos durante la etapa de sequía, es en el proceso de recogida y almacenamiento donde puede sufrir contaminación y por consiguiente hay que extremar las precauciones en este sentido. El tipo de sistema que se usa para el almacenamiento es la cisterna o aljibe, en donde se entiende generalmente que el aljibe es un almacenamiento para casas unitarias y de poco volumen, mientras que la cisterna que es de mejores dimensiones puede abastecer a conjunto habitacionales.

En general se utilizan los techos como superficie de recolección, el agua escurre a una canaleta conectada a caños de bajada hasta el depósito de almacenamiento. Conviene y a veces es indispensable que se complete con un filtro de arena. La primera agua que precipita lava la superficie de recolección y arrastra los contaminantes en ella depositados, debe entonces desecharse, por lo que debemos contar con una válvula manual para desviar la primera agua de recogida.

Periódicamente se requiere limpiar la superficie de recepción y tener en cuenta que las canaletas, caños de bajada y conducción deben ser de materiales inoxidables.

El filtro de arena debe ser mantenido en buenas condiciones para lo cual se procederá periódicamente a cambiar o lavar la primera capa de arena de unos 10 cm. de espesor.

Los aljibes o cisternas deben reunir algunos requisitos sanitarios básicos:

- El estanque de acumulación debe estar sin grietas o cuarteaduras a fin de evitar pérdidas o entrada de agua contaminada superficial.
- Debe contar con cubierta y tapa de registro perfectamente impermeable para evitar que penetren contaminantes tales como, polvo, excremento de aves, insecto o agua contaminada.
- Debe existir un sistema que permita eliminar la primera agua de recogida por la superficie captante.
- Debe contar con un filtro de buena calidad formado por un estanque con una capa de arena, ripio y un sistema de drenaje que descarga directamente al aljibe sin ninguna posibilidad de contaminar el agua. El filtro tiene por objeto retener todos los contaminantes en suspensión que pudieran derivarse u originarse en la superficie captante (polvo, insectos, tierra, etc)
- El sistema sanitario de extracción de agua, preferiblemente gravitacional si la topografía del terreno lo permite o bomba manual dispuesta en condiciones sanitarias.
- La ubicación de los sistemas de eliminación de excreta, tales como letrinas, sistemas de drenajes, pozos absorbentes que incorporen líquidos contaminados al suelo, deben estar ubicados a una distancia tal que garantice la imposibilidad de contaminar el agua acumulada en la cisterna y como mínimo a 25 metros.

Además de estos requisitos básicos, es conveniente que se realice un mantenimiento del sistema, verificando el estado de conservación del mismo, su funcionamiento, con el especial cuidado la eliminación de la primera agua de recogida, toma de muestras para análisis bacteriológicos y si es necesario una desinfección periódica del agua de la cisterna con cloro.

En la figura 5-7 se representa una cisterna sanitaria.

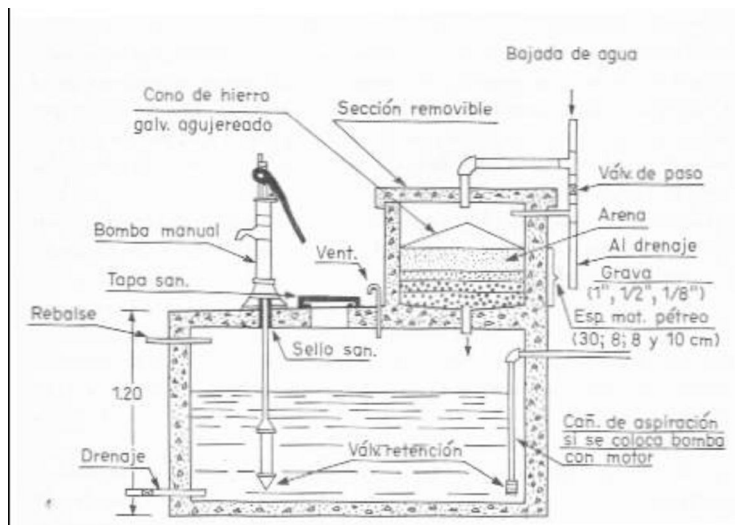


Figura 5-7 Cisterna Sanitaria

A modo de recordatorio, la ciudad de Venecia que en la actualidad se surte de agua subterránea, tenía antiguamente 2.000 cisternas con capacidad total de 200.000 m³ y en la figura 5-8, se representa el modelo utilizado, que está formado por una excavación troncocónica cuyas paredes se impermeabilizan por medio de arcilla apisonada o con revestimiento de mampostería u hormigón. Se llena el interior con arena disponiendo las capas de granos de mayor diámetro hacia el fondo. En el centro se construye un pozo de toma en cuya parte inferior se han abierto numerosas perforaciones. Las aguas pluviales llegan recolectadas mediante un canal circular.

Captación de aguas freáticas y subálveas

Una de las posibilidades de captación de aguas es el aprovechamiento de las vertientes o manantiales. Los mismos provienen de aguas subterráneas que afloran en la superficie por fallas o accidentes de los estratos impermeables que las contienen. Generalmente se piensa que el agua proveniente de vertientes no se contamina o no está contaminada, lo cual constituye un error grave. Uno de los orígenes más comunes de contaminación es la entrada de agua superficial, pues si el agua

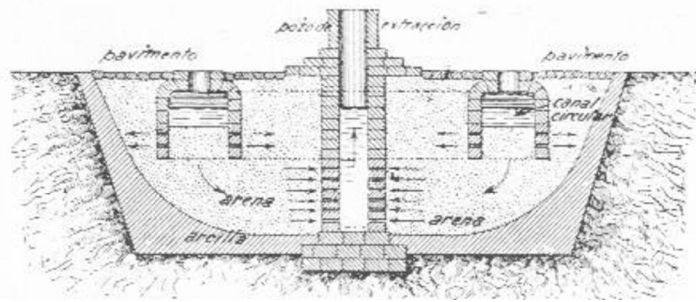


Figura 5-8 Cisterna Veneciana

de la vertiente se presenta turbia después de una lluvia, no indica que el acuífero ha recibido una recarga sin la suficiente filtración, y puede ser vehículo de contaminación. Este tipo de filtración suele ser bastante común en terrenos rocosos.

Por otra parte el sistema de extracción puede contaminar el agua de la vertiente.

Antes de iniciar la captación y protección de un manantial, hay que realizar un estudio para obtener información referente al acuífero tales como, calidad del agua, el rendimiento en las distintas épocas del año, topografía y la presencia de posibles fuentes de contaminación.

Como la captación abierta está expuesta a contaminación, se la debe proteger como se indica en el ejemplo de la figura 5-9.

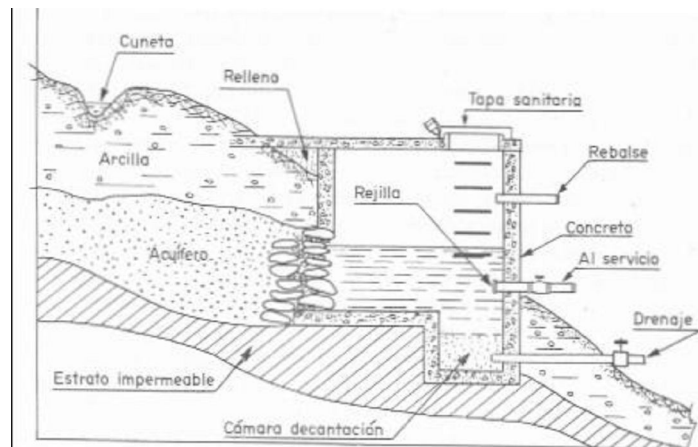


Figura 5-9 Captación de aguas de vertientes

La protección consiste en una obra que recoge el agua en un depósito con cubierta hermética e impermeable que dispone de caños de salida y rebalse con rejillas metálicas. La excavación de la cámara hay que profundizarla en lo posible

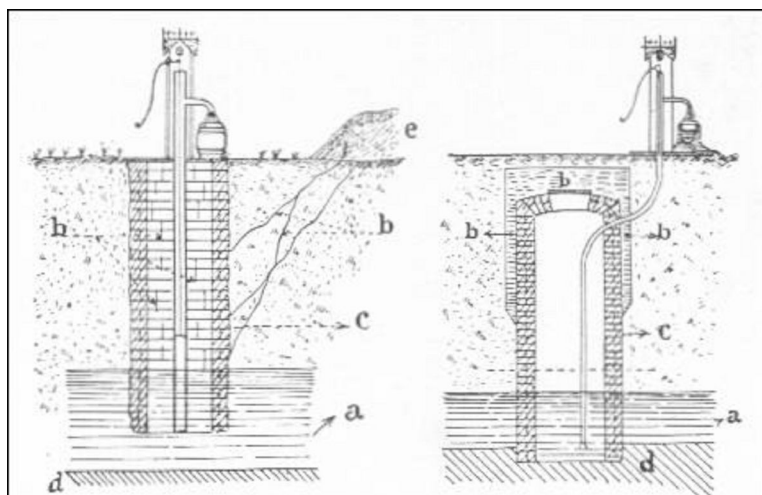


Figura 5-10 Captación de aguas freáticas

Pozo Común

- a.- Napa acuífera
- b.- Infiltraciones
- c.- Muro permeable
- d.- Capa impermeable
- e.- Residuos contaminantes

Pozo Perfeccionado

- a.- Napa acuífera
- b.- Arcilla apisonada
- c.- Muro impermeable
- d.- Capa impermeable

hasta encontrar la capa impermeable. Esta operación necesita de cuidados, sobre todo en terrenos fisurados, para evitar que el agua se desvíe, por lo que por ningún motivo debe usarse cargas explosivas en la excavación.

