

C977c
2530
v. 4 c. 1

CAPTACIONES DE AGUAS
SUBTERRANEAS

EUGENIO CELEDON SILVA
Ingeniero Civil

2530

Abril - 1978

CURSO DE POSTGRADO AGUAS SUBTERRANEAS

CAPTACIONES DE AGUAS SUBTERRANEAS

AUSPICIADO POR:

- SERVICIO NACIONAL DE OBRAS SANITARIAS.
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
- OFICINA SANITARIA PANAMERICANA.
- CAPITULO CHILENO ASOCIACION INTERAMERICANA DE INGENIERIA SANITARIA.
- UNIVERSIDAD DE CHILE.
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS. DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES.

ABRIL DE 1978

CAPTACIONES DE AGUAS SUBTERRANEAS

	<u>Pág.</u>
1. Introducción	1
2. Tipos de captaciones	1
3. Obras de captación verticales	2
3.1. Pozos excavados o convencionales	3
3.2. Pozos perforados	3
3.2.1. Profundidad	4
3.2.2. Métodos o sistemas de perforación	5
3.2.3. Cañería de revestimiento y diámetro del pozo	11
3.2.4. Sistema captante	13
3.2.5. Pared de grava	19
3.2.6. Faena de desarrollo	22
3.2.7. Pruebas finales y protección sanitaria	27
4. Control y vigilancia de la obra de captación	32
5. Conservación económica y sanitaria de los pozos	33
6. Anexos	35

CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

=====

1.- Introducción.-

En esta época, las captaciones de aguas subterráneas son consideradas como verdaderas estructuras hidráulicas, cuya construcción debe provenir de un prolijo diseño de ingeniería, basado en el conocimiento de las formaciones geológicas y su óptimo aprovechamiento. Su objetivo es alumbrar y captar cierto volumen de agua subterránea para un determinado caudal de proyecto que satisfaga la demanda o requerimiento de agua.

Las características técnicas del proyecto de captación y las condiciones hidrogeológicas de la zona serán las condicionantes para la selección del tipo de captación que se utilice. El conjunto, obra de captación y acuífero, debe constituir un complejo único de producción que determina el caudal de explotación o de diseño.

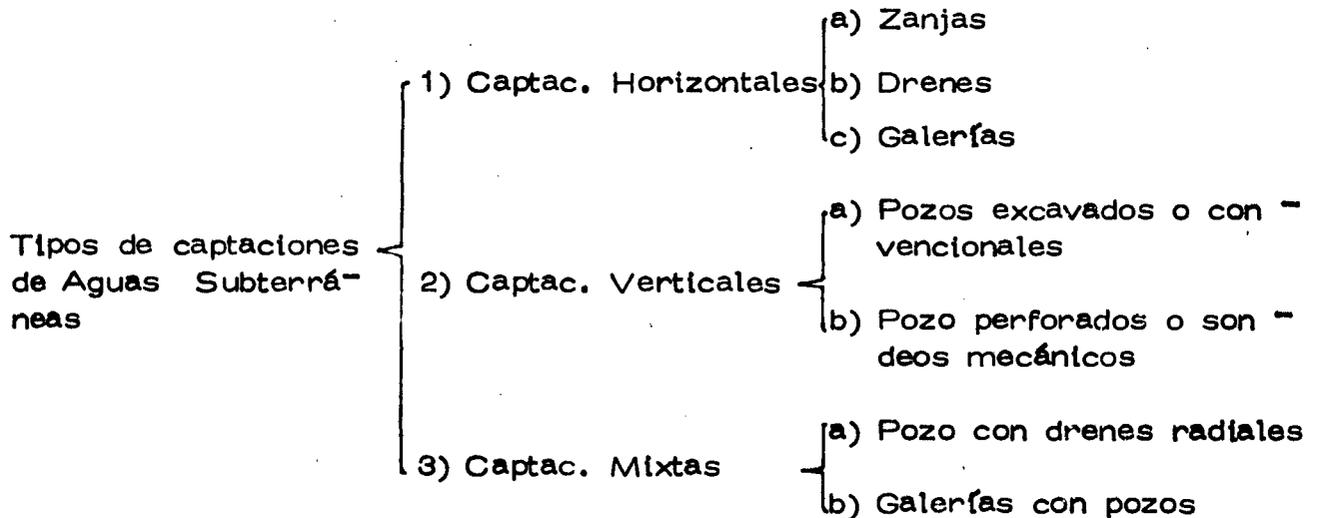
La finalidad de una obra de captación es la de obtener el caudal de agua de proyecto con el mínimo descenso de su nivel de trabajo o dinámico. Se requiere, por lo tanto, que el diseño y construcción de esta estructura asegure durante su funcionamiento una prolongada vida útil o servicio, a un costo razonable y garantizando la permanencia, durante el proceso de explotación, de las características iniciales de proyecto. Estas obras deben diseñarse para obtener el mayor rendimiento acuífero y eficiencia, en términos de capacidad específica, y en su construcción es indispensable aplicar adecuados criterios de control y supervigilancia, a igual que en toda obra de ingeniería.

En general, cuando se habla de captaciones de aguas subterráneas, se cree, la mayoría de las veces, que se refieren a pozos perforados o captaciones verticales. Esta realidad proviene de que actualmente el mayor número de obras de aprovechamiento de estos recursos se captan aplicando este tipo de diseño y método constructivo. Por esta razón, en el presente estudio se dará importancia especial a la descripción de este sistema de captación, y sólo se señalarán los otros tipos de captaciones de aguas subterráneas que se conocen.

2.- Tipos de captaciones.-

Se entiende por obra de captación de aguas subterránea a toda estructura que permita extraer el agua existente en un acuífero, ya sea por gravedad, bombeo u otro sistema de elevación.

Numerosos autores clasifican las captaciones en diferentes clases.- G. Castany ha logrado tipificarlo con mayor propiedad y acierto en su obra " Prospección y explotación de las aguas subterráneas " y las clasifica en los tres grupos:



Las primeras, están destinadas preferentemente a captar recursos de aguas subterráneas provenientes de acuíferos superficiales, ubicados a poca profundidad; y las últimas, se utilizan especialmente en el alumbramiento de napas de agua de baja permeabilidad, donde para incrementar su caudal de agua es necesario tener un frente amplio de captación.

En los últimos tres decenios, dos grandes logros de la tecnología influyeron poderosamente para que dentro de estos tipos de obras de captación se generalizara la construcción de obras verticales, y en forma especial, los pozos perforados o sondeos mecánicos. Los grandes adelantos alcanzados en la fabricación de las máquinas de perforación o sondas mecánicas y el grado de desarrollo logrado por la industria de grupos de bombes para pozos profundos, han sido factores determinantes para que, en esta época, más de un 90% de las obras de captación que se construyen sean del tipo de pozo perforado.

Por esta razón, en este estudio se ha planteado como objetivo principal el análisis de las obras de captación verticales, y entre ellas, los pozos perforados o sondeos mecánicos.

3.- Obras de Captación Verticales.-

Se las define como una estructura de ingeniería que se proyecta y construye para captar el agua por penetración vertical de la obra de captación en un material acuífero o napa de agua. Ya se ha señalado que entre ellas se deben distinguir los llamados pozos excavados a mano o de tipo convencional (norías) y los pozos perforados o sondajes.

3.1.- Pozos excavados o convencionales.-

Son obras de captación en cuya ejecución se requiere la labor y el esfuerzo físico de, a lo menos, 3 personas. A medida que se ejecuta verticalmente la excavación, picando y extrayendo el material, se debe proceder a entibar o revestir sus paredes de modo de protegerlas de posibles derrumbes que pongan en peligro la vida de los operarios y la destrucción del pozo. El sistema o método constructivo condicional, de hecho, el diámetro del pozo excavado, que no puede ser inferior a 1,60 mts., de manera que facilite el trabajo en su interior de los excavadores.

Cuando se alcanza la profundidad de inicio del acuífero y aparece la primera manifestación de agua, se dificulta y encarece su profundizamiento, pues se debe incorporar a la faena equipo de agotamiento. Por esta razón este sistema constructivo tiene un campo limitado de aplicación, y se lo usa cuando se trata de resolver abastecimientos de agua de tipo doméstico o en casos puntuales o marginales.

3.2.- Pozos perforados.-

En la actualidad se considera a los pozos perforados como auténticas estructuras u obras de ingeniería. El Ingeniero mexicano Don Vicente Vargas, en su reciente obra "Técnicas y análisis de costos de pozos profundos y aguas subterráneas", refuerza esta afirmación expresando que la construcción de un pozo se basa en un cuidadoso diseño, apoyado a su vez en un adecuado conocimiento de las formaciones geológicas perforadas durante su construcción y cuyas características, entre otras cosas, determinan el tipo de máquinas y herramientas más adecuadas, así como los procedimientos de construcción que se deben emplear con la finalidad de llevar tal estructura a su feliz término; y aún más, a un óptimo aprovechamiento de las mismas, ya que frecuentemente los costos de explotación de un pozo, con el tiempo, durante su vida útil o económica, restan importancia a lo invertido originalmente en su construcción.

