

ANEXO A

TIPOS DE OBRAS DE CAPTACION

TIPOS DE OBRAS DE CAPTACION

A.1 POZOS PROFUNDOS

A.1.1 Descripción, forma y sistema captante

Un pozo profundo o sondaje es una captación vertical de sección circular compuesta por una entubación de acero rodeada por un filtro granular.

La perforación de un pozo se realiza con un diámetro mayor al de la entubación; el espacio libre que queda entre ésta y las paredes de la perforación, es llenado con un filtro de material granular. El filtro granular impide el arrastre de arena hacia el pozo y estabiliza del terreno natural que rodea la zona captante. La granulometría del filtro depende de las características del acuífero.

Se recomienda que el diámetro de perforación exceda en más de 4" al diámetro de la entubación para disponer de un margen suficiente por si se producen desviaciones verticales al insertar la entubación. En la actualidad los métodos de construcción de pozos resultan muy precisos y eficientes, por lo que habitualmente se deja un espacio anular de 2" entre la entubación y el agujero de la perforación ($\phi_{\text{perforación}} = \phi_{\text{entubación}} + 4"$). El ahorro en recursos que se obtiene al perforar con un diámetro menor resulta significativo. Los diámetros de perforación varían generalmente entre 25 cm y 60 cm (10" y 24") y los diámetros de entubación, entre 15 cm y 50 cm (6" y 20"). La profundidad de los sondajes depende de la ubicación de los estratos acuíferos y del caudal que se requiera extraer, pudiendo llegar hasta 200 m, pero comúnmente oscila entre 20 m y 150 m.

La capacidad de captación de un pozo profundo aumenta muy poco al aumentar su radio, por lo que no es económico perforar pozos de gran diámetro con la finalidad de aumentar su capacidad específica. El diámetro de la entubación deber ser aquel que permita la introducción del equipo de bombeo capaz de bombear el caudal de diseño. Los diámetros de entubación, en función del caudal que se desea extraer se pueden visualizar en el Cuadro A1.1-1.

Cuadro A1.1-1
Caudales recomendados de extracción en
Función del diámetro de la entubación

Diámetro de Entubación (Pulgadas)	Caudal Esperado (l/s)	
6	0	15
8	10	37
10	25	70
12	40	100
14	70	160

Hasta hace unas décadas atrás, el sistema captante de los pozos profundos estaba constituido por aberturas en la entubación conocidas como ranurados. Ese sistema presentaba ciertos inconvenientes, como la irregularidad geométrica de los ranurados ejecutados manualmente con soplete, la obstrucción de los ranurados, al captar aguas incrustantes, o el deterioro progresivo de la entubación del pozo, al extraer aguas corrosivas. La colmatación del sistema captante genera una gran pérdida de carga que provoca una disminución del rendimiento del pozo y la corrosión de la tubería a menudo culmina con el colapso de la captación.

En la actualidad se ha generalizado el uso de cribas como sistema captante que son especies de rejillas metálicas construidas de una forma muy especial. Las cribas están constituidas por elementos longitudinales (varillas), en torno de los cuales se enrolla un elemento externo de sección especial (envolvente) que está soldado a cada una de las varillas en los puntos de contacto con ellas, mediante soldadura por resistencia eléctrica (sin aporte). El envolvente se enrolla en espiral y la separación entre las vueltas del mismo conforma la abertura del filtro, constituyendo así una ranura continua. La abertura o slot de la criba depende de la granulometría de la pared de grava y ésta, a su vez, de la granulometría del acuífero. En el Cuadro A1.1-2 se muestra las medidas de aberturas de cribas y los filtros granulares asociados.