Una vez construida y habilitada la obra de captación conviene hacer una desinfección con abundante de cloro antes de entregar el agua al consumo. El sistema tiene que disponer de una tapa para acceso de mantenimiento, que tenga las protecciones necesarias para evitar la entrada de agua contaminada otro tipo de contaminantes. En la parte alta de la vertiente se construye una zanja o acequia colectora de agua de lluvia para mayor seguridad ambiental.

El uso del recurso de aguas freáticas, no es recomendable ya que es el mas vulnerable a la contaminación y degradación, por lo que se debe utilizar solo en los casos en que no se disponga de otro recurso. Si se va a utilizar este recurso, deberá protegerse el área de recarga para evitar la contaminación tal como se vio en capítulos anteriores.

La explotación de aguas freáticas se realiza con pozos cuya profundidad es líneas generales no supera los 30 metros. Se excavan en forma cilíndrica con diámetros que van de 1 a 5 metros. En general llevan muros de revestimiento dotados de hendiduras en la porción donde atraviesa el acuífero. En la figura 5-10 se observan dos modelos de captación, el pozo común y el pozo perfeccionado. El defecto principal del pozo común es la fragilidad a la infiltración por las paredes y partes superior de agua contaminada y/o contaminantes sólidos por la parte superior, en cambio con el perfeccionado la parte superior es cerrada con una bóveda con una tapa de acceso eventual. Una capa de arcilla compactada perfecciona la impermeabilidad del muro de revestimiento ejecutado con mortero de cemento y con un elucido interno del mismo material, con el agregado de hidrófugos. La extracción puede realizarse con bombas manuales como se indica en la figura o con electrobombas de superficie o sumergidas.

El aumento del diámetro de los pozos solo eleva la capacidad de almacenamiento, pero tiene escasa influencia sobre el rendimiento, ya que este depende de la permeabilidad del suelo y de la superficie lateral que tenga el pozo en contacto con el acuífero.

Su utilización dentro de la provincia de Santa Fe no está muy extendida, ya que se deben reunir ciertas condiciones especiales, como caso particular puede mencionarse a San Jenaro Norte, donde se aprovechó la excavación realizada para préstamo de suelo que se encuentra en un lugar de cotas baja que le permite captar el agua de lluvia de las cunetas, produciendo así la recarga del acuífero, que luego es explotado mediante seis pozos de gran diámetro ubicado en sus laterales. Como su dependencia de las lluvias es casi total se han agregado al sistema varios pozos de aguas profundas para suplir eventuales déficit.

En la figura 5-11 se observa un pozo con electrobomba y un detalle de los huecos para el ingreso de agua con su rejilla y material filtrante.

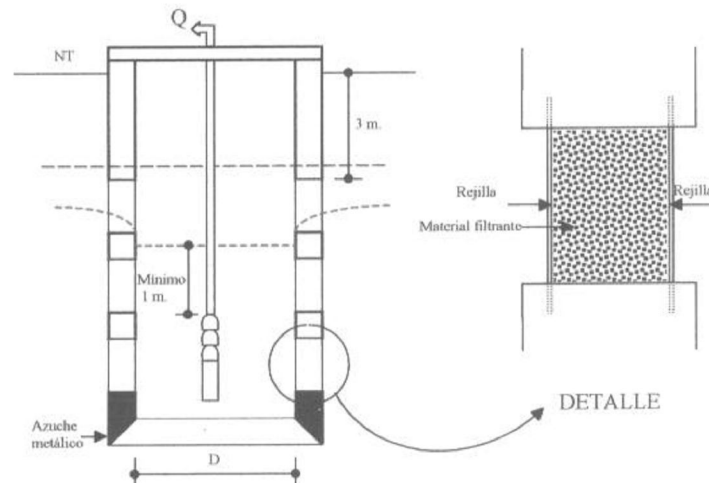


Figura 5-11 Pozo de aguas freáticas

Los pozos se ejecutan utilizando un azuche metálico que se va hincando a medida que se va retirando el suelo que queda dentro del mismo, repitiéndose la operación hasta llegar a la profundidad deseada. El cuerpo del pozo puede ser de mampostería, hormigón armado in situ u hormigón premoldeado. La parte superior del pozo, hasta los tres metros de profundidad aproximadamente, se revoca interior y exteriormente para impermeabilizarlo y el coronamiento es realizado con una losa de hormigón armado, que deberá tener una cota superior a la de máxima inundación, para evitar el ingreso de agua superficial. Por debajo de los 3 metros se dejarán aberturas que tienen rejillas interiores y exteriores, colocando entre ellas, material filtrante granular fino.

Si el pozo no alcanza el terreno impermeable con su fondo es posible utilizarlo para aumentar la superficie de paso de agua, para lo cual se coloca también material granulado seleccionado, por capas desde la mas fina en contacto con el suelo a la mas grande en la parte superior.

La relación entre las superficies laterales libre y total es:

$$S = \frac{\Omega_{\text{Libre}}}{\Omega_{\text{Total}}} = \frac{1}{5} \text{ a } \frac{1}{10}$$

Una forma de mejorar el rendimiento de los pozos excavados consiste en agregarle radialmente drenes como se indica en la figura 5-12.

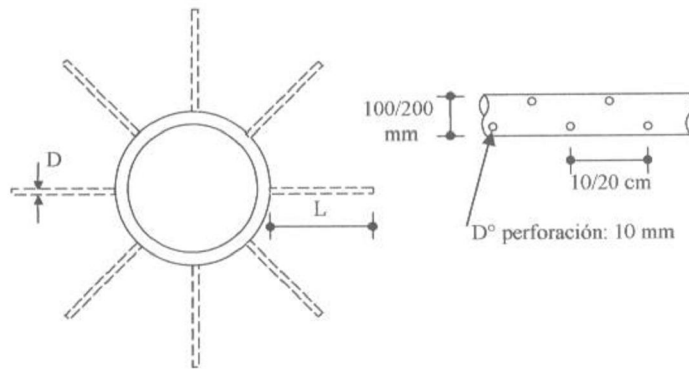


Figura 5-12 Pozo de aguas freáticas con drenes

Para calcular estos drenes se parte de:

$$S_{\text{filt}} = \frac{Q}{V_{\text{filt}}}$$

Y el área unitaria, siendo ϕ el diámetro de los orificios será:

$$\omega_{\text{filt}} = \frac{Q}{n^{\circ} \text{ drenes} \cdot V_{\text{filt}}} = \frac{\phi^2 \pi \cdot n^{\circ} \text{ orificios}}{4 \cdot m} \cdot L_{\text{total}}$$

De donde adoptando ϕ , el n° de drenes, el n° de orificios por metro y la velocidad de filtración, podemos calcular el largo L , ya que Q es un dato conocido.

Posteriormente a su ejecución se ensaya el pozo durante 72 horas y se lo desarrolla para producir el arrastre de los finos. En las figura 5-13, vemos los cortes comparativos de un acuífero confinado y un acuífero libre.

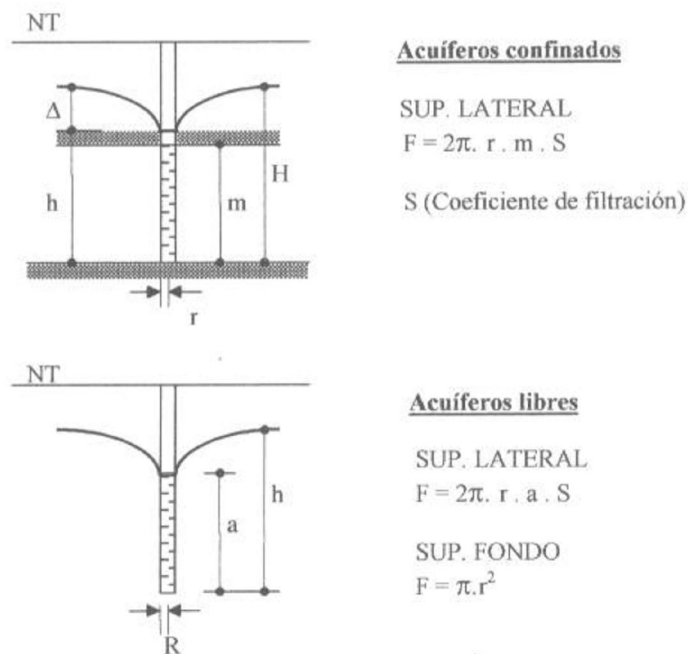


Figura 5-13 Acuíferos Confinados y Libres

Las fórmulas utilizadas son las de Darcy, similares a las de pozos semisurgentes. Para acuíferos libres:

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

Para acuíferos confinados:

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

Para ambas fórmulas **K** es la permeabilidad propia del suelo.