En un pozo perforado, la producción de agua, su vida útil o tiempo de duración de la explotación y su rentabilidad, dependerán de su realización técnica. Por eso constituye un grave error adherir a la opinión sustentada por muchos colegas, que es conveniente en estas obras, reducir al mínimo, los gastos de inversión.

Se puede concluir, que en la ejecución de este tipo de obras se debe dar especial importancia a factores como un buen diseño, el método de perforación elegido, y adecuados criterios de control y vigilancia de la obra, que deben llevar involucrado el concepto de idoneidad de quien lo ejerce. Un buen diseño exige saber escoger los factores dimensionales apropiados para la estructura del pozo (profundidad, diámetro, etc.)

y los materiales que se van a utilizar en su construcción (cañería de revestimiento, rejilla, pared de grava, etc.)

Un buen método o sistema de perforación significa saber ponderar las ventajas con relación a la facilidad de construcción (rendimiento en perforación, eficacia del acondicionamiento o desarrollo) con factores de costos, características de las formaciones que deben perforarse, diámetros y profundidades del pozo y su uso final.

En consecuencia, un buen proyecto de pozo será aquel en el cual se conjuguen adecuadamente factores como su eficiencia, vida útil, costos de construcción y habilitación, con los de explotación o funcionamiento.

Creemos apropiado desarrollar este tema siguiendo ordenamiento propuesto por el Ing. José Antonio Fayas en el Texto sobre " Hidrología Subterránea", editado por E. Custodio y M. Llamas (Tom III - Pág. 1.671 - Edición año 1976).

3.2.1.- Profundidad.-

La profundidad del pozo es un parámetro fundamental, y generalmente es posible determinarlo con antecedentes provenientes de otros pozos construidos en la zona o estudios hidrogeológicos preliminares. En numerosos países se realizan catastros o registros de los pozos profundos existentes, que se agrupan según sus respectivas hoyas hidrográficas. Aquí, en Chile, esta labor la ha desarrollado principalmente el ex-Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO, hoy incorporado al IREN, labor que actualmente es una función propia de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.

No es usual, como tampoco racional, que alguien termine invertir en trabajos de perforación sin tener previamente algún indicio de que hay buenas posibilidades de captar agua del subsuelo, por lo cual siempre se opta por realizar estudios previos. En los casos que subsistiera la duda sobre la profundidad que deberá tener la perforación se realiza algún pozo de estudio, que se construye inicialmente de un diámetro mayor, de modo que este trabajo pueda posteriormente ser utilizado y convertido en un pozo de producción.

Criterios técnicos definidos recomiendan que la profundidad del pozo debe llevarse hasta atravesar o penetrar totalmente el acuífero productor, pues el caudal de aguas que produce es directamente proporcional al mayor o menor espesor del manto acuífero. De este modo se obtendrá un mejoramiento de su coeficiente característico de gasto o rendimiento específico del pozo, o sea, un mayor caudal de aguas con menor depresión de su nivel estático, y también, en el caso de pozos de bajo

rendimiento, será factible lograr un incremento del caudal de aguas, al existir una profundidad mayor que ofrece posibilidades de mayor abatimiento de su nivel de trabajo o dinámico.

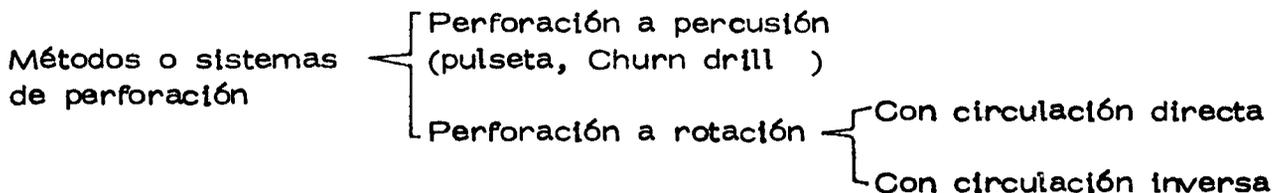
Finalmente, otro factor que no debe subestimarse en la determinación de la profundidad es la calidad del agua que proviene del acuífero que en oportunidades la limita o, en algunos casos, obliga a profundizar la captación.

3.2.2.- Métodos o sistemas de perforación.-

La perforación de pozos para captar aguas subterráneas ha tenido un gran impulso. En algunos países del mundo, principalmente, en aquellos donde la industria del petróleo ha experimentado un gran desarrollo, las perforadoras y métodos de perforación se han estudiado y perfeccionado notablemente, lo que ha constituido una gran ventaja para la industria y construcción de pozos de captación de aguas subterráneas. En este último caso, las máquinas y técnicas de perforación son notoriamente más simple, debido a que se deben alcanzar profundidades muchísimo menores que en el caso del petróleo.

Existen numerosos sistemas de perforación, que se aplican en función de las características propias del terreno que se debe atravesar y teniendo en cuenta, en forma especial, el diseño preestablecido para la obra de captación de aguas (profundidad, diámetros necesarios, etc.) y sin que por ello se olviden las exigencias propias de operación del equipo que la explotará.

Los métodos o sistemas universalmente conocidos pueden clasificarse de la siguiente forma:



Las máquinas que operan por el sistema de percusión, han sido las primeras que se incorporaron a la industria de la perforación. Son de uso universal y a pesar que han surgido equipos más perfeccionados, que utilizan otros sistemas operativos, no las han logrado dejar obsoletas. Construidas con gran solidez, son económicas en su operación y mantención, pero de baja productividad o rendimiento. Son llamadas, en México, como " máquinas a pulseta ", debido a que el operador, sigue a pulso el movimiento ascendente-descendente del cable que acciona la herramienta

de perforación, lo que le permite, en el caso de un sondeador experimentado, estimar las características del terreno que está atravesando. Algunos autores identifican estos equipos como " verdaderos burros de trabajo " , pues son de aplicación universal, y aunque lentas, siempre alcanzan su objetivo final, cualquiera sean las contingencias que presenta el terreno. En Chile, el 90% del parque de maquinarias de perforación está constituido por equipos que operan por el sistema de percusión. En la minería es llamada y conocida como tipo " churn drill " o perforadora que opera por trituración y batido del barro de perforación.

No pretendemos profundizar en el detalle de las características constructivas y de operación de los diversos equipos de perforación, pues solo tenemos como objetivo explicar sus fundamentos, y las ventajas o desventajas que ofrecen en sus diversas aplicaciones.

a) Descripción de los diversos sistemas.