Cuadro A1.1-2
Tamaños de Cribas

Medida de abertura Cribas	Abertura (pulgadas)	Abertura (mm)	Rango diámetro medio filtro de grava (mm)	
Slot 10	10/1000	0,254	2	5
Slot 20	20/1000	0,508	3	6
Slot 40	40/1000	1,016	5	12

Se recomienda el uso de cribas slot 10 en el caso que la napa que será explotada esté compuesta por arenas finas o medias muy uniformes, situación que se encuentra poco en la práctica. Cribas slot 20 se usan cuando en la formación acuífera predominan las arenas sobre otro tipo de material. Finalmente, cribas slot 40 se instalan en formaciones acuíferas en que la distribución entre gruesos y finos (gravas y arenas) sea pareja o bien que abiertamente predominen los primeros, situación que es la más común en nuestro país.

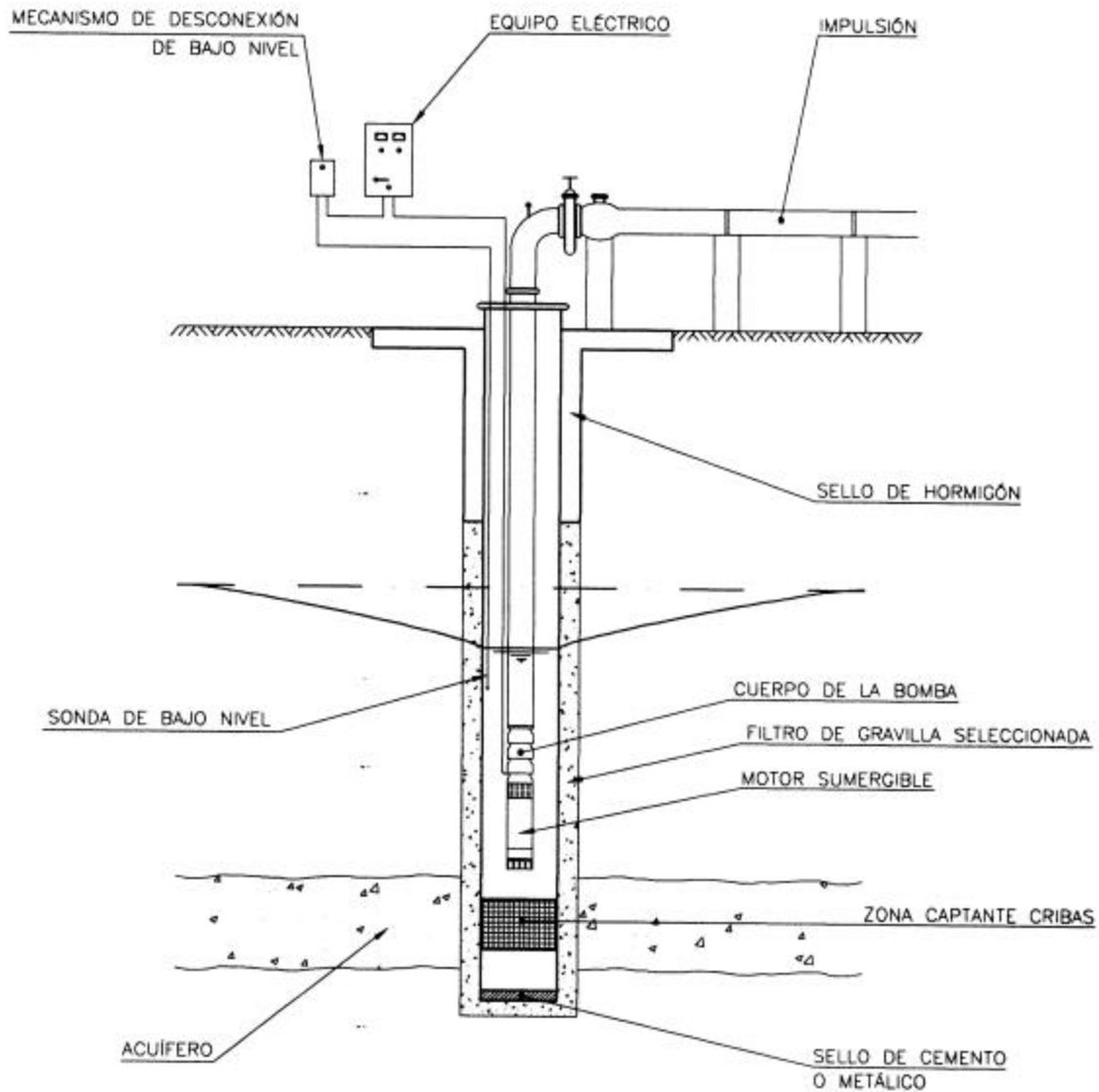
Existe una amplia gama de aceros para la fabricación de cribas, los tipos más difundidos son los aceros al carbono y los inoxidable. Resulta más conveniente la utilización de cribas inoxidable, a pesar de ser más caras, ya que la diferencia de costo que existe entre éstas y las de acero al carbono, relativa al costo total del pozo, es poco importante frente a la diferencia de calidad del material y su durabilidad en el tiempo. Entre los aceros inoxidable el más común es el conocido como 18-8, constituido por una aleación con 18% de Cromo y 8% de Níquel. Algunos aceros inoxidable incorporan molibdeno, titanio o niobio para usos especiales en medios corrosivos.