Técnicamente el **Qmáximo** se daría cuando **h = 0** es decir con el mayor abatimiento.

Es importante no superar las velocidades máximas ya que se produce el arrastre de finos que provoca el desgaste prematuro de las bombas.

$$Q_{\text{máximo}} = F \cdot V_{\text{max}}$$

Donde **F** es la superficie de ingreso al pozo. Según Sichardt:

$$R = 3000 \Delta \sqrt{K}$$

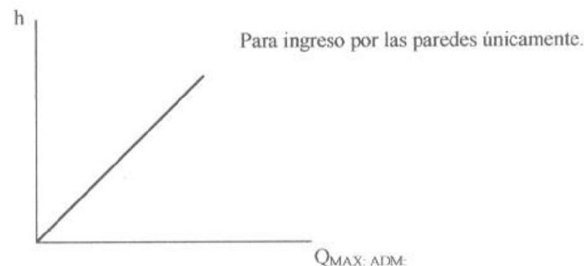
$$V_{\text{max}} = \frac{\sqrt{K}}{15}$$

En la figura 5-14 se han representado las gráficas de **h** y **Qmaxadm** para las situaciones de ingreso lateral, ingreso por el fondo y la combinación de ambos.

Cuando conciliamos la ecuaciones de Darcy y las del **Qmaxadm**, podemos conocer el **h** para el **Qmaxadm** según vemos en la figura 5-15.

Por lo tanto, debemos graficar ambas curvas. La del caudal máximo admisible en un entorno lógico de **h** (por ejemplo entre 0 y 7 metros). Graficar según la fórmula de Darcy es mas complicado por tener como incógnitas **R** y **h**, lo que solucionaremos apelando a la formula de Sichadt vista mas arriba y fijando

$$\Delta = H/3 \text{ (valor normal)}$$



Obtenido h , hay que verificar si con este Δ , R coincide con el estimado, permitiéndose diferencias de hasta un 100 %, si la diferencia fuera mayor se deberá recalcular.

La captación de aguas de subálveo es otra manera de tomar agua de napas freáticas.

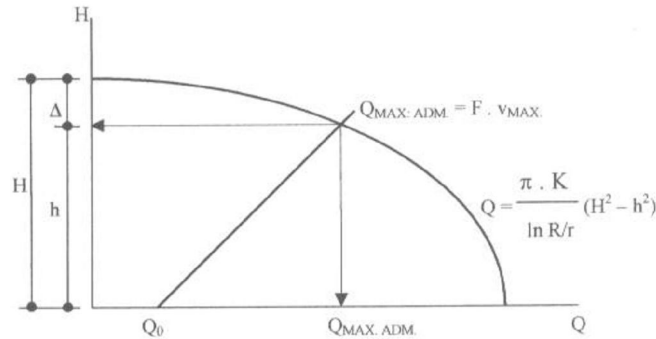


Figura 5-15 Gráficas de caudal máximo y Darcy

Cuando el lecho de un río está cavado en una capa sedimentaria de material permeable, el agua de infiltración origina una corriente extrálvea paralela al río y de velocidad reducida. En la figura 5-16 vemos un corte de un río donde se indica la corriente extrálvea en el terreno aluvional. Se pueden captar las agua extrálveas por medio de galerías o pozos y gracias a la depuración que han sufrido en los suelos permeables, presentan buenas condiciones para ser usada.

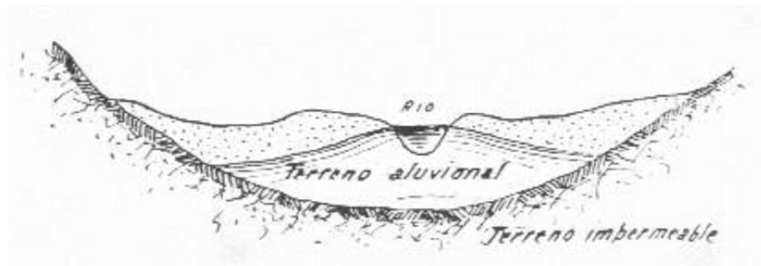


Figura 5-16 Corte de curso de río con extrálveo

Se define al subálveo como la capa de suelo que se encuentra ubicada debajo del lecho de un curso de agua superficial.

Cuando el material que compone el subálveo tiene gran permeabilidad, buena parte del agua circula por él y siendo dicho caudal permanente y suficiente, puede utilizarse como fuente de provisión de agua de poblaciones.

Una de las formas de explotación es por medio de galerías filtrantes, construidas en túnel o a cielo abierto, perpendiculares o en paralelo al sentido de la corriente, que permiten la captación de grandes caudales a poca profundidad.

El agua ingresa a la galería por numerosas aberturas, que pueden estar ubicadas en una o ambas caras, siendo conveniente rodear el exterior de la galería con una masa de grava de granulometría variable, para aumentar el área de influencia y reducir la velocidad de ingreso.

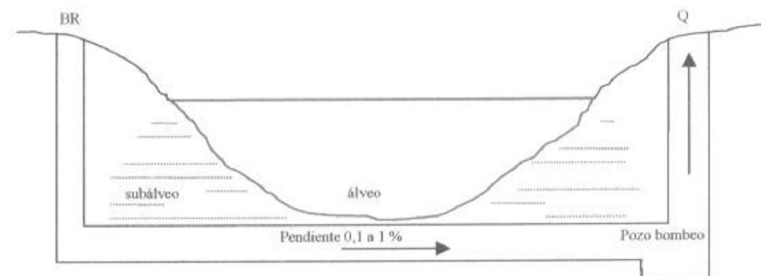


Figura 5-17 Corte longitudinal de galería de captación de agua subálvea

En la figura 5-17 se observa un corte longitudinal de la galería, mientras que en la figura 5-18 un corte transversal, donde se observan el nivel estático del agua del subálveo, en nivel dinámico, el radio de influencia de la depresión y las dimensiones del ancho y alto de la galería.

El caudal se calcula mediante la fórmula:

$$Q = \frac{K \cdot L}{R} (H^2 - h^2)$$

En donde:

- K = coeficiente de permeabilidad

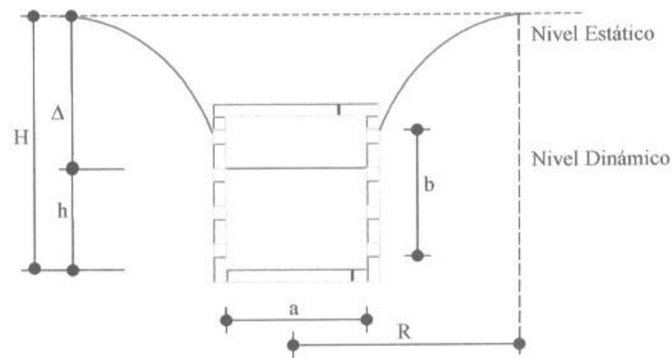


Figura 5-18 Corte transversal de galería de captación de agua subálvea

- L = longitud de la galería
- R = radio de influencia
- H = altura del nivel estático, respecto del fondo de la galería
- h = altura del nivel dinámico, respecto del fondo de la galería

La construcción de las galerías en general se realiza a cielo abierto, desviando todo o parte del río y aprovechando para colocar la capa de grava seleccionada.

También suelen utilizarse, en las galerías filtrantes perpendiculares al curso de agua, los llamados drenes, que son conductos perforados que aumentan la superficie de captación. En general estos drenes no atraviesan todo el lecho del curso de agua como en el caso de las galerías filtrantes, llegando aproximadamente a la mitad del mismo. En la figura 5-19 se muestra un corte de los drenes.

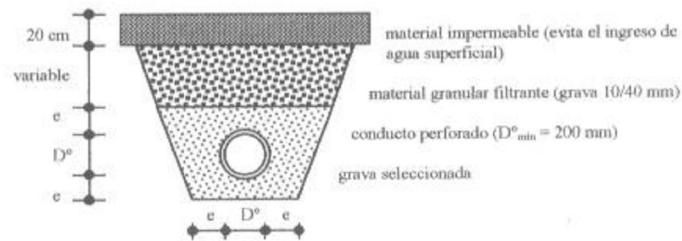


Figura 5-19 Corte de drenes

Las dimensiones usuales son:

- $e = 30$ a 40 cm
- $V_{\text{filt}} = 0,03 / 0,05$ m/seg.
- D° orificios = $10/30$ mm

Y se debe calcular:

- N° de orificios
- Separación entre orificios
- Largo de los drenes que es función del caudal necesario.