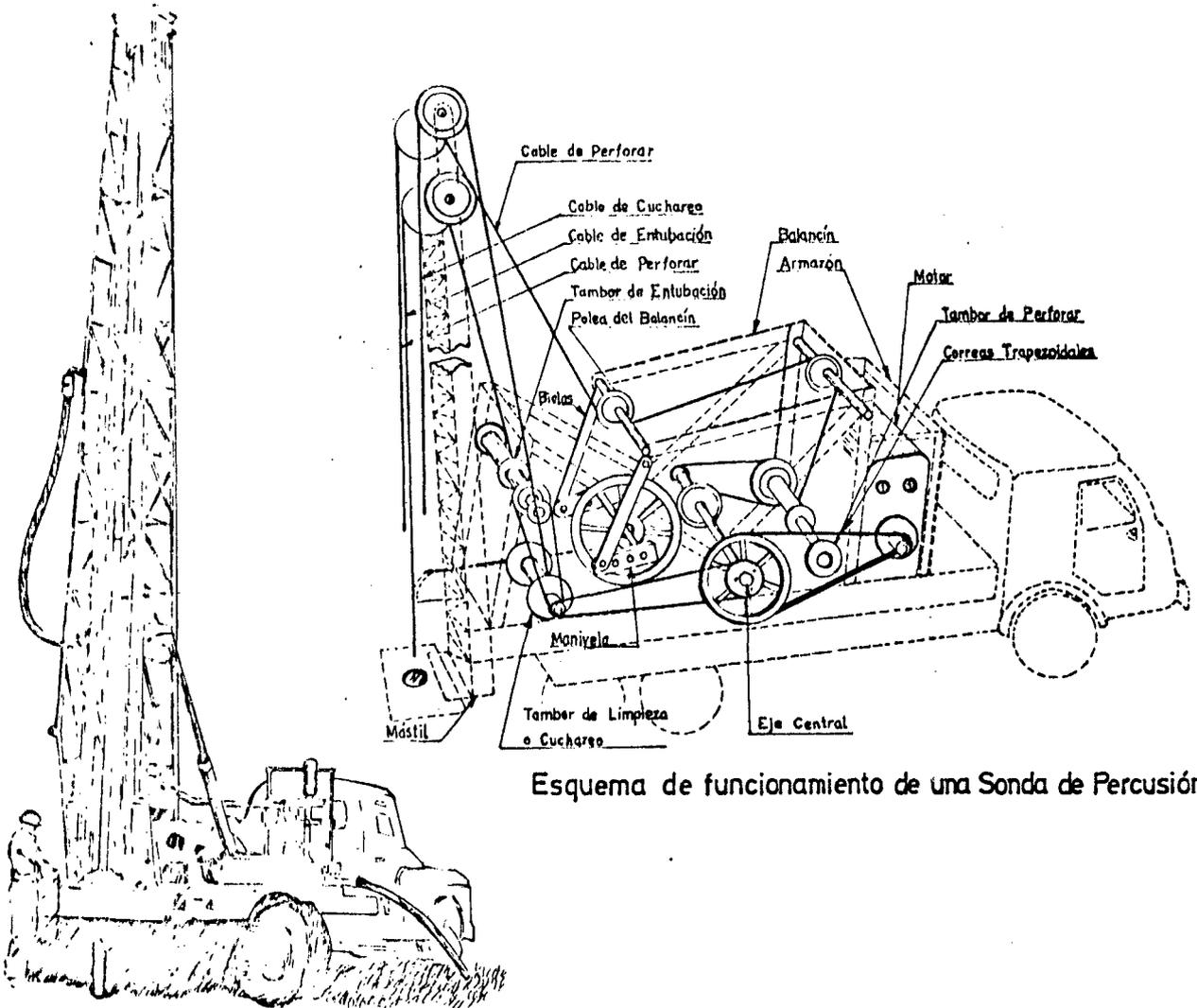
En el método de percusión, se utiliza una herramienta con un trépano en su extremo, que teniendo un peso variable según las necesidades operativas, es accionada desde la máquina de perforación por medio de un cable de acero, que desarrolla un movimiento recíproco, ascendente-descendente, y golpea en el terreno que va perforando. Esta pesada sarta de herramientas va fracturando o derrumbando el material, que se mezcla con agua que se agrega desde la superficie, formando así el barro o lodo de perforación, que es extraído periódicamente mediante diversos tipos de cucharas. La acción, ascendente-descendente, es impartida a la herramienta de perforación a través del balancín o brazo excéntrico. Los equipos perforadores cuentan con huinches apropiados que facilitan las faenas de cuchareo, entubamiento y otras labores misceláneas.

En el método de rotación se realiza la perforación haciendo girar una herramienta, que también lleva un trépano en su extremo, que junto con triturar el terreno remueve sus partículas con el fluido (lodo o barro de perforación), que se inyecta y circula continuamente mientras el trépano penetra en el subsuelo.

En el sistema, llamado de rotación directa, el fluido es inyectado a través de la herramienta de perforación, volviendo a la superficie a través del espacio anular que queda entre la pared de la perforación y la tubería que constituye la herramienta rotativa. Estos dos elementos, herramientas de perforación y fluido, son fundamentales en el trabajo de perforar y mantener estable las paredes del pozo, por lo que en el diseño de estos equipos se procura que estas funciones se realicen simultáneamente, operación de la perforación y circulación del lodo.

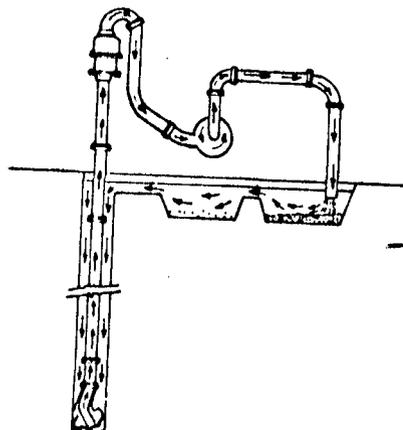
El fluido de perforación desempeña un papel importantísimo en este proceso. Contribuye a la protección de las paredes del pozo y a su impermeabilización para aminorar las pérdidas de circulación; posibilita la ascensión desde el fondo del pozo de los materiales perforados; de-

METODOS DE PERFORACION

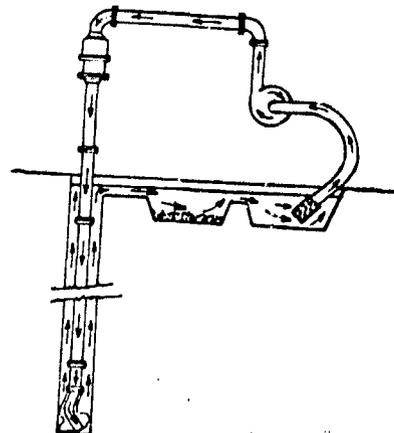


Esquema de funcionamiento de una Sonda de Percusión.

Esquema de funcionamiento de una Sonda a Rotación.



Rotación Inversa



Rotación Directa

be mantener los sedimentos perforados evitando su decantamiento, cuando se detiene el proceso de circulación; y facilitar el proceso de refrigeración y lubricación del trépano, bomba inyectora y la herramienta de perforación.

En el método de rotación, llamado de circulación inversa, este proceso circulatorio del fluido se invierte. En este caso el fluido de perforación con el material perforado en suspensión, es aspirado por el interior de la herramienta de perforación y descargado por la bomba inyectora al llamado "foso de sedimentación", para retornar al pozo en perforación, en forma gravitacional. Este sistema requiere que se disponga de un caudal de agua del orden de los 3 lts/seg., y el diámetro mínimo de perforación que puede lograrse es de 18", que está condicionado por el diámetro de acoplamiento de la herramienta.

b) Ventajas y campos de aplicación.

Para determinar su campo de aplicación es importante conocer las ventajas que presentan los diversos sistemas de perforación. El trabajo del equipo debe orientarse a la obtención de un resultado óptimo y con gran productividad. Por lo tanto, el tipo de equipo a utilizar debe seleccionarse con miras de lograr una buena solución técnica con una máquina que manibre con rapidez, produzca un buen rendimiento en la perforación y su producto final, el pozo de captación, se ajuste cabalmente al diseño previsto y constituya una solución que sea la más económica y eficiente durante su proceso de operación.

Ya se ha dicho que la perforadora del tipo de percusión sigue siendo una máquina de aplicación universal, y de menor costo o inversión inicial. A pesar de ser lenta, su operación es económica, efectiva y es además versátil. No requiere de operadores de gran experiencia. Sin embargo, en determinados terrenos, no resulta competitiva ante la gran rapidez y rendimiento que se puede lograr con los equipos que operan por el sistema rotativo. Además las muestras que se obtienen salen notablemente perturbadas y alteradas, y a través de su análisis granulométrico sólo se puede tener confiabilidad en el porcentaje de la arcilla presente.

Las perforadoras rotativas con circulación directa, representan una mayor inversión inicial por su costo de adquisición y requieren operadores más preparados y de cuidadosa técnica. Con ella se logra una gran rapidez en los trabajos y es posible obtener testigos que permiten descubrir con cierta seguridad la litología representativa de los terrenos atravesados. Se usan, por lo general, en regiones donde se supone, basado en estudios hidrogeológicos preliminares, que los materiales del subsuelo están constituidos por formaciones granulares no cementadas, llamados suaves, y de granos finos.

El sistema de rotación inversa opera con buen rendimiento en los mismos terrenos recomendables para el de circulación directa, pero tiene limitaciones con relación a la profundidad susceptible de alcanzarse. Debido al mayor diámetro de perforación que se obtiene con estos equipos, es la máquina que ofrece mejores condiciones para construir una buena pared de grava o filtro artificial, con lo que se puede lograr construir un pozo más eficiente.

Sin embargo, este sistema presenta ciertas limitaciones. Encarece su operación en aquellas zonas donde faltan recursos de agua, que son necesarios para compensar la pérdida de fluido de perforación y cuando el subsuelo está constituido por materiales gruesos de mayor tamaño que la tubería de perforación, por lo general de 6".

c) Observaciones finales.

No se puede finalizar este párrafo sin agregar dos comentarios que se consideran de interés práctico y que no se relacionan entre sí:

- 1) En nuestro país, como en otros según se deduce de la literatura técnica, existen ciertas reservas para la construcción de pozos de captación de aguas subterráneas con equipos de perforación que operan por circulación directa. Se origina en el hecho que en materiales como arena o grava gruesa, el fluido o lodo de perforación penetra, la mayoría de las veces, intensamente al interior de la formación antes que la pared del pozo se impermeabilice para evitar su socavación o derrumbe. Ello es explicable, ya que en este sistema se realizan operaciones que, en cierta medida, se contraponen con su objetivo final, que es alumbrar recursos de aguas subterráneas. En efecto, en un gran número de estas perforaciones se debe emplear lodos, los que para lograr el sellado de las paredes de la perforación, a veces impermeabilizan sus formaciones acuíferas, lo que se manifiesta más frecuentemente cuando se demora más tiempo la terminación del pozo. Este inconveniente no se presenta, sin embargo, en el sistema rotativo de circulación inversa en que la película que se forma y que evita la pérdida excesiva de fluido de perforación es eliminada fácilmente con la faena de desarrollo.