Además de las propiedades para resistir el ataque de agentes químicos y físico-químicos, las cribas deben tener la resistencia mecánica suficiente para soportar como estructura la sollicitación a que deberán estar sometidas durante la construcción y explotación del pozo.

Si el pozo está bien construido, las cribas o los ranurados deberían estar en coincidencia con los estratos acuíferos que aportan más agua al pozo.

En la Figura A1.1 se muestra un esquema de un pozo profundo con sus elementos más comunes.

Figura A1.1
Esquema de un Pozo Profundo



A.1.2 Tipo de acuífero

Los pozos profundos resultan muy efectivos en la mayoría de los sistemas de agua subterránea, especialmente en formaciones acuíferas donde predominan materiales del tipo arenas y gravas, salvo en napas pequeñas superficiales, en las que puede resultar más conveniente otro tipo de captación. En napas costeras, donde existe riesgo de intrusión salina, no es recomendable el bombeo desde sondajes, puesto que la depresión puntual que se produce acelera el avance de la interfase agua salada-agua dulce hacia el acuífero.

A.1.3 Métodos constructivos

Existen 3 métodos constructivos principales para la perforación de sondajes:

- i) Percusión
- ii) Rotación
- iii) Rotopercusión

En el método de percusión un trépano pesado es alternativamente levantado por una pluma y dejado caer en la cavidad que se está perforando. La perforación avanza por la trituración a golpes que se va efectuando en su fondo. Los materiales molidos se extraen mediante una herramienta denominada cuchara que es un cilindro hueco provisto en su extremo de una lengüeta que impide la salida del material que ya ha entrado. Para facilitar la remoción de los materiales, cuando están secos, se agrega un poco de agua a la excavación. Las herramientas que se utilizan van colgadas de un cable el que es accionado por un pluma y un motor. Además del trépano y de la cuchara ya referidos, de los cuales hay varios tipos, otras herramientas interesantes de citar son las denominadas de pesca. Estas tienen por objeto rescatar otras herramientas atascadas en el fondo del pozo principalmente por roturas del cable, o tuberías de perforación de difícil extracción.

A medida que se va profundizando la excavación a percusión, se va introduciendo la tubería de acero que hace el papel de revestimiento lateral de la perforación. Esta tubería, está provista en su extremo inferior de una pieza especial denominada zapato de hincamiento, cuyo objetivo es producir un corte en el terreno ligeramente de mayor diámetro que el de la tubería para facilitar su descenso, se va introduciendo en la perforación por medio de golpes y gatas. En caso de perforaciones muy profundas, en que la longitud de cañería que debe ir hincándose es grande, esta puede atascarse siendo muy difícil hacerla descender; en esos casos se recurre a lo que se denomina entubación telescópica y que consiste esencialmente en continuar la perforación con una nueva cañería de menor diámetro por el interior de la ya colocada.