En la figura 5-20 se observan otros sistemas de captación como la galería paralela al curso de agua y los pozos excavados.

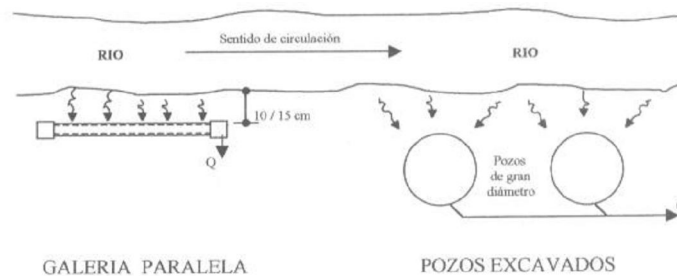


Figura 5-20 Otros Sistemas de Captación de Aguas de Subálveo

Captación de Agua Subterráneas Profundas

Recordando que el agua subterránea se encuentra en estratos geológicos muy diversos desde gravas y arenas hasta limos, confinados entre capas de suelo impermeable. Estos reservorios comúnmente llamadas napas pueden estar contenidos entre dos capas impermeables o una sola que le sirve de piso.

Según su ubicación dentro del subsuelo pueden ser:

- Napas libres
- Acuíferos confinados

O por la forma como llegan a la superficie, siendo:

- Semisurgentes, se extrae por bombeo
- Surgentes, surgen naturalmente

Los acuíferos freáticos ya los estudiamos y veremos ahora los acuíferos profundos.

En los acuíferos confinados entre dos capas de suelo impermeable, pueden presentarse dos situaciones que veremos a continuación.

La primera de ellas es que el suelo entre las dos capas impermeables no se encuentra totalmente saturadas sino solo en partes, por lo que se comporta de forma similar a las napas freáticas, pero sin los riesgos ambientales de esta última.

La segunda posibilidad es que el suelo comprendido entre las dos capas se encuentre totalmente saturado y con cierta presión de tal modo que su potencia (altura interior de la napa o medida entre los dos estratos impermeables), no coincide con el nivel estático del acuífero.

Debemos recordar también que en general el agua de la napa no se encuentra estático, sino en movimiento, el que es provocado por la propia presión y por la pendiente del acuífero, siendo este movimiento muy lento por la oposición de las partículas de suelo.

Al extraer agua de un acuífero produciremos un descenso del nivel estático de la napa, y en la figura 5-21, observamos un corte de la hidráulica de un pozo con una napa no saturada.

En donde

- H = altura del nivel estático de la napa
- h = altura del nivel dinámico
- Δ = abatimiento o depresión
- R = radio de influencia del pozo
- r = radio del pozo o perforación

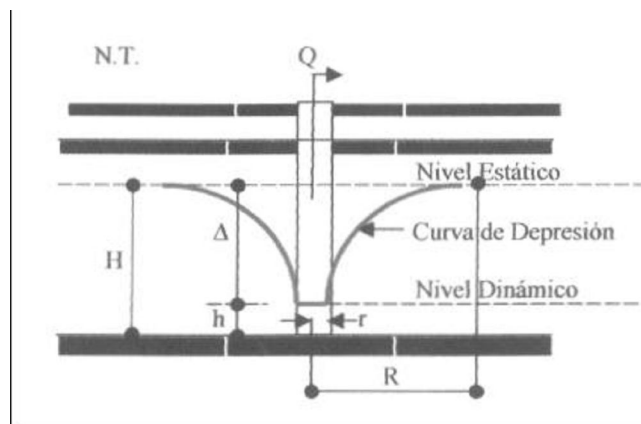


Figura 5-21 Hidráulica de Acuíferos confinados no saturados

En la figura 5-22 vemos la hidráulica de un acuífero confinado y saturado.

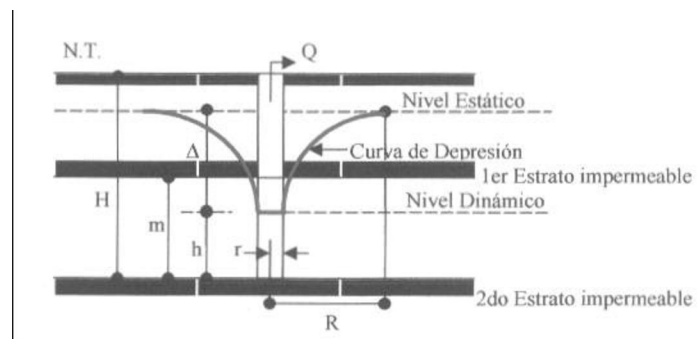


Figura 5-22 Hidráulica de Acuíferos confinados saturados

En donde

- H = altura del nivel estático de la napa
- h = altura del nivel dinámico
- m = potencia del acuífero
- Δ = abatimiento o depresión
- R = radio de influencia del pozo
- r = radio del pozo o perforación

Cuando se extrae agua de la napa mediante bombeo, se produce una depresión en el nivel estático, tanto mayor cuanto mayor es el caudal bombeado.

Así para un caudal Q_1 el radio de influencia será R_1 , en tanto que para un caudal mayor Q_2 el radio de influencia será R_2 , mayor que R_1 .

Además, el agua fluye al pozo no solo desde la dirección del flujo natural, sino teóricamente, desde todas direcciones, formándose el llamado cono de presión tal como se aprecia en la figura 5-23.

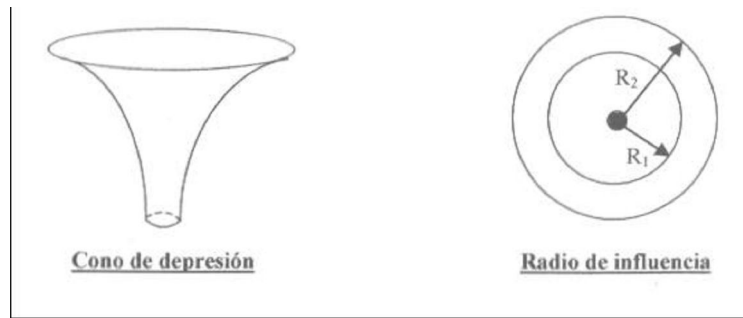


Figura 5-23 Cono de Depresión y Radio de Influencia

La fórmula de Darcy para escurrimiento en medio poroso nos permite apreciar que la velocidad del movimiento del agua es directamente proporcional al gradiente hidráulico.

Siendo:

$$V = K \cdot i$$

- K = Coeficiente de filtración
- i = gradiente hidráulico ($\Delta h / L$)

Así si queremos averiguar el caudal Q que escurre en un medio poroso debemos conocer su permeabilidad. Para ello se utiliza en laboratorio el permeámetro de columna descendente, que se muestra en la figura 5-24.

Y sabiendo que

$$V = \frac{Q}{A}$$

Será:

$$Q = A \cdot K \cdot i = A \cdot K \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

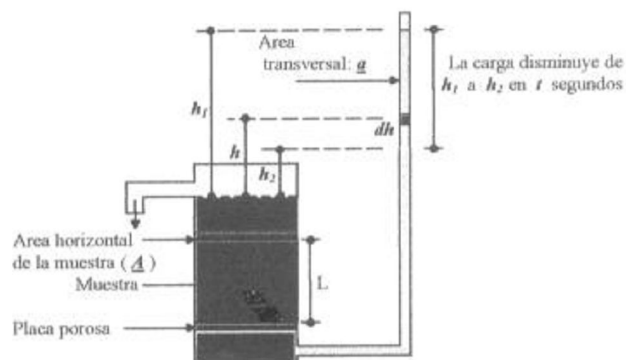


Figura 5-24 Permeámetro de columna descendente

Cuando nos acercamos al pozo, el gradiente aumentará, y por ende la pendiente de la curva de depresión.

Al realizar el bombeo de agua, descenderá el nivel estático hasta llegar a una posición de equilibrio, que se produce cuando la cantidad de agua que llega al pozo se equilibra con el caudal de bombeo. En este momento se alcanza el Nivel Dinámico.

La diferencia entre los niveles estático y dinámico es llamada abatimiento o depresión y se lo identifica con Δh .

La perturbación o influencia del bombeo que alcanza hasta una distancia R del centro del pozo y se lo denomina Radio de Alcance o Influencia y la campana invertida que se forma por el bombeo del pozo se la llama Cono de Depresión y a la curva que la limita Curva de Depresión.

Determinaciones específicas de un acuífero

Veremos ahora las determinaciones que debemos hacer en un acuífero y que nos permiten identificar su potencial como recurso utilizable.

Capacidad específica o rendimiento

Se la designa con :

$$\eta = \frac{Q}{\Delta}$$

Se mide en m³/hora.m (metro cúbico por hora y por metro de depresión)

Podemos obtener Q en función del coeficiente K (coeficiente de permeabilidad, las alturas H y h, la potencia m y los radios R y r.

En los acuíferos libres o no saturados tenemos:

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

Y la capacidad específica:

$$\eta = \frac{Q}{\Delta} = \frac{\pi \cdot K (H - h)}{\ln R / r}$$

En la figura 5-25 vemos la gráfica de la curva de Caudal – Abatimiento.