Esta dificultad es susceptible de ser superada cuando se dispone de operadores experimentados, que aplican una técnica cuidadosa, y tratando de dar rápido término a la perforación. Además es indispensable que todo el lodo que ha colmatado los poros de la formación acuífera sea eliminado mediante el proceso de desarrollo del pozo, y evitar, de este modo, que la captación sea deficiente.

En México, en las normas o especificaciones para construcción de pozos con fines de exploración de aguas subterráneas, se exigen por los motivos señalados precedentemente, que " en todo pozo en el que durante su perforación se hayan utilizado lodos de perforación o cualquier otro fluido con propiedades de cementante, no se deberá retirar la máquina perforadora sin antes haber efectuado correctamente, y a satisfacción del Ingeniero, el lavado preliminar del pozo". Se define además como " lavado preliminar del pozo, al conjunto de operaciones que tendrá que realizar el Contratista para desalojar del interior del pozo y de los filtros de protección del mismo, la máxima cantidad de lodos betoníferos utilizados durante las maniobras de perforación; operaciones que consistirán en: inyectado de agua al pozo por medio de la bomba de lodos de la máquina perforadora y de la tubería de perforación" (cap. 27 1-7.00 Lavado preliminar del pozo - Técnicas y análisis de costos de pozos profundos y aguas subterráneas - V. Vargas - México - 1976).

- 2) Existen otros tipos de máquinas de perforación modernas que operan por los sistemas de percusión, rotación o de efecto combinado. Entre estas debemos mencionar las perforadoras neumáticas de percusión, llamadas en EE.UU. "Downhole ". Estos equipos tienen gran rendimiento en la perforación de terrenos rocosos, pero no son eficaces en terrenos granulares sueltos o fracturados. Se fabrican para perforar en pequeños diámetros.

Creemos de utilidad, finalmente, insertar un cuadro que señala las velocidades relativas de perforación para los diversos tipos de máquinas, según el tipo de formación.

Tipo de formación	Percusión	Rotatoria	Neumática
Arenas finas o de duna	difícil	rápida	No recomendable
Arena y grava sueltas	difícil	rápida	" "
Arena fluida y movediza	difícil	rápida	" "
Ripio suelto en terrazas aluviales y morenas de glaciares	difícil-lenta con hincado simultáneo de ademe	Difícil, frecuentemente imposible	" "
Arcilla y limo	lenta	rápida	" "
Arenisca mal cementada	lenta	lenta	" "
Arenisca muy cementada	lenta	lenta	" "
Rocas metamórficas	lenta	lenta	rápida
Granito y gneises	lenta	lenta	rápida

Fuente: Técnicas y análisis de costo de pozos profundos y aguas subterráneas - Vicente A. Vargas - México - 1976.

3.2.3.- Cañerfa de revestimiento y diámetros

Al hablar de cañerfas de revestimientos nos referiremos a las características que debe satisfacer solamente la tuberfa definitiva de la captación de aguas y exceptuando las que se utilizan durante el proceso de perforación del pozo para evitar posibles derrumbes de sus paredes. Se establecerán los criterios básicos que condicionan sus características físicas, estructurales e hidráulicas, de manera que pueda cumplir cabalmente sus funciones de estructura de sostenimiento de las paredes del pozo, de medio de conducción hidráulica que conecta el acuífero con la superficie y permite la instalación en su interior del grupo de bombeo, con que se hará funcionar el pozo de captación de aguas.

Se usan como revestimiento cañerfas fabricadas de diversos materiales. La tuberfa de uso más generalizado es confeccionada en acero y de acuerdo con las especificaciones del American Petroleum Institute (API). Se ha estimado conveniente incluir un cuadro donde se describe la calidad del acero para tuberfas de revestimiento según las normas API:

Calidades de acero para tuberfas de revestimiento (API)

Grado	H40	J55	N80
Límite de elasticidad mínimo (kg/cm ²)	2810	3870	5620
Límite de elasticidad máximo (kg/cm ²)	-----	5620	7730
Resistencia a la tracción mínima (Kg/cm ²)	4220	6680	7030
Coefficiente de elasticidad media al aplastamiento (kg/cm ²)	3520	4570	6330
Alargamiento sobre sección del tubo	32%	25%	18%

Las dimensiones físicas de esta cañerfa debe cumplir con determinados requisitos condicionados por factores hidráulicos y de carácter estructural. El espesor de la pared de la tuberfa debe ser capaz de resistir la presión provocada por los empujes laterales del terreno y la presión hidrostática de los acuíferos existentes por posibles diferencias de nivel de aguas entre el interior y exterior del pozo.

La American Petroleum Institute recomienda se utilice la siguiente expresión para determinar la profundidad límite de diseño de la tuberfa de revestimiento en función de su diámetro y espesor. Esta expresión es:

$$H = \frac{28,64 \times 10^6}{\frac{D}{t} \left(\frac{D}{t} - 1 \right)^2} \quad \text{en donde:}$$

H = profundidad límite de diseño de la tubería del pozo, en mts.

D = Diámetro exterior de la tubería, en cmts.

t = espesor de la tubería, en cmts.

Aplicando esta fórmula se ha concluido que para cañerías de acero son apropiados espesores de 1/4" para pozos de 50 mts., de profundidad; 5/16" para 100 mts; y 3/8" entre 100 mts. y 200 mts. Se recomienda agregar 1/4" más de espesor, cuando se trata de aguas que por sus características físico-químicas pueden provocar fenómenos de corrosión.

Una vez determinado el espesor de la cañería de revestimiento es fundamental fijar los criterios determinantes de su diámetro. En ello influyen ciertos factores condicionantes, especialmente de carácter hidráulico. Generalmente se distingue en la cañería de revestimiento de un pozo dos tramos: uno, que va desde la superficie hasta la profundidad donde debe ir instalada la bomba o el grupo motobomba y que se llama la "cámara de bombeo"; y otro, que se extiende hasta el sistema captante (rejilla o tubo ranurado), por donde entra el agua al pozo y que algunos autores denominan "tubería de producción".

El diámetro deberá tener una magnitud de manera que la velocidad de escurrimiento del agua en el tramo de entrada al pozo como en su paso por el espacio anular, comprendido entre la pared exterior de la bomba e interior de la tubería, no sea superior a la recomendada por las normas (3 cm/seg). Igualmente esta velocidad no deberá ser causal de generación de turbulencias, que provoquen o aceleren posibles procesos de corrosión o incrustación en las rejillas o ranurados.

Algunos autores han ideado valores y expresiones prácticas que facilitan el cálculo del diámetro de la cañería de revestimiento del pozo, de modo de satisfacer estas exigencias propias de la cámara de bombeo y tubería de producción. Se ha estimado que la primera está relacionada directamente con el caudal de aguas que se proyecta extraer de la captación y que fijará de hecho el diámetro del cuerpo impulsor de la bomba. Como medida de seguridad para que las pérdidas de carga se reduzcan a un mínimo, es conveniente que el diámetro interior de la cañería de revestimiento tenga una longitud de 2" mayor que el diámetro de los tazones del grupo de bombeo.

Basado en estas consideraciones, se han deducido, en términos generales, las siguientes expresiones prácticas, que resultan de la condición que el caudal de aguas previsto para el pozo está relacionado con el diámetro de la bomba, y ésta a su vez influye el de la tubería de revestimiento:

$$(1) \quad D_{e.b} = \sqrt{Q} + 2'' \text{ , siendo}$$

$D_{e.b}$ = Diámetro exterior grupo de bombeo, en pulgadas.

Q = Caudal de explotación de la captación, en lts/seg.

$$(2) \quad D_c = D_{e.b} + 2'' \text{ (pulgadas) donde}$$

D_c = Diámetro cañería de revestimiento cámara de bombeo, en pulgadas

Finalmente, es útil dejar establecido que la experiencia aconseja evitar el uso como cañería de revestimiento de tubos o tramos fabricados con distintos metales, pues es un factor importante, causante de posibles corrosiones.

3.2.4.- Sistema captante o rejilla.-

En un pozo de captación el sistema captante constituye su parte esencial y suele ser comparada su función en esta estructura, como la que ejerce el corazón en el reino animal. Se le llama, en los textos técnicos, rejilla y se la define como el sector vivo y activo de la captación que constituye aquella parte del revestimiento del pozo que enfrenta la zona filtrante por donde se produce la entrada del agua.