El método de perforación por percusión puede aplicarse en cualquier tipo de material desde las arcillas más blandas hasta las rocas más duras, aún cuando para este último tipo de materiales el método de rotación hidráulica permite avanzar más rápido.

En el método de perforación por rotación hidráulica directa, un fluido de perforación es bombeado desde un depósito exterior a través de la barra de perforación que es hueca y que pasa a través de la corona rotativa. El fluido regresa a la superficie por el exterior de la barra junto a las paredes del hoyo perforado llevando consigo el material cortado por la corona rotativa. El fluido puede variar desde simplemente agua a un barro fino con mayor o menor contenido de arcilla según las características del material a través de la cual se realiza la perforación. Durante el movimiento ascendente de este fluido, las paredes del pozo quedan recubiertas por una película plástica arcillosa que sirve de revestimiento al pozo mientras se perfora, sin necesidad de una tubería especial (pared de lodo).

Una vez terminada la perforación, se introduce la cañería de revestimiento del pozo dotada de su respectiva rejilla de captación, la que tiene un diámetro bastante menor que la perforación ejecutada. Entre la pared del pozo y la cañería de revestimiento se coloca una grava seleccionada que hace el papel de filtro.

Las principales ventajas que presenta este método de perforación son: 1) permite avanzar más rápido, 2) mediante coronas especiales puede obtenerse muestras del material natural, 3) no

exige la colocación de cañería si el pozo resulta infructuoso, 4) pueden obtenerse pozos de gran diámetro sin necesidad de utilizar cañerías de revestimiento también de gran diámetro (el pozo se comporta hidráulicamente como si su diámetro fuera el correspondiente a su envoltura de grava), 5) resulta menos exigente en lo que a las cribas se refiere, 6) permite habilitar en forma relativamente simple todas las napas encontradas a lo largo de la perforación. En muchos casos en que los materiales que forman el acuífero son arenas extremadamente finas, que difícilmente puede ser contenidas por las rejillas comerciales disponibles, está indicada la colocación de un filtro de grava siendo la rotación hidráulica el método más expedito para ello.

El método descrito corresponde al denominado rotación hidráulica directa, una variación más moderna de éste, conocida con el nombre de rotación hidráulica inversa, consiste en lo siguiente: el fluido de perforación se introduce gravitacionalmente entre la barra de perforación y la pared del hoyo y es extraído a alta velocidad conjuntamente con los materiales provenientes de la excavación por el interior de la barra de perforación. En este procedimiento, la viscosidad del fluido de perforación no es un factor determinante con lo que puede reducirse el proceso de lavado a que debe someterse el pozo para eliminar la pared de bdo. Este método requiere cantidades considerablemente mayores de agua como fluido de perforación que la requerida por la rotación directa en que se utiliza barro.

No obstante presentar varias ventajas como las señaladas respecto al método de percusión, la gran desventaja de los métodos de rotación está en que el uso de barros, de cualquier tipo, hace las veces de sello sobre las paredes, lo que en muchos casos, y a pesar de que se realice un buen desarrollo igualmente limita el rendimiento de pozos de producción. Debido a ello, para pozos de producción la recomendación es usar el sistema de percusión como método constructivo.

El método de rotopercusión combina un martinete neumático y una barrena que realiza la perforación rotatoria. El martinete, accionado por compresión de aire, va golpeando a la barrena, la que a su vez va fracturando el material del terreno perforado. La cabeza de la barrena está hecha de acero y se encuentra provista por una corona de dientes de aleación carbono-tungsteno. Las puntas de la corona pueden afilarse o reemplazarse cuando se hayan gastado. El material de la excavación se va extrayendo continuamente por succión, por lo que la barrena siempre está en contacto con una superficie limpia.