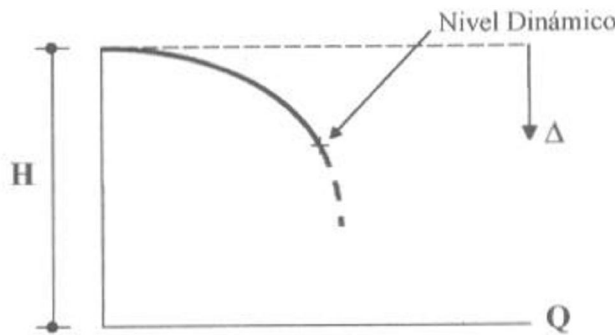


Figura 5-25 Curva de Caudal – Abatimiento – Acuíferos Libres

En los acuíferos confinados es:

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot m (H^2 - h^2)}{\ln R / r}$$

Entonces:

$$\eta = \frac{Q}{\Delta} = \frac{2\pi \cdot K \cdot m}{\ln R / r}$$

Que es prácticamente una constante. En la figura 5-26 vemos la gráfica correspondiente. Puede observarse que la capacidad específica disminuye a medida que aumenta el abatimiento.

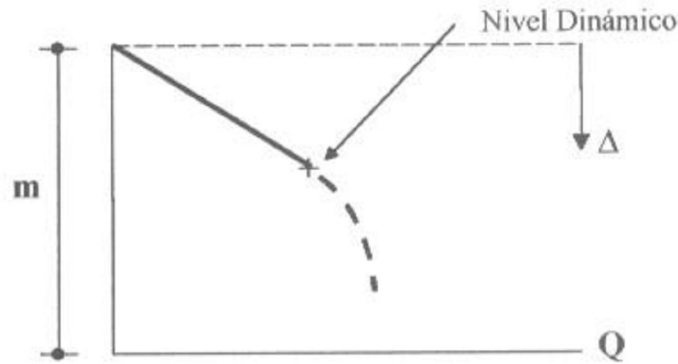


Figura 5-26 Curva de Caudal – Abatimiento – Acuíferos Confinados

Radio de Influencia

Para su determinación se usa la fórmula de Sichardt:

$$R = 3000 \cdot \Delta \cdot \sqrt{K}$$

Donde:

- R y Δ se miden en metros
- K se mide en m/seg.

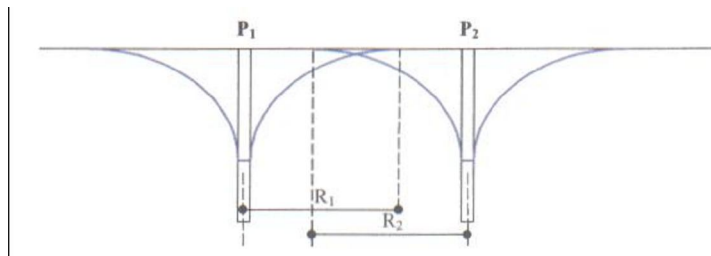


Figura 5-27 Interferencia de Pozos cercanos

Debe determinarse perfectamente dicho radio para evitar interferencias con otros pozos, lo que provocaría el aumento del abatimiento de todos los pozos interferidos, en consecuencia la reducción de la Capacidad Específica de los mismos. En la figura 5-27 se observan dos pozos que se interfieren.

Coefficiente de Permeabilidad

Se lo designa con la letra K y es la medida de la capacidad del suelo en permitir el paso del agua. Se lo define como el caudal que filtra a través de una sección de terreno unitario bajo un gradiente unitario y a una temperatura fija, como se indica en la figura 5-28.

Estos valores se determinan en laboratorios mediante el permeámetro de columna descendente, o bien con los ensayos

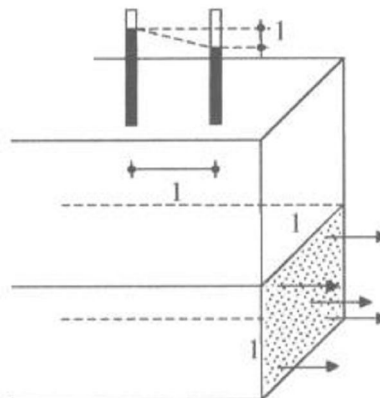


Figura 5-28 Croquis de Permeabilidad

en el lugar por el método de Thiem, que consiste en efectuar una perforación de extracción y dos de observación como se observa en la figura 5-29, estableciendo el abatimiento en cada uno de ellos. Conociendo las distancias a la perforación de extracción, aplico los valores obtenidos en la fórmula de Darcy, y para acuíferos libres o no saturados es:

$$K = \frac{Q \cdot \ln a_2/a_1}{(h_2^2 - h_1^2)}$$

Para acuíferos confinados es:

$$K = \frac{Q \cdot \ln a_2/a_1}{2\pi (\Delta_2^2 - \Delta_1^2)}$$

Como K es función de Q, se deberá cubrir un rango de Q tal que nos permita conocer con precisión su valor.

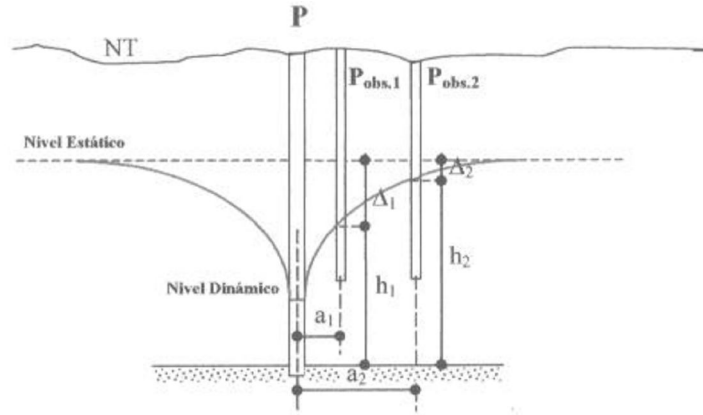


Figura 5-29 Método de Thiem

Los valores de Coeficiente de Permeabilidad (K) mas usuales son:

- Para arenas muy finas: $K = 0,001 \text{ m/seg.}$
- Para gravas (20/40 mm): $K = 0,05 \text{ m/seg}$

Coeficiente de Trasmisibilidad

Se lo designa con la letra T y es la medida de la cantidad de agua que pasa a través de una superficie de ancho unitario y altura igual al espesor del acuífero, con un gradiente unitario y en determinadas condiciones de temperatura. Se lo define como: *Es el producto de la permeabilidad por la altura del acuífero.*

Se observa de esta definición, que si tenemos dos acuíferos de igual coeficiente de permeabilidad K, tendrá mayor producción el de mayor altura.

En líneas generales si:

- $T < 10 \text{ m}^3/\text{dia} \cdot \text{m}$, es un acuífero pobre, no utilizable para fines públicos
- $T > 100 \text{ m}^3/\text{dia} \cdot \text{m}$, es un acuífero útil para fines públicos.

Coeficiente de Almacenamiento

Se lo indica con la letra S y es un valor adimensional que se define como la cantidad de agua que puede producir un

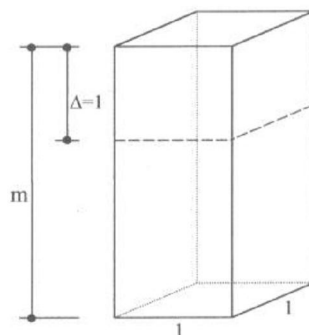


Figura 5-30 Coeficiente de Almacenamiento

acuífero, tomando un prisma de sección unitaria, cuando se le provoca una depresión unitaria tal como se indica en la figura 5-30.

En acuíferos libres o no saturados: $S = 0,01 / 0,35$

En acuíferos confinados o saturados: $S = 0,00005 / 0,005$

Pendiente del Acuífero

Todo acuífero tiene una pendiente piezométrica, por lo que en realidad el agua no va a fluir radialmente al pozo de manera similar tal como se aprecia en la figura 5-31.