Un sistema captante bien diseñado debe facilitar la entrada de agua limpia al pozo, exenta de sedimentos en suspensión, y cumplir con ciertas exigencias de orden hidráulico de manera, que el pozo sea realmente eficiente, o sea, que su caudal característico o específico (lts/seg/mt. de depresión) sea el mayor posible.

a) Características de las rejillas.-

Las rejillas deben estar diseñadas para satisfacer las siguientes características o exigencias:

- 1.- Las aberturas serán dimensionadas para evitar su obstrucción por la arena, grava o material presente en el acuífero. Esto puede lograrse construyéndolas de modo que la parte ancha de la ranura crezca hacia el interior del pozo.

- 2.- Suministrar la máxima superficie abierta para lograr el mayor porcentaje de área de entrada del agua, tomando la debida precaución para que la resistencia de la rejilla no se debilite o afecte. Además las ranuras deben distribuirse uniformemente y evitar los efectos de turbulencia que pueden producirse con la entrada del agua.
- 3.- Su fabricación debe ser con un solo metal que la preserve de los posibles efectos que causa la corrosión o los ácidos utilizables en trabajos de desincrustación, y de una resistencia que soporte las fuerzas a que la rejilla estará sometida durante y después de su instalación (colapso y compresión).
- 4.- Debe ser de costo razonable y económico.-

b) Selección de la rejilla.-

Los factores que condicionan la selección de rejilla son la longitud, tamaño de abertura de la ranura, diámetro, resistencia y ubicación. La importancia de una buena selección es mayor en la medida que los materiales del acuífero son más finos. El diámetro se ha condicionado previamente por el elegido para la cañería de revestimiento y su resistencia se calcula contra los esfuerzos mecánicos e hidráulicos y se fabrica de material inalterable a las aguas incrustantes y corrosivas.

b.1) Longitud y Ubicación.-

La longitud de la rejilla está condicionada por el espesor y tipo de acuífero aluminado. La experiencia indica que en caso de napa libre es conveniente se ubique la rejilla en su parte inferior cubriendo la mitad o un tercio de ella. Esto tiene por objeto que el nivel de agua en el pozo admita una depresión que dé lugar al mayor abatimiento posible y un incremento de la producción de agua, pues no es prudente que la rejilla quede en seco parcialmente para que tenga más vida útil.

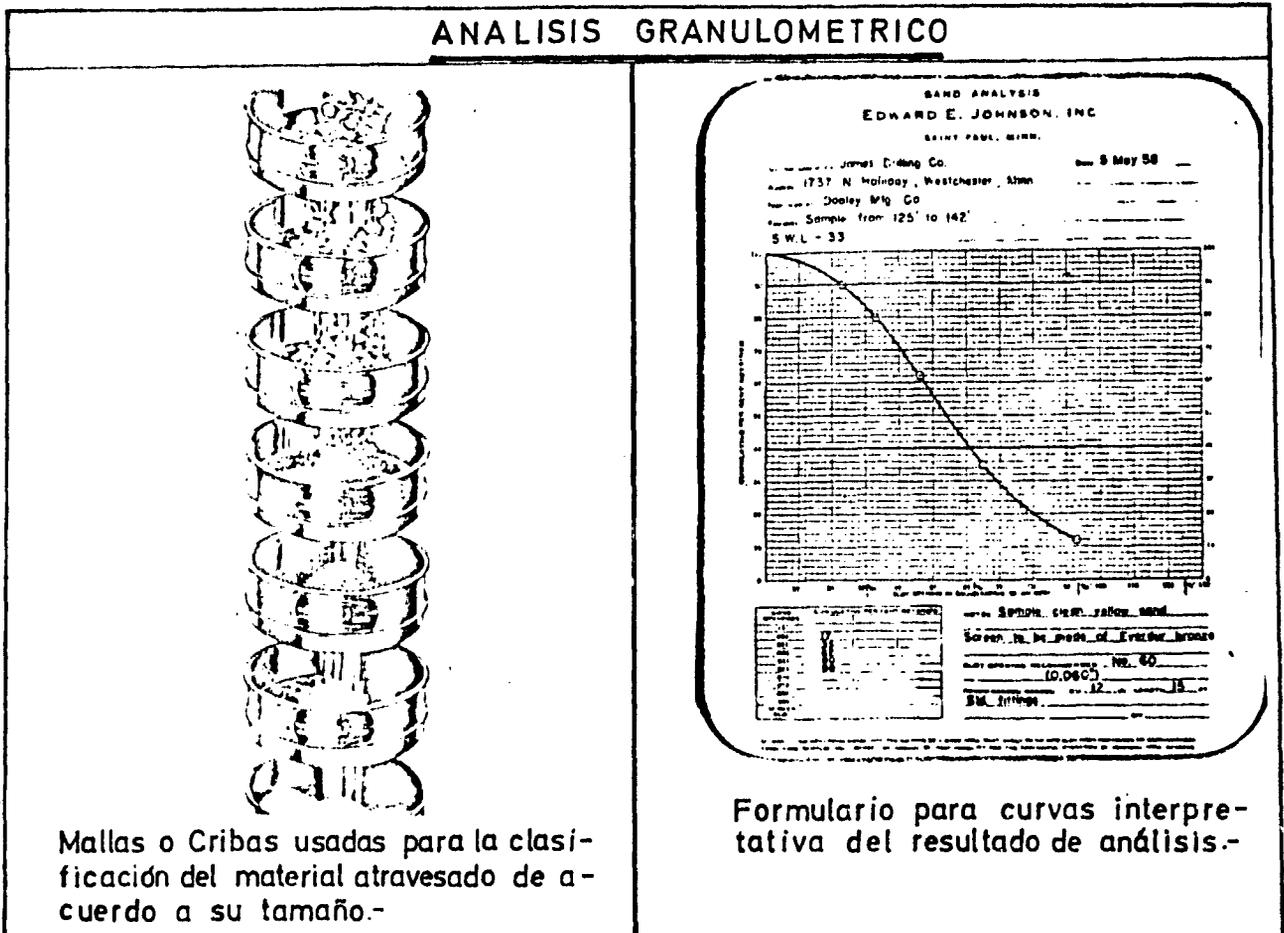
En el caso de napas confinadas se recomienda que la rejilla cubra un 70% a 80% de su espesor, con rejilla centrada o en varios tramos repartidos.

b.2.) Sección de la ranura.-

En la determinación de la abertura de la ranura es indispensable el conocimiento previo de la granulometría del material acuífero. Extraídas las muestras durante el proceso de perforación se deben dibujar las curvas granulométricas de los materiales que constituyen las napas de aguas aluminadas.

Experimentalmente se ha concluído que en el caso de pozos de captación que no deben tratarse con relleno de grava se elige un ancho de ranura, que retenga del 30% al 50% del material de la formación, o lo que es igual, deje pasar el 70% al 50% de dicho terreno, respectivamente.

Cuando el mismo acuífero está constituido por estratos de variada granulometría, la rejilla debe seleccionarse para cada una de sus capas, o se puede diseñar como solución alternativa una rejilla para todo el acuífero, que satisfaga las exigencias que impone el material más fino.



Si en el pozo de captación fuera necesario realizar tratamiento de grava artificial, el tamaño de las ranuras deberá estar de acuerdo con el de la grava que se use. En este caso, se recomienda que la abertura retenga, al menos, el 90% del material de relleno.

b.3) Velocidad crítica u óptima.

Determinada la longitud y el ancho o tamaño de abertura de la rejilla y conocido su diámetro, se calcula la superficie abierta de escurrimiento del flujo total de agua:

- (1) $A = \pi \cdot D \times l \times (n \cdot e)$ siendo:
- A = Area abierta total, m²/ml.
- D = Diámetro rejilla, en mts.
- n = N° de ranuras por m.l. de rejilla
- e = ancho de cada ranura, en mt.
- l = longitud de cada ranura, en mt.

Es prudente considerar que el área abierta efectiva (A_e) por donde filtrará el agua es un 50% del área total, pues parte de la ranura quedará obstruída o tapada por material, proveniente de la pared de grava o del propio acuífero.

(2) $A_e = 0,5 \times A$ (m²/ml.)

Conocida la superficie o sección de escurrimiento efectiva (sección eficaz) se debe comprobar si la velocidad de entrada del agua cumple la exigencia que no sea superior a la velocidad óptima y que, en algunos textos, llaman también velocidad crítica. Esta no debe ser superior a 0,06 m/seg., recomendándose, en lo posible, que no exceda de 0,03 m/seg. Una menor velocidad del flujo de entrada del agua al pozo disminuye la tendencia a la precipitación de los minerales o incrustación.

(3)
$$V_c = \frac{Q}{L \times A_e}$$

Siendo:

V_c = Velocidad crítica u óptima del agua, en m/seg.

L = longitud de la rejilla, en mt.

Q = caudal de agua, en m³/seg.