Con el sistema de rotopercusión se logra una gran velocidad de perforación, incluso en materiales muy consolidados o roca. Los diámetros de perforación varían entre 8" y 24", para estos últimos se requiere una gran cantidad de aire para mantener la presión necesaria para accionar el martinete (entre 100 y 200 psi o 6,8 y 13,6 Kg/cm²) a menos que se use espuma, que dada su menor compresibilidad involucra menores volúmenes para sustentar la presión requerida.

Existe una variación del sistema anterior conocida como rotopercusión con encamisado o rotopercusión dual. Esta consiste en una perforación rotatoria combinada con percusión, en el que a medida que avanza la excavación se va insertando la entubación. La tubería penetra en el agujero rotando en sentido inverso a la a barrena (sentido contrario a los punteros del reloj), por ello se denomina a este método como de rotación dual.

A.1.4 Habilitación del pozo

A medida que se perfora el pozo se va tomando muestras del material extraído, de peso no inferior a 5 Kg, con el objeto de conocer las características del terreno atravesado por la

perforación. Deberá tomarse una muestra por cada metro de terreno atravesado o cuando se encuentre un cambio de estrato, con el fin de representar lo más fielmente posible el terreno natural.

Con el material muestreado se efectúa un análisis granulométrico de modo de definir posteriormente el tipo de cribas (slot) y el filtro granular. En el caso de gravas gruesas y bolones, debe señalarse su tamaño medio.

Las cribas se colocan en la zona del acuífero, dependiendo de las características del o de los acuíferos, las cribas podrían cubrir parte o la totalidad de ellos; dentro de un mismo acuífero podrán colocarse tramos de tubo ciego y cribas.

El espacio anular que quede entre las paredes de la perforación y las tuberías o rejillas, bajo el nivel de la napa, se rellena con gravilla de características y granulometría definida en función de las napas asociadas. Sobre la napa, dicho espacio se rellena con mortero una vez que se haya habilitado el pozo y se haya efectuado en éste la prueba de bombeo; antes de colocar el mortero deberá agregarse gravilla a fin de restablecer con ésta el nivel que ella alcanzaba antes del desarrollo.

La parte superior del espacio anular comprendido entre la cañería de entubación del pozo y el terreno se rellena con materiales impermeables adecuados, de suficiente espesor, con el objeto de aislar los acuíferos de posibles contaminaciones superficiales. Este sello tiene una longitud mínima de 5 metros.

Una vez colocada las rejillas o sistemas captantes, se lleva a cabo el proceso de desarrollo, que consiste en un conjunto de operaciones realizadas para extraer los residuos de la perforación (lodos); estabilizar las formaciones acuíferas, eliminando sus materiales finos cercanos a la rejilla; lograr un mejoramiento de su granulometría; obtener de su productividad traducida en un aumento de su caudal característico o específico; y prolongar la vida útil de la captación.

Para el desarrollo del pozo se utiliza un émbolo consistente en discos de caucho montados en un dispositivo especial, ajustado al diámetro interior de la tubería de habilitación. La herramienta será oscilada por el balancín de la sonda de percusión con cable. El desarrollo del pozo frente a la zona de las rejillas o cribas, correspondiente al o los acuíferos, se hace mediante la agitación mecánica del émbolo anterior durante 20 a 30 minutos, por tramos de 3 m y en sentido descendente, midiendo el embanque proveniente del tramo en desarrollo y extrayéndolo si éste es superior a 0,10 m, mediante una cuchara de válvula plana o con air-lift. La operación se repite hasta que el embanque sea menor o igual a 0,10 m. Se debe tener presente que en el caso de obtener un embanque de gran volumen, el tiempo parcial de desarrollo debe disminuirse a 10 minutos, aproximadamente. Sólo podrá iniciarse el tramo siguiente cuando el embanque no sea superior a 10 centímetros.

La velocidad del émbolo es de 20 a 15 carreras por minuto y debe mantenerse constante. Al efectuar un repaso con el émbolo a lo largo de toda la zona en desarrollo sin que se acumule en el sondaje un embanque superior a 0,20 m, se da por terminado el desarrollo.