Según Sichardt es:

$$b = \frac{Q}{H \cdot K \cdot j}$$

Donde:

- Q = Caudal en m³/seg.
- H = Nivel estático en m
- K = Coeficiente de permeabilidad en m/seg.
- J = Pendiente en mm/m

$$x_0 = \frac{b}{2\pi}$$

$$R = 3000 \cdot \Delta \cdot \sqrt{K}$$

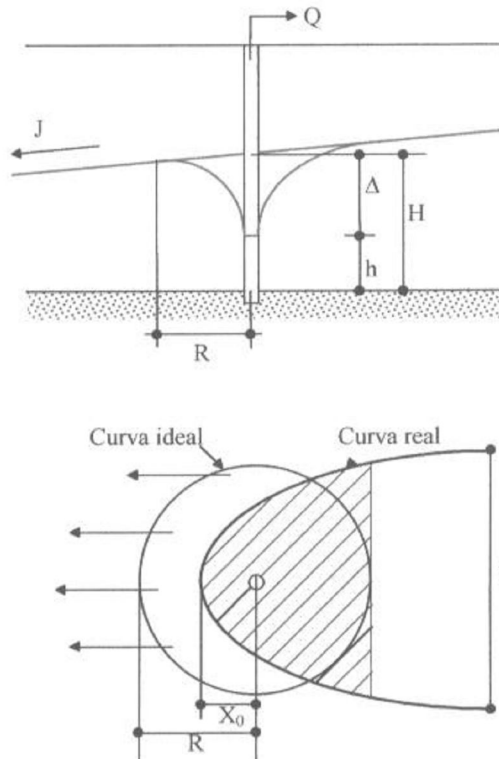


Figura 5-31 Pendiente del Acuífero

Luego de compatibilizar las formulas anteriores, el área de aporte de la zona de influencia es aproximadamente la que aparece en la parte inferior de la figura 5-31.

Diseño y construcción de pozos

Los pozos pueden construirse mediante variados sistemas de perforación que veremos a continuación y que los elegiremos, en función de los tipos de suelos que debemos atravesar.

Perforación por inyección de agua

La construcción de un pozo por el método de inyección de agua es aquel cuya perforación se abre por la fuerza de un chorro de agua de alta velocidad. El chorro suelta el material al golpearlo, lava las partículas finas, llevándolas hacia arriba y afuera del pozo. Las capas de terreno duro se perforan usando un taladro o trépano y un aparejo liviano para levantarlo y golpear el terreno en forma análoga al método de percusión que veremos mas adelante.

El equipo para la construcción de pozo con chorro de agua consta de un tubo interior de excavación que conduce el agua a presión y un tubo exterior de revestimiento del pozo.

Generalmente, la cañería de revestimiento se coloca simultáneamente con la perforación. En terrenos blandos se puede hacer una perforación mayor usando un taladro de expansión. Esto permite hincar la cañería de revestimiento por su propio peso. Sin embargo, en los casos corrientes se necesitará un martinete. En terrenos de textura fina es frecuente perforar en su totalidad el pozo, insertando la tubería de revestimiento, si es necesario, después de estar terminado. Los trabajos de construcción de pozos por este método y la extracción de agua se hace a través de las siguiente etapas:

1. **Hincamiento de la cañería:** El lanzaagua se coloca verticalmente dentro del tubo de revestimiento, conectado a una fuente o estanque de agua a través de una bomba de impulso que inyecta agua a presión, la cual perfora el terreno y hace hundirse el tubo de revestimiento, que se gira lentamente a fin de evitar que quede suspendido por fricción. En material suelto, la penetración es rapidísima (tubos de 6 metros en algunos minutos). El elemento cortante es el chorro de agua y el tubo simplemente ocupa el espacio libre. La arena o materia disgregado aparece alrededor del tubo al nivel del terreno formando un cono que debe ser retirado continuamente. Una vez que el tubo de revestimiento penetra en el acuífero, el agua se eleva por el interior del tubo y el sedimento se desagua por el extremo superior.
2. **Limpieza del pozo:** Generalmente, el fondo del tubo queda con sedimento. Este se extrae subiendo y bajando el lanzaagua hasta que el agua sale por la parte superior limpia y libre de agua
3. **Colocación del filtro y cañería de aspiración:** El filtro y cañería de aspiración se colocan en posición bajándolos por el interior de la cañería de hincamiento. El filtro debe quedar descansando sobre el terreno firme no removido, al fono del tubo.
4. **Instalación de la bomba:** El pozo es puesto en servicio con la instalación de la bomba que puede ser instalada en la superficie en el extremo de la cañería de aspiración o ser sumergible e ir inmediatamente después del filtro en el extremo inferior de la cañería de impulsión.
5. **Extracción de agua:** Una vez instalada la bomba, el pozo está en condiciones de suministrar agua..

Es posible que al principio el agua tenga una pequeña cantidad de arena fina, después de la cual quedan solo material grueso alrededor del filtro y el agua será clara. Mas adelante veremos como se desarrolla el terreno alrededor del filtro y que se denomina prefiltro.

Normalmente el lanzaagua consiste en una cañería normal de ½" a 1", que tiene en el extremo superior una pieza a la cual se adapta la manguera de la bomba y en el extremo inferior lleva una unión para colocar boquillas de diferentes tamaños. En terrenos arenosos gruesos, se requieren presiones bajas, siendo satisfactorias boquillas de ½". Arcillas y formaciones duras requieren mas presión y la boquillas mas eficientes don de 5/16" a 3/8".

Perforación por percusión

Con este método se taladran pozos de 4" a 12" o más de diámetro. Se perfora con un taladro suspendido del cable de un balancín, que lo hace subir y bajar a través de la cañería de perforación. El equipo dispone de un motor capaz de mover el balancín y el conjunto de herramientas, constituido por el taladro o trépano, el vástago (con objeto de mantener en línea recta el pozo perforado) y dos eslabones unido de tal forma que permiten amortiguar el golpe de la barrena. El pozo se entiba con una cañería de perforación con rosca para unir el tramo siguiente, que se introduce por percusión.

Para retirar el material disgregado, se vacía agua al pozo y el lodo formado se extrae con una bomba o por medio de una herramienta llamada cuchara, que tiene una válvula en el fondo que se cierra cuando el cable la retira. Una vez fuera del pozo se abre la válvula de la cuchara para descargar el barro, y luego se repite la operación.

Perforación hidráulica rotatoria

Este método requiere una torre, lo mismo que el método de percusión. Existen dos sistemas según sea el terreno por perforar, suelto o de formación compacta.

En el caso de material suelto, la perforación se efectúa dando al tubo de revestimiento un movimiento de rotación que lo hace penetrar al inyectar agua a presión, la cual sale por el exterior del tubo junto con el material disgregado. La cañería de perforación que se introduce debe disponer de borde cortante en su extremo inferior.

Para material compacto y duro, la herramienta cortante consiste en un taladro rotativo que desmenuza el material para luego introducir agua a presión, que sale por la cañería de perforación junto con el material disgregado.

Captación de agua del subsuelo

Se realiza mediante pozos realizados según alguno de los métodos vistos anteriormente, con diámetros entre 100 y 900 mm y profundidad hasta 150 m. En la zona pampeana están dentro de los 40 a 50 mts.

Una perforación consta de los siguientes elementos:

- La perforación, que se ejecuta en dos etapas:
 - 1ra Etapa, desde la superficie hasta la primera capa de suelo impermeable
 - 2da Etapa, desde la primera capa de suelo impermeable hasta la cota fina proyectada.
- El caño camisa
- El sellado o cementado
- La cañería portafiltro
- El filtro
- El caño depósito de lodos
- El prefiltro de grava

Para definir el proyecto del pozo son necesarios los siguiente datos:

Ubicación: se selecciona el lugar, determinando la cota del terreno natural (en lo posible es conveniente que la zona sea de alta cota), sentido de escurrimiento del agua de lluvia, cota de inundación.

Diámetro: este punto es muy importante para el aspecto económico del pozo. Cuando la perforación es muy profunda, se realiza en secciones escalonadas de 20 a 30 m. Se debe tener en cuenta para proyectar los diámetros, que el último tramo, previo al filtro, deberá contener la bomba. Se usa proyectar el diámetro de la perforación en función del diámetro de la bomba, ya que el aumento del caudal Q no es significativo cuando se aumenta el diámetro de la perforación. Se comprueba que si duplicamos el diámetro de la perforación, el aumento del caudal será solo del 10%, sabiendo que

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot m (H - h)}{\ln R/r}$$

Como el numerador será una constante, puedo dar valores a R y r para verificar lo señalado:

- $R = 125$ m
- $r_1 = 0,100$ m
- $r_2 = 0,200$ m

Luego:

$$Q_1 = \frac{\text{Cte}}{\ln R/r} = \frac{\text{Cte}}{\ln 125/0,100} = \frac{\text{Cte}}{\ln 1250} = \frac{\text{Cte}}{7,13}$$

Y

$$Q_2 = \frac{\text{Cte}}{\ln R/r} = \frac{\text{Cte}}{\ln 125/0,200} = \frac{\text{Cte}}{\ln 625} = \frac{\text{Cte}}{6,43}$$

Relacionando ambos caudales:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\text{Cte}/6,43}{\text{Cte}/7,13} = \frac{7,13}{6,43} = 1,109$$

Por lo tanto se comprueba que duplicando el diámetro solo se consigue un aumento de caudal apenas superior al 10 %, lo que nos indica que esta práctica es técnica y económicamente inconveniente.

Existen tablas muy prácticas que nos dan los diámetros de la perforación con el dato del caudal de bombeo, tal como se indica en la tabla 5-32.

Tabla 5-32 Caudales de bombeo y diámetros de cañerías			
Caudal de bombeo	Diámetro		
	Bomba	Revestimiento	Perforación
30	100	150	200
60	125	200	250
90	150	150	300
150	200	300	400

Profundidad: Es necesario conocer el perfil geológico del suelo, que puede ser de otros pozos próximos de perforación de prueba y finalmente del propio pozo.