Diversos autores relacionan los valores de la velocidad crítica u óptima en función del tamaño, permeabilidad o granulometría del acuífero y otros de su permeabilidad. En efecto, es conocida la expresión:

$$(4) \quad V_c = 65 \sqrt[3]{K} \quad \text{en que}$$

K = permeabilidad, en m/seg

Sin embargo, es de mejor utilidad práctica la tabla de valores de velocidades críticas de flujo, del autor R.C. Smith, que se indica a continuación:

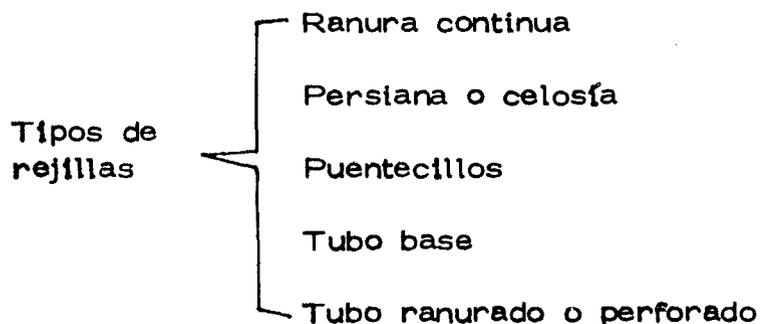
Naturaleza de los elementos	Diámetro de los granos (mm)	Velocidad crítica (m/s)
Arenas limosas	0,01 a 0,10	0,01 a 0,02
Arenas finas	0,10 a 0,20	0,02 a 0,035
Arenas medias	0,25 a 0,50	0,04 a 0,07
Arenas gruesas	1 a 2	0,11 a 0,17
Gravas finas	2 a 4	0,18 a 0,80

Fuente: R.C. Smith - Prospección y explotación de las aguas subterráneas - G. Castany.

Si la velocidad excediera la recomendable (0,03 m/seg - 0,06 m/seg.), es necesario se limite el caudal de explotación del pozo o se varíen algunas características o dimensiones de la rejilla.

4.- Tipos de rejillas.

Las rejillas se clasifican según la forma y tipo de ranura o de acuerdo cómo se han fabricado. Creemos que la mejor clasificación es la siguiente:



Las figuras siguientes son suficientemente descriptivas y ahorran cualquier explicación sobre su fabricación y forma.

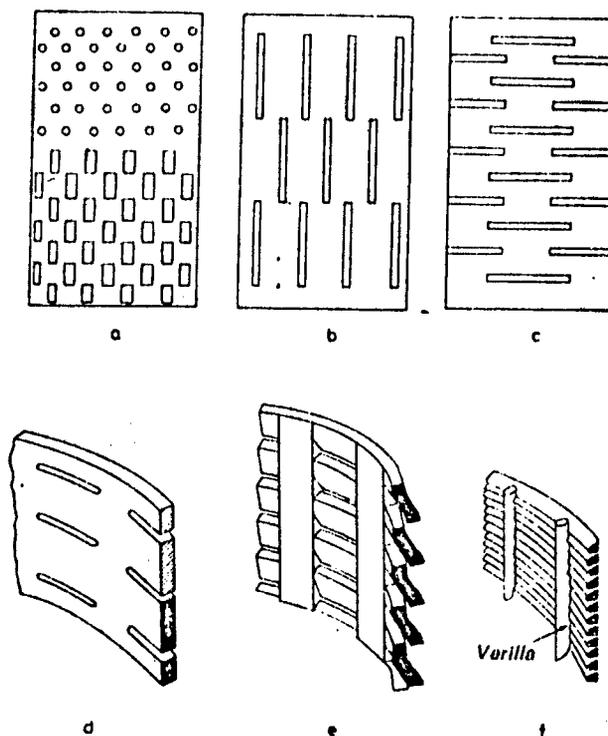


FIG. 15-7. — Tipos de perforaciones de las rejillas.
a, orificios circulares o rectangulares; *b*, ranuras verticales; *c* y *d*, ranuras horizontales;
e, rejilla de persiana; *f*, rejilla Johnson.

Fuente: Prospección y Explotación de las aguas subterráneas - G.Castany - 1975.

La rejilla de ranura continua ofrece un área efectiva mayor que cualquiera de los otros tipos. La de persiana o celosía y también la de puentecillos, no se recomienda su uso en aquellos pozos que se desarrollan naturalmente, ya que es frecuente que en esos casos se tapen con el material del acuífero. Este tipo de rejilla es recomendable en aquellos pozos que deben llevar filtro y tratamiento de grava. Las rejillas con tubos de base, son de baja eficiencia y el hecho de ser construídas con metales diferentes las exponen a la corrosión electrofítica.

La tubería ranurada o perforada es de un menor costo y representa una economía significativa en la inversión de la obra. Sin embargo, se debe reconocer que tiene ciertos inconvenientes que la hacen solo recomendable en aquellos casos en que el acuífero tenga un gran espesor, la cañería de revestimiento sea de gran diámetro, y para caudales pequeños. Ello se debe a que el área efectiva abierta puede llegar, en el mejor de los casos, a un 6%, con lo que compromete la eficiencia en pozos de gran caudal con rejillas cortas o de pequeño diámetro. También el sistema de fabricación impide el logro de aberturas menores de 1,5 mm.

En nuestro país se usa principalmente como rejilla en la mayoría de las captaciones de agua el tubo ranurado. El 90% de los pozos

existentes llevan este tipo de rejilla.

Este material se ha usado, en forma generalizada, por razones de costo y especialmente por ser de fabricación nacional. El resto de los tipos de rejillas no se fabrican en el país.

En resumen, en esta materia los especialistas (proyectistas y constructores) deberán innovar sus procedimientos y mejorar la eficiencia de los pozos, aunque signifique aumentar la inversión. En consecuencia, en la selección del tipo de rejilla deben utilizar el tipo más adecuado y desentenderse, gradualmente, del uso ya generalizado de tubos ranurados, que técnicamente constituye una solución limitada.

3.2.5.- Pared de grava.

La pared de grava es un filtro de cierto espesor y características adecuadas, creado natural o artificialmente y que se ubica entre el acuífero y la rejilla o sistema captante. Esto exige que el diámetro de la perforación de cualquier captación de tipo vertical sea mayor que el de la cañería de revestimiento, de modo que facilite el relleno posterior de este espacio anular, con grava seleccionada.

En este último caso, al extraer, por medio del desarrollo, los materiales finos de la napa de agua (autodesarrollo), se crea detrás de la rejilla una pared de grava natural, de granulometría decreciente, en base a la utilización de los materiales gruesos propios del acuífero.

En napas de aguas, integradas solamente por arenas finas y homogéneas, es indispensable construir una pared de grava artificial por la imposibilidad, de encontrar en el propio acuífero, materiales que puedan constituir una pared de grava natural. Igual predicamento se adopta con las formaciones estratificadas, cuyas capas presentan alternadamente materiales gruesos y finos.

La construcción de la pared de grava se efectúa conjuntamente con el desarrollo del pozo, cuyos métodos o procedimientos se analizan en párrafos posteriores.

a) Función u objetivo.

La presencia de la pared de grava se justifica por las siguientes razones:

- 1.- Evita y corta la entrada de arena y el material fino del acuífero durante el proceso de explotación del pozo de captación, y sirve además de estructura de sostenimiento contra posibles derrumbes.

- 2.- Aminora las pérdidas de cargas provocadas por la entrada del agua al pozo, pues permite una mayor abertura de la rejilla; y
- 3.- Produce un mejoramiento de la permeabilidad del material en la zona de la rejilla.-

Esta mayor abertura de la rejilla influye para que al mayor flujo de agua ingrese al pozo con menor turbulencia y aminora, en el caso de aguas incrustantes, la precipitación de minerales, disminuyendo los peligros de incrustación en la rejilla.-

b) Diseño del filtro natural o artificial.-

Ya se ha expresado que, en muchas ocasiones, especialmente en nuestro país, las características del subsuelo, posibilitan la creación de la pared de grava con las propias partículas materiales que constituyen la formación. Ello se logra a través de un proceso llamado "desarrollo natural". Contrariamente, cuando la granulometría es uniforme, este trabajo debe realizarse por el método denominado desarrollo artificial.

Algunos autores han señalado criterios y recetas para el buen diseño de estos filtros. Otros investigadores, con respaldo experimental, han establecido límites y definidos campos de aplicación para los dos tipos de pared de grava (natural o artificial). Finalmente, otro grupo de talentosos hombres de ciencias tienen sus propias soluciones, algunas basadas en el empirismo científico, y otras, en la experimentación.

Entre los primeros, mencionaremos al Ingeniero Mexicano, Don Vicente Vargas, quien sugiere la siguiente receta, que según su criterio ha dado excelentes resultados en la aplicación práctica en su país: "cualquier clase de materiales, por finos que sean, se pueden controlar con un filtro constituido por grava graduada, con partículas limitadas entre 1/4" y 1/2" de diámetro. Y agrega: "siguiendo esta sencilla regla no se han obtenido fracasos derivados del filtro; los fracasos fueron múltiples antes de llegar a la fórmula práctica aquí enunciada" (Técnicas y análisis de costos de pozos profundos y aguas subterráneas - Vicente Vargas - México - 1976).