Una vez finalizado el desarrollo del pozo, se procede a desinfectar por medio de hipoclorito de sodio o calcio. La aplicación del compuesto químico se hace en forma tal que asegure un contacto directo entre el desinfectante y cada una de las partes del sistema pozo-bomba. Una vez terminado el período de desinfección se inicia las pruebas de bombeo.

Finalizada esta habilitación del pozo se deben realizar como mínimo dos pruebas de bombeo. Una de ellas consiste en bombear sucesivos caudales crecientes hasta determinar la máxima capacidad de captación del pozo. Para cada caudal bombeado se registra los niveles de agua en función del tiempo hasta que se verifique un estado de equilibrio, es decir, hasta que el nivel dinámico se estabilice. Un nivel de bombeo se considera estabilizado si no sufre cambios por un período de tiempo determinado; para los fines que se buscan con la realización de esta prueba, se considera apropiado un lapso de estabilización de 2 o 3 horas. De la curva rendimiento (caudal v/s nivel dinámico estabilizado) generada en la prueba, se adopta un caudal recomendado de explotación. El caudal elegido debe ser sustentable a través del tiempo y la depresión que éste induce no debe exceder el límite de sumergencia del equipo de bombeo, teniendo en cuenta posibles descensos del nivel estático en períodos de estiaje, para demostrar esto se realiza la segunda prueba de bombeo.

La segunda prueba consiste en bombear el caudal recomendado por un período de tiempo más largo (mínimo 24 horas), para verificar la condición de operación del pozo y permanencia temporal.

A.1.5 Equipos de bombeo

En la mayoría de los pozos profundos se utiliza bombas de motor sumergido. Estas consisten en una bomba centrífuga del tipo turbina acoplada a un motor que puede funcionar sumergido en el agua. El motor se halla situado, por lo general, por debajo de la toma de la bomba. Una bomba centrífuga está compuesta por un rotor dentro de una carcaza, el rotor es movido por un motor y genera una fuerza centrífuga que impulsa el agua hacia la periferia de la carcaza, desde donde es conducida hacia la impulsión. En una bomba centrífuga del tipo turbina, el impulsor se encuentra rodeado por paletas difusoras las cuales proveen pasajes que se ensanchan suavemente haciendo que la velocidad del agua que abandona el impulsor se reduzca gradualmente, transformándose así la carga de velocidad en presión.