Aunque lo ideal es aprovechar todo el acuífero, utilizando, toda la capacidad específica, existen casos en que la perforación no se realiza hasta el fondo de la napa, siendo una de las razones mas importante el mayor contenido salino concentrado en su parte inferior, según se aprecia en la figura 5-33.

En tal caso, tenemos que valorar la reducción del caudal provocada por esa decisión, pudiendo utilizarse tablas que responden a la fórmula siguiente:

$$q = Q \cdot (t/H)^{1/2} \cdot (2 \cdot h \cdot t / H)^{1/4}$$

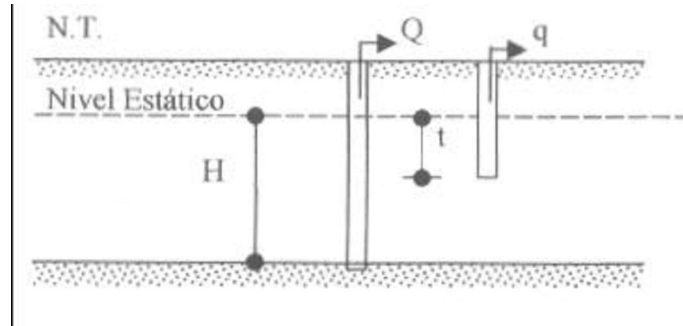


Figura 5-33 Profundidad de los pozos

Sistema de ejecución

Para ejecutar la perforación podemos optar por cualquiera de los métodos vistos anteriormente.

Cuando se perfora por rotación, el sistema mas utilizado actualmente, se debe usar bentonita o algún producto similar como el Revert, etc., a fin de impermeabilizar las paredes de la perforación evitando su contaminación. Estos productos sufren luego una degradación natural que apunta a ese efecto restituyendo al suelo sus condiciones originales.

Entubamiento y Revestimiento

Su finalidad es aislar la perforación, protegiendo sanitariamente el acuífero, impidiendo el ingreso de agua de las napas no aptas, especialmente la freática.

La primera etapa de la perforación desde la superficie hasta la primera capa de suelo impermeable, es aislada mediante un caño camisa. Inmediatamente después de colocado el caño camisa, es sellado el espacio entre dicha camisa y el suelo, con cemento, hormigón o suelo cemento. Este sellado además protege a la camisa de la agresión del suelo

Cañería portafiltro

Por dentro del caño camisa se coloca la cañería portafiltro, cuya finalidad es contener, en su parte inferior, la bomba y el filtro.

Como su diámetro es mayor que el del filtro, se los vincula con una reducción que, según del material de que se trate, es soldada o roscada.

Los materiales utilizados son tubos de acero con costura y el PVC clase 10.

Caño filtro o rejilla

Su finalidad es impedir el arrastre de materia sólida al interior de la perforación, debiendo responder el diseño de su abertura al diámetro de las partículas del suelo que contienen el acuífero. En la figura 5-34 se observa un corte del filtro y en la figura 5-35, detalles de la forma de los alambres que componen los filtros.

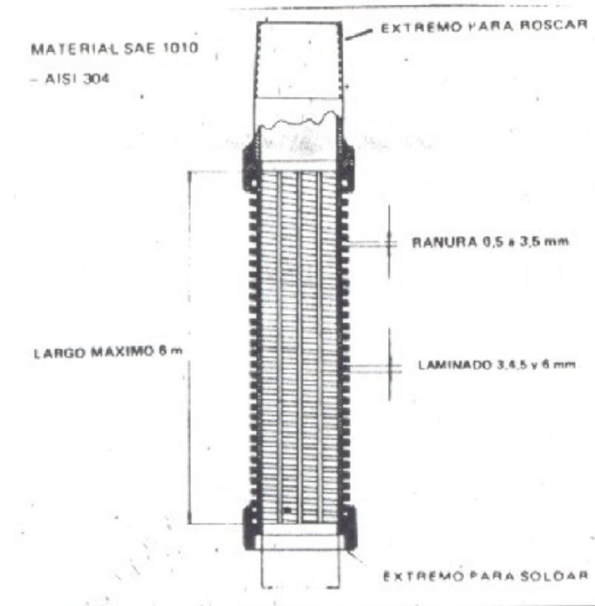


Figura 5-34 Corte de un filtro

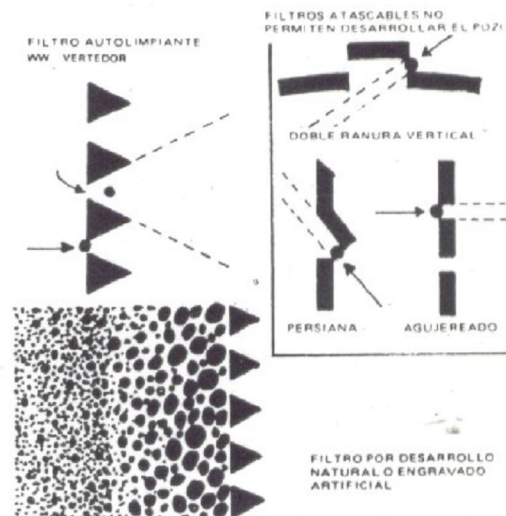


Figura 5-35 Detalles de filtros

Los filtros mas eficientes son los de acero inoxidable, fabricados con un enrollamiento en espiral sobre generatrices longitudinales, también llamados de ranura continua.

Una vez definido el coeficiente de filtración S del filtro, que es la relación entre la superficie libre de aberturas respecto de la superficie totales, debo verificar que sea menor que 1.

Coeficiente de Filtración:

$$S = \frac{\Omega_{\text{abertura}}}{\Omega_{\text{total}}}$$

Los mejores filtros tienen un $S = 0,34$

Debe limitarse la velocidad con que el agua pasa a través del filtro:

Velocidad del Filtro $< 0,03$ m/seg.

Estando la velocidad por debajo de este valor, la pérdida de carga en el filtro no es importante.
Para calcular la velocidad usamos la relación:

$$V = \frac{Q_{\text{explotación}}}{\Omega_{\text{filtro}}} = \frac{Q_{\text{explotación}}}{\pi \cdot D \cdot L \cdot S}$$

Si adoptamos el diámetro D, podemos calcular la longitud del filtro, que estará condicionada solamente por el espesor del acuífero. El material con que se fabrica un filtro debe ser resistente a la corrosión, usándose además de acero inoxidable, níquel, cobre y PVC.

El ancho d, de la abertura del filtro, es función del tamaño específico del acuífero y del coeficiente de uniformidad.

Prefiltro

Generalmente es necesario colocar un prefiltro de grava, especialmente cuando el acuífero es de arena fina, cuya función es aumentar el área de influencia de la perforación y mejorar la llegada del agua al filtro, reduciendo la velocidad de ingreso a través del mismo (menor a 3 cm/seg.) y evitando el arrastre de arena. También permite utilizar la ranura mas grande en el filtro, lo que significa que, a velocidad constante, el caudal ingresado será mayor.

La ranura del filtro deberá retener al 85 % de la mezcla de grava del prefiltro.

Desarrollo del acuífero

En la figura 5-36 se observa un prefiltro ya desarrollado y en contacto con el filtro.

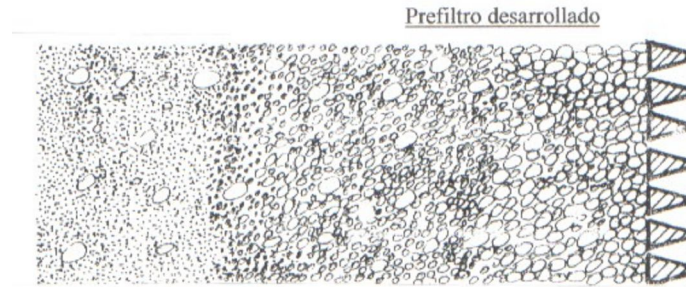


Figura 5-36 Prefiltro Desarrollado

Los métodos utilizados para el desarrollo del acuífero son:

- Bombeo de agua
- Retorno de agua:
 - Golpeo del pozo
 - Cuchareo y bomba
 - Agua a presión
- Compresor de aire

Bombeo de agua

Es el método mas sencillo para desarrollar los pozos. Consiste en bombear durante el desarrollo con un caudal mayor que el de explotación:

$$Q_{\text{bombeo}} \geq 1,20 / 1,40 Q_{\text{explotación}}$$

El desarrollo del pozo puede durar varios días, hasta que el arrastre de arena no supere los 5 mg/lt.