G. Castary, establece que solo procede aplicar el procedimiento de construir la pared de grava artificial cuando la granulometría del acuífero es uniforme, lo que se produciría cuando el coeficiente de uniformidad (1) es menor de 2 ó 2,5; y cuando $D_{60\%}$ es menor de 0,5 mm. y $D_{10\%}$ es mayor de 0,03 mm. Al contrario, si el coeficiente de uniformidad fuera mayor o igual a 2, no procedería ejecutar pared de grava artificial y sólo construiría con el simple desarrollo natural del acuífero.

- (1) a) El coeficiente de uniformidad se define como la razón entre el tamaño del material $D_{60\%}$ y el tamaño $D_{10\%}$.
- b) $D_{60\%}$: Define el tamaño de las partículas, tal que el 60% es más pequeño, o lo que es lo mismo, un 40% representa el porcentaje retenido por la malla de abertura 60%.
- c) Tamaño efectivo es el tamaño del tamiz que retiene el 90% de las arenas del acuífero.

Sin embargo, hay otros autores que tienen sus propias soluciones, entre los que sobresalen Terzaghi (1968); Bieske (1962); Nold (1962); Stow (1962); Kruse (1960); Fuchs (1963); y Johnson (1966), fabricante, este último, de cribas de ranura continua y que, a nuestro juicio, ha ideado el método más apropiado para este tipo de material.

Con el propósito de dar a conocer los resultados alcanzados por uno de estos investigadores, incluiremos la recomendación práctica del prestigioso científico Karl Terzaghi (" Soil Mechanics in Engineering Practice " - 1968). Ha concluido que " un material granular satisface los requisitos necesarios y suficientes para usarse como filtro de protección, si el 15% de su tamaño (D_{15}) es cuando menos cuatro veces tan grande como las partículas mayores de la formación a proteger, que esté en contacto con el filtro, y no más de cuatro veces que el 85% de la graduación D_{85} de las partículas más finas de la formación:

$$\frac{D_{15} \text{ (pared de grava)}}{D_{85} \text{ (acuifero)}} > 4 \text{ a } 5 < \frac{D_{15} \text{ (pared de grava)}}{D_{15} \text{ (acuifero)}}$$

c) Espesor, colocación y características del relleno .-

El material adecuado para ejecutar el relleno debe ser de cantos bien redondeados, lavado y uniforme, exento de partículas calcáreas.

Una prolija selección de la grava es fundamental, pues si así no fuera, se corre el riesgo de un fracaso. La pared de grava artificial debe tener una permeabilidad mayor que el acuifero que se proyecta controlar y la grava debe ser de una permeabilidad, por lo menos, veinte veces mayor que la formación acuífera.

El espesor recomendable fluctúa entre ciertos límites: uno inferior, condicionado por las exigencias de facilitar su colocación; y otro superior, determinado por razones técnicas o económicas. Entre estas últimas, cabe mencionar el criterio de procurar que los materiales finos no taponen los poros cuando el relleno elegido es de mayor espesor; que no se dificulte el proceso posterior de desarrollo; minimizar la inversión, ya que a mayor espesor se requiere más material y una perforación de mayor diámetro. En general, el espesor recomendado para una pared de grava debe fluctuar entre 3", como límite inferior, y 6" como máximo. La experiencia ha demostrado que mientras mayor sea el espesor del relleno artificial más difícil es limpiar la pared en su lado interno, entre este relleno y el acuifero.-

El trabajo de colocación de la grava para formar la pared debe realizarse con prudencia y procurando que no se pierda la gradación: los granos más pesados no deben quedar en la parte inferior, segregándose de los más finos. Igualmente se debe tomar las precauciones necesarias para que no se formen puentes, que disminuyan la porosidad de la formación y le resten área efectiva a la rejilla. Este fenómeno de segregación se produce, la mayoría de las veces, cuando el material de la pared de grava se deja caer libremente a través del agua. Esta acción provoca que las partículas de mayor diámetro desciendan con más rapidez que las menores y se coloquen, alternativamente y en forma estratificada, entre el acuífero y la rejilla, los materiales gruesos y finos.

d) Relleno estabilizador.

En el caso que no sea necesario construir una pared de grava artificial y ella sea reemplazada por un filtro natural, logrado a través del desarrollo natural del acuífero, se debe rellenar previamente, el espacio anular existente entre el acuífero y la rejilla con arena gruesa lavada. Este relleno se denomina comunmente "estabilizador".

Cumple como objetivo principal, evitar que, durante el proceso de desarrollo, se derrumben los materiales arcillosos o limosos ubicados en los estratos sobre la napa de agua y se interpongan, entre la formación y la rejilla, disminuyendo la productividad de la captación de aguas.

3.2.6.- Desarrollo y estimulación de los acuíferos.

Se denomina desarrollo al conjunto de operaciones realizadas en un pozo de captación de aguas, una vez colocada la rejilla o sistema captante, y destinados a 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 una mejoría de su productividad traducida en un aumento de su caudal característico o específico; y prolongar la vida útil de la captación.

Esta operación contribuye significativamente a la eliminación de posibles obstrucciones temporales que hayan sufrido las formaciones acuíferas por efectos propios del proceso de perforación, como son la eliminación de sus paredes de la capa pelicular impermeabilizante y el material fino existente alrededor de la rejilla. El desarrollo de la formación pretende alcanzar un mejoramiento de la porosidad eficaz como la permeabilidad de las napas de aguas alumbradas.

En general, existe consenso entre los diversos especialistas, que los pozos que han sido desarrollados naturalmente dan mejor resultado, en seguridad de funcionamiento y vida útil, que las captaciones con rellenos de grava artificial. Por lo tanto, en esta época prima la tendencia, en la medida de lo posible, por la construcción de pozos con desarrollo natural.

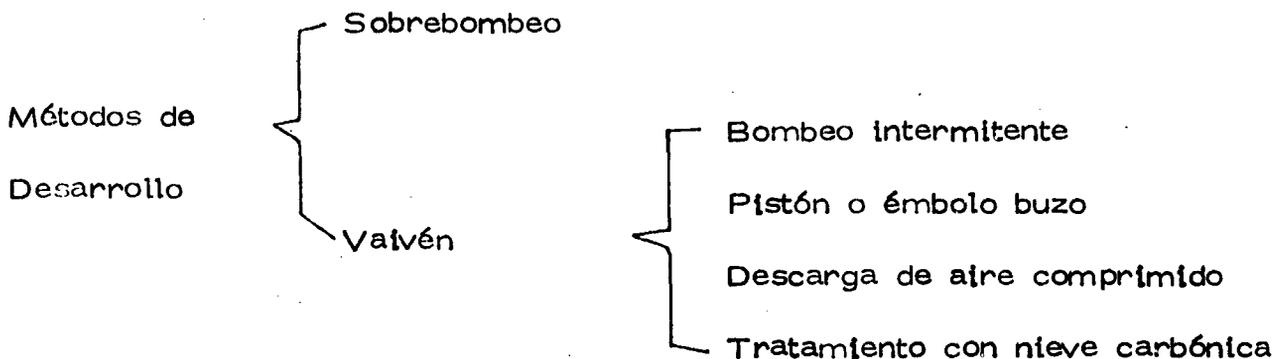
También se realizan otras labores, donde la faena de desarrollo es básica y fundamental, denominadas "operaciones complementarias de desarrollo", como son el redesarrollo, la rehabilitación y la estimulación de pozos.

La primera, es definida como la operación que tiene por objeto lograr un aumento del coeficiente característico de gasto o caudal específico, para lo cual se vuelve a limpiar la captación y se extrae aquellos materiales finos aún presentes. Se entiende por "rehabilitación", los trabajos que se realizan en pozos afectados por procesos de incrustación o corrosión y que disminuyen su rendimiento, y en las cuales se proyecta el restablecimiento de su caudal específico. Por último, se usa el término "estimulación" para todas aquellas labores en que se proyecta introducir cambios en el acuífero, ya sea, por medios mecánicos, químicos y otros, y que tienen como objetivo reducir la resistencia que presenta el acuífero al flujo de agua.

Todos los métodos de desarrollo se fundamentan en el logro de un incremento rápido de la velocidad de entrada y salida del agua por la rejilla del pozo, y así destruir los posibles puentes de material que se forman alrededor de la rejilla, fenómeno que se acrecienta cuando el flujo es en un solo sentido.

a) Métodos.

Los métodos más en uso se clasifican de la siguiente manera:



El sobrebombeo es un procedimiento de desarrollo incompleto, pues el flujo del agua se produce en un solo sentido; y en cambio, con el de vaivén, se logra agitar la formación, en una u otra dirección. Por esta razón, se recomienda generalmente la aplicación de este último método, que evita una estabilización parcial del material acuífero.

1.- Bombeo intermitente.