A.2 POZOS TIPO NORIA

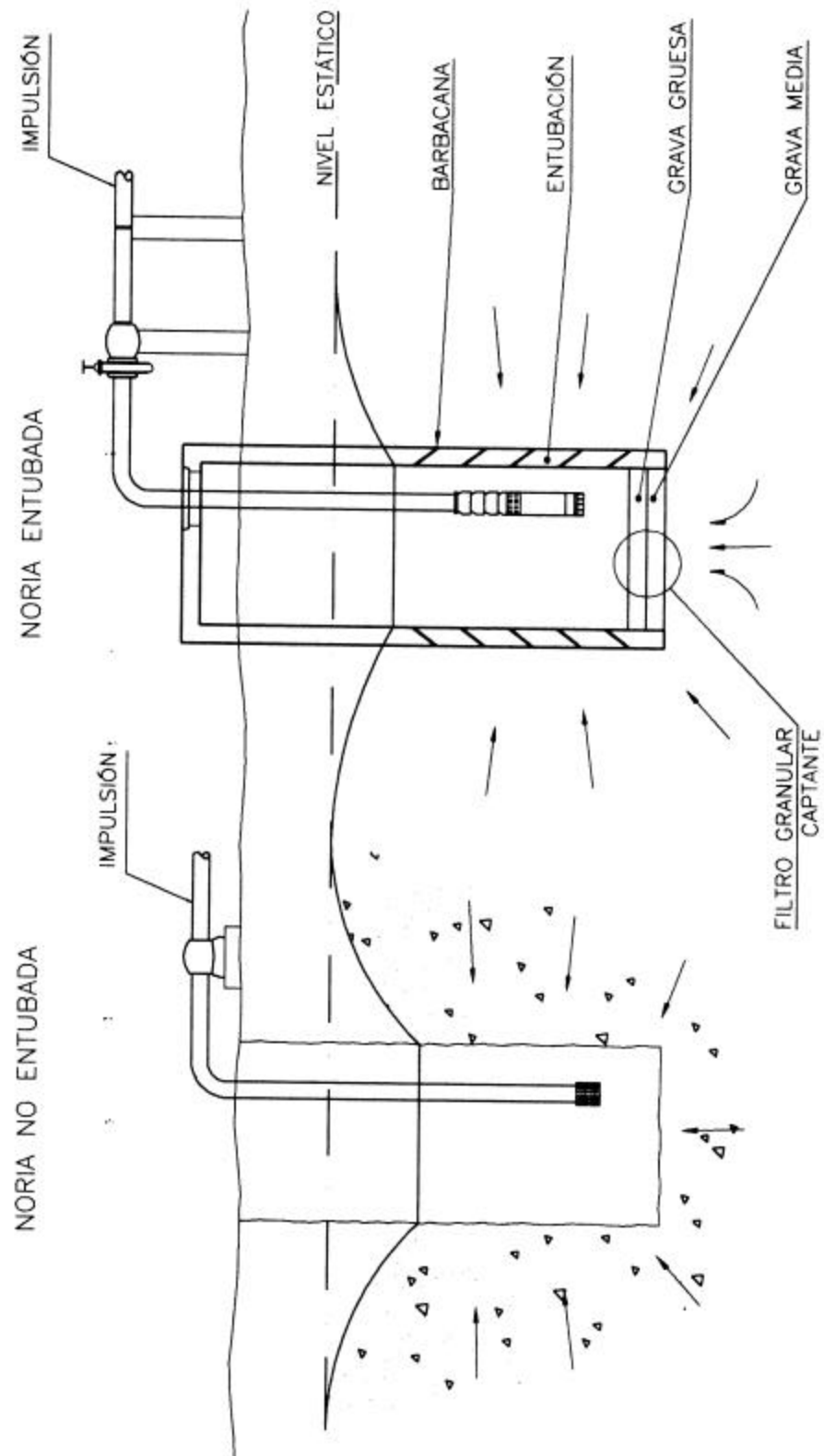
A.2.1 Descripción, forma y sistema captante

Las norias son captaciones verticales de sección circular, cuyos diámetros están típicamente en torno a 1 m. Sin embargo, en situaciones en que la napa posee una recarga limitada y se requiere maximizar el área aportante, así como también aprovechar el volumen de la noria como regulación, los diámetros pueden aumentar hasta 3 m. Las profundidades por lo general oscilan entre 5 m y 20 m.

En rellenos que poseen cierto grado de cohesión, en algunas ocasiones, se deja la excavación sin un revestimiento o entubación. Las norias no entubadas a menudo presentan problemas de embancamiento o desmoronamiento de sus paredes, a causa del flujo entrante que las erosiona. La zona captante puede coincidir con las paredes laterales y el fondo dependiendo de la disposición de los acuíferos o zonas aportantes en el tramo que se ha excavado.

En norias revestidas o entubadas el sistema captante puede ser por el fondo, que se deja sin revestir y se cubre con materiales granulares, o por las paredes laterales con la incorporación de barbacanas. En la Figura A1.2 se presenta un esquema de noria entubada y no entubada con sus elementos principales.