Este método tiene varias objeciones:

- **Puenteo de la arena:** al producirse formaciones o puentes entre las partículas de arena, por la circulación del agua en un solo sentido, obturando los canales. La posible solución sería mantener el agua del acuífero agitada por medio de un bombeo intermitente.
- **Uso de equipo mas potente:** lo que exige al perforador una mayor inversión en equipos de bombeo para utilizarse con ese exclusivo propósito. Podría también usarse la bomba normal, aumentando su velocidad de giro, aunque esto produciría su desgaste prematuro.
- **No se alcanza el máximo rendimiento:** por este método se extrae una excesiva cantidad de arena lo que produce que el descenso de nivel en el pozo sea muy grande, especialmente cuando es de poco caudal.

Por retorno de agua

Se basa en enviar agua a través del filtro para mantenerla agitada y evitar el puenteo de la arena, lo que se logra de varias maneras, siendo las mas usadas:

- **Golpeo del pozo:** consiste en arrancar y parar a intervalos, para producir relativos cambios de presión en el fondo del pozo. El trabajo se realiza con bombas a turbina instaladas sin válvula de pié, por algunos de los procedimientos que se describen:
 - Hacer trabajar la bomba a máxima velocidad produciendo el máximo descenso de nivel, se para la bomba hasta recuperar el nivel y se repita hasta que no se produzca mejoría.
 - Arrancar y parar la bomba a intervalos cortos. Debido a que cuando se para la bomba la columna de agua que retorna hará girar en sentido contrario a su rotación habitual, se debe tener cuidado de no hacerla arrancar nuevamente cuando aún está en movimiento
 - Arrancar la bomba y parar cuando el agua llegue a la boca del pozo, permitiendo que la totalidad de la columna líquida produzca la inversión del flujo
- **Cuchareo y bomba:** consiste en inyectar agua en el pozo tan rápidamente como sea posible, parar y luego sondearlo, es decir cucharearlo para extraer la arena que ha ingresado al filtro. También puede usarse una bomba de arena.
- **Agua a presión:** este procedimiento requiere colocar una tapa hermética con los llaves de paso en la boca del pozo, para inyectar desde allí o por medio de una cañería auxiliar que llegue hasta el filtro, un importante caudal de agua, con una presión elevada y en un corto lapso (2 a 5 minutos). Al bombearse deberá estar abierta la llave de entrada y cerrada la de salida, invirtiéndose la maniobra cuando se detiene el bombeo. Debido al gran caudal y presión ingresado, se produce una buen acomodamiento y extracción de las partículas hasta una gran distancia del filtro, formándose un eficaz prefiltro

Compresor de aire

Existen dos métodos:

- Por retorno de agua
- A pozo abierto

El mas utilizado es el pozo abierto, para lo cual se deberá contar con un compresor de aire de 5 a 15 m³/h de capacidad, que entreguen aire a una presión de entre 7 y 11 kg/cm². Se coloca en el pozo una cañería de maniobra, que tiene en su parte superior una pieza con entrada para la cañería de aire y salida para la línea de descarga.

Es importante en este caso hablar del índice de sumergencia, que es la relación:

$$\text{Índice de sumergencia} = \frac{\text{Long. bajo el agua de la línea de aire}}{\text{Long. total de la línea de aire}} \geq 60 \%$$

El primer paso es enviar aire por la cañería bombeando la columna líquida y el aire al exterior y permitiendo el ingreso de agua a través del filtro, continuándose hasta que el agua salga limpia de material fino, cortándose entonces el suministro de aire.

Se baja la línea de aire por debajo de la cañería de maniobra y se inyecta aire al pozo en un tiempo muy breve y con mucha presión. Este golpe de presión se transmite a los filtros cuando el agua desciende y el flujo se invierte. Apenas llega agua a la boca del pozo se levanta la línea de aire y se bombea brevemente para sacar el material fino que hubiera ingresado, hasta que el agua salga limpia. Luego se va levantando la línea de aire y la cañería de maniobra metro a metro hasta limpiar la totalidad del filtro. Concluida esta limpieza se baja la cañería de maniobra hasta el fondo del pozo para extraer el material fino que hubiera sedimentado.

Ensayo del pozo

Se debe comprobar si el pozo cumple lo proyectado, verificando si el caudal extraído es mayor o igual al caudal de explotación.

En la figura 5-37 vemos graficada la relación caudal y abatimiento.

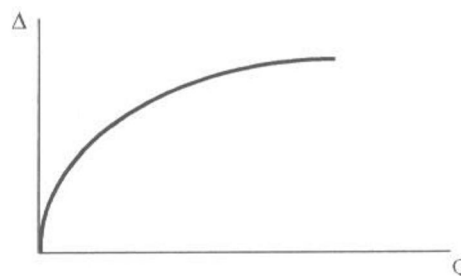


Figura 5-37 Curva relación caudal y abatimiento

Para graficar la curva se realizan mediciones del abatimiento haciendo variar el caudal bombeado, utilizando la válvula esclusa del pozo. La técnica consiste en comenzar desde la posición de cerrada ($Q = 0$, $\Delta = 0$), y abrirla de a tres vueltas, midiéndose cada vez el abatimiento, hasta que se alcance el nivel dinámico. Estas mediciones me permiten graficar la curva, que se hace asintótica cuando el abatimiento alcanza, sin sobrepasarlo, el nivel dinámico del pozo.

Si continuamos, aumentando el caudal extraído la curva tendería a elevarse y acercarse cada vez mas al $Q = 0$, que se alcanzaría cuando el pozo esté totalmente agotado. Antes de llegar al agotamiento del pozo se pueden advertir signos significativos tales como el aumento de la salinidad y el arrastre de arena.

En la figura 5-38, se observa otra gráfica que es importante de conocer que es el tiempo de recuperación.

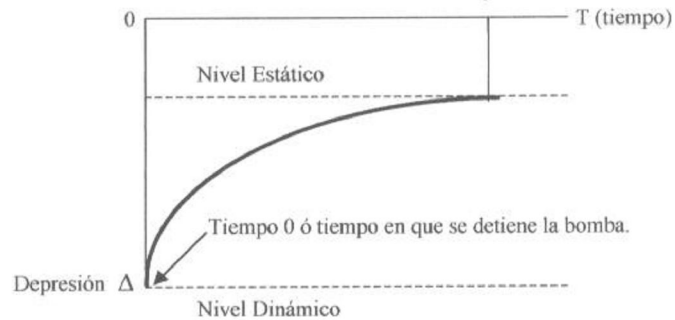


Figura 5-38 Curva Tiempo de Recuperación de un pozo

Donde t es el tiempo de recuperación del pozo o tiempo que tarda en llegar desde el nivel dinámico hasta el nivel estático.

Es este el momento propicio para extraer muestras de agua para un nuevo análisis químico y bacteriológicos.

Desinfección del Pozo

Se usan dosis entre 50 y 100 mg/l de cloro activo para periodos de contacto de 12 y 24 horas respectivamente.

Esta desinfección se realiza para prevenir, una posible contaminación de la napa producida durante la ejecución del pozo.

Montaje del pozo

La figura 5-39 nos muestra el croquis esquemático de los componentes de la instalación de un pozo, pudiéndose apreciarse, dentro de la cámara, la parte superior del caño camisa y del caño de bombeo, la placa, la brida, la válvula de aire o hidrante (colocado en la parte superior del ramal curvo), el ramal curvo, la válvula de retención y la válvula esclusa. Todas las

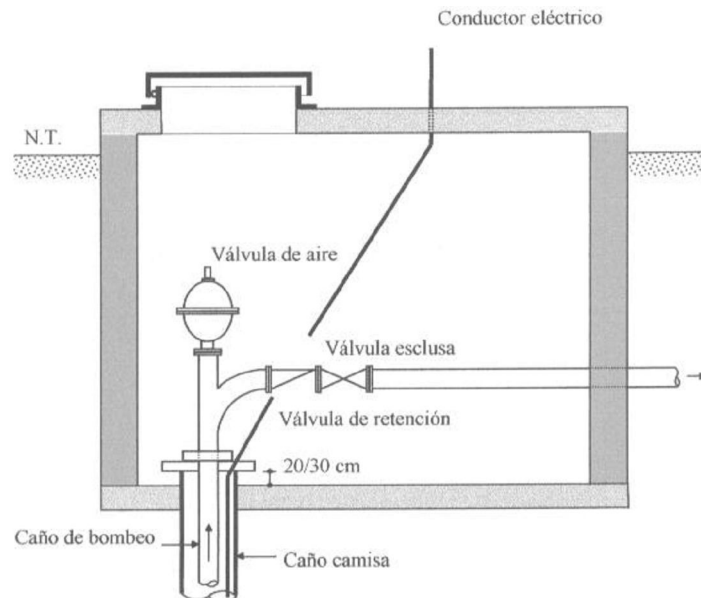


Figura 5-39 Esquema constructivo del pozo

piezas son bridadas. Suele colocarse además un caño o manguito de anclaje para hacer mas rígido el conjunto y una junta de desarme.

También se aprecia el cable conductor de electricidad para la bomba sumergible. Se debe proyectar también el tablero eléctrico, con sus correspondientes elementos de protección y en caso de bombearse directamente a la red, el tanque de hipoclorito de sodio y la bomba dosificadora.