Figura A1.2
Esquemas de Norias Entubadas y No Entubadas



A.2.2 Tipos de acuífero

El flujo superficial que se produce en cauces pequeños va conformando, a través del tiempo, rellenos permeables de poco espesor en los que se desarrolla un escurrimiento subsuperficial ligado a veces al flujo del cauce o bien independiente de éste. En acuíferos como el descrito, de poca profundidad y espesor, resulta conveniente proyectar captaciones del tipo noria, en rellenos espacialmente uniformes, conformados por materiales gruesos del tipo gravas o arenas. Si se trata de suelos predominantemente arenosos, se dificulta la construcción de norias por la falla de cohesión del suelo y en tal caso es preferible la instalación de una malla de punteras como se expone más adelante.

En zonas cordilleranas los rellenos permeables son muy delgados a causa de las altas pendientes que presentan los cauces sobre fondos habitualmente rocosos; en esos sectores los flujos subterráneos disponen de una gran carga y a menudo se desarrollan a través de zonas de fracturamiento de las estructuras rocosas. Cuando las zonas de debilidad se presentan cerca de la superficie, el agua puede ser interceptada por norias excavadas en la roca.

A.2.3 Métodos constructivos

La excavación que se requiere para la construcción de una noria se lleva a cabo con retroexcavadoras, manualmente con chuzo y pala o combinando ambos procedimientos. La excavación realizada con herramientas manuales se lleva a cabo con los operarios descendiendo dentro del pozo a medida que la excavación progresa. El material excavado se extrae mediante pequeños tornos manuales. Cuando el terreno natural no se mantiene por sí sólo, debe colocarse un revestimiento, el que puede ser de mampostería, madera o concreto, en el que se dejan perforaciones laterales para facilitar la afluencia del agua, a pesar de esto fundamentalmente son captantes por el fondo.

Como se dijo anteriormente, las norias pueden ser entubadas o no, para el caso entubado o revestimiento, se cubre las paredes del material expuesto por la excavación con hormigón armado in situ, con un revestimiento de cemento o con tubos de hormigón prefabricados. En estos últimos casos, el peso propio de los tubos de concreto provoca un desplazamiento del material removido y de esta forma, los tubos se van hincando por efecto de su propio peso a medida que avanza la excavación.

En localidades rurales la construcción de norias artesanales para el uso doméstico es bastante común. En períodos de estiaje, cuando los niveles descienden, las norias menos profundas quedan por sobre el nivel de agua, secándose; en épocas invernales las lluvias y las crecidas de cauces cercanos pueden desmoronar las paredes de las norias que no se han revestido o entubado. En la actualidad, para prevenir esos percances, se proyecta las norias con una profundidad suficiente tal que incluya posibles descensos estacionales y además del revestimiento lateral, se recomienda construir una losa de hormigón por sobre la cota de terreno en la parte superior de la excavación para proteger la captación de posibles inundaciones. En la losa de hormigón se deja una abertura con una tapa del tipo alcantarilla para permitir el acceso al interior de la captación. Es común en esos casos proteger la obra con enrocados calculados para las condiciones de socavación del lecho que pudieran producirse.

A.2.4 Equipos de bombeo

Los equipos de bombeo más utilizados en norias son bombas centrífugas denominadas para pozo somero. Estos equipos se instalan por encima de la noria y toman agua de ésta mediante

aspiración. Tales bombas pueden emplearse tanto en norias como en pozos profundos, mientras el nivel de bombeo se halle dentro de la capacidad de succión o aspiración de la bomba. Actualmente se está incorporando bombas sumergibles a las captaciones del tipo noria, debido a sus ventajas operativas en cuanto a la posibilidad de desplazarlas verticalmente ante descensos del nivel de agua, su menor requerimiento de mantención y funcionamiento más eficiente. El mejor funcionamiento de las bombas para pozo profundo radica en el hecho de disponer de una aspiración sumergida, lo que permite bombear con mayores presiones de succión, reduciendo así la posibilidad de que se produzca cavitación.

Nota:

Este apunte se adaptó desde los apuntes del Seminario de Hidrogeología Aplicada para Técnicos y Profesionales de la Dirección General de Aguas. Profesor Guillermo Cabrera. Enero 1997.