Este proceso consiste en el bombeo intermitente de la captación con un equipo que descargue un caudal notablemente superior al del pozo (50% mayor), para lo cual se provoca detenciones y partidas bruscas del equipo destinadas a crear variaciones bruscas de presión. El gasto o

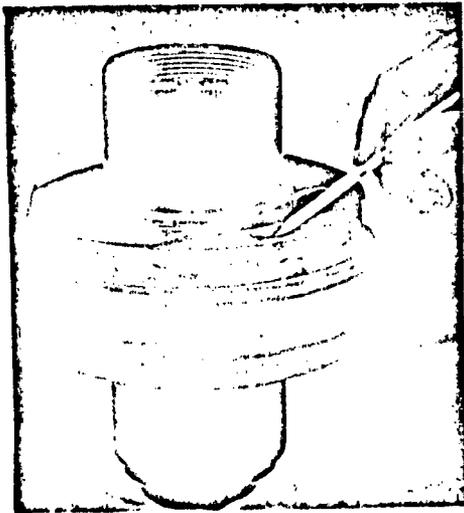
caudal de salida de agua deshace los puentes de arena, y el de entrada o descarga, traslada el material fino hacia la rejilla y el interior del pozo.

Este bombeo exige grupos de gran potencia, y solo se ejecuta con bombas de pozo profundo de eje vertical que no tengan válvulas de pie, para que el agua de la columna de bombeo pueda caer al pozo. Esta faena no se puede realizar con bombas de motor eléctrico sumergido, ya que llevan válvulas de retención en la descarga.

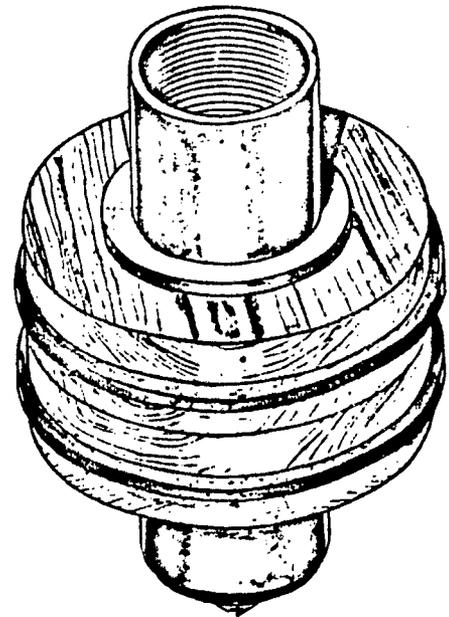
Este sistema de desarrollo tiene ciertas desventajas, pues no es muy enérgico. Provoca estabilización parcial del acuífero y un gran desgaste de la bomba que realiza este proceso.

2.- Pistón o émbolo buzo.-

Es uno de los sistemas más prácticos de desarrollo y se basa en la agitación mecánica del agua de la captación. Mediante el pistón, que se observa en la figura, y que se ajusta a la herramienta de perforación, se comprime y aspira el agua, lo que produce un fuerte incremento de su velocidad, tanto hacia el interior como fuera de la rejilla. Esta acción enérgica fuerza la entrada al pozo del material más fino del acuífero. Este material se retira periódicamente, cada media hora, por medio de cucharas adecuadas y que integran el juego de herramientas y accesorios del equipo de perforación.



Embolo tipo de válvulas



Embolo tipo sólido

Cualquiera sea la ubicación del pistón, al ser el agua incompresible, su acción se transmite a la zona de la rejilla, ya que el pistón actúa a través de la columna de agua.

La eficacia de este proceso de desarrollo está relacionada directamente con el peso de la herramienta que lleva el pistón, lo que influye en su rápido movimiento descendente.

En función del diámetro de revestimiento del sistema captante o rejilla, se recomiendan los siguientes pesos para la herramienta o émbolo buzo:

	D i á m e t r o R e j i l l a			
	(Pulgadas)			
	6"	10"	12"	Mayor de 12"
Peso herramienta o émbolo buzo (kgs.)	600	800	1.000	Mayor de 1.000

Generalmente es aconsejable se efectue este proceso de desarrollo utilizando además ciertos agentes dispersantes, que lo aceleran. Estos productos químicos facilitan la eliminación del lodo de perforación y las arcillas presentes en los acuíferos, al ponerlos en suspensión y evitar su sedimentación, ya sea en el fondo del pozo o en la rejilla.

Los agentes más usados son el Hexametáfosfato de sodio, llamado también calgón, los pirofosfato tetrasódicos y fosfato trisódico, y en general, en una dosis de 15 kg. por cada m³. de agua en el pozo. Normalmente se introduce estos detergentes en la captación el día anterior, para dejarlo actuar durante toda la noche y después proceder al pistoneo.

En Chile se ha usado también con satisfactorio resultado, el detergente Rinso. No estamos aún en condiciones de evaluar su eficacia en comparación con los dispersantes ya señalados.

3.- Uso de aire comprimido.

Este sistema de desarrollo constituye también un proceso rápido y eficaz. En general, se usa en aquellos pozos en los que no se desea realizar un fuerte desarrollo y cuando se dispone en el lugar un equipo o instalación de aire comprimido.

Se inyecta el aire comprimido dentro del pozo, formando se una mezcla de agua y burbujas de aire, que reducen la densidad específica del agua con lo que la presión atmosférica obliga a la mezcla a surgir del pozo, ya sea entre el tubo inyector y la cañería de revestimiento o por la tubería de aducción o eyectora, que se instala.

El compresor debe ser de una capacidad mínima de 7 kg/cm². y requiere de 5,2 lts. de aire por cada litro de agua a extraer.

Es un procedimiento donde se combina una operación de vaivén con el bombeo, provocado por el aire comprimido. Se produce un fuerte oleaje mediante la inyección de grandes volúmenes de aire en el pozo y el bombeo se efectúa, por elevación normal de agua mediante el aire comprimido.

Su aplicación no se recomienda en pozos de bajo caudales pecífico o en aquellos donde la inmersión, determinada por la longitud de tubo de aire que queda bajo el agua, es baja.

4.- Desarrollo con nieve carbónica.-

Este sistema de desarrollo consiste en introducir al pozo hielo seco (anhídrido carbónico sólido) que, en contacto con el agua, recibe calor que, transformando a este sólido en gas con un notable aumento de volumen, produce la expulsión del agua en el pozo. Este aumento de volumen es superior a 150 veces, lo que produce, de hecho, que el agua del pozo salga impulsada al exterior.

Este método se usa normalmente cuando la altura de agua en el pozo es superior a 40 mts. El hielo seco se introduce en pedazos de 2 a 5 kgs. y usualmente se aplica una dosis de 1 kg. por cada m³.de agua en el pozo.

b) Métodos de estimulación de los pozos.-

Esta moderna técnica se usa, en esta época, principalmente en pozos petrolíferos, y también se aplica con bastante éxito, en pozos de captación de aguas.

Estos métodos están diseñados para producir cambios significativos en el acuífero, de manera de reducir la resistencia que opone al escurrimiento del flujo de agua subterránea. Para el logro de este objetivo, se utilizan métodos mecánicos, químicos y otros, siendo los más conocidos, el de fracturación hidráulica, acidificación y el uso de explosivos.

En el primero, se inyecta agua a una elevada presión con el objeto de crear y dilatar los poros de la napa de agua, evitando que se cierren de nuevo, para lo cual se introduce simultáneamente arena o pequeñas bolitas de vidrio. El de acidificación, trata de estimular el pozo eliminando los carbonatos con el uso de ácidos clorhídrico comercial. Por último, en el caso de uso de explosivos, se aprovecha la cualidad que ofrece este medio para aumentar su volumen al ser detonado y pasar de la fase, sólida o líquida, a gas. Esta variación de capacidad, que oscila entre 700 a 1.000 veces el volumen del explosivo, crea una onda expansiva que se propaga a grandes velocidades (5.500 a 8.000 m/seg.), provocando tensiones

de compresión y cortes de gran intensidad.

Lamentablemente, al alto costo de estos sistemas los convierte en impracticables aún en Chile, para estimular pozos de captación de aguas y sólo se usa en estimulaciones de pozos petrolíferos.

3.2.7.- Pruebas finales y protección sanitaria.

Terminada la faena de construcción del pozo procede la realización de algunas experiencias y otros trabajos de protección de la obra. Entre las primeras, corresponde ejecutar determinadas pruebas de bombeo, destinadas a conocer la producción de agua de la captación, su capacidad específica y facilitar la selección del equipo de explotación de esta estructura. Además se realizan otros trabajos de comprobación de la verticalidad y alineación del pozo, faenas para lograr su desinfección y contribuir a su protección sanitaria, como son el lavado, desinfección y construcción de un sello sanitario en la captación.

a) Rendimiento del pozo - Experiencias de bombeos.

Finalizadas las diversas etapas de construcción de la captación se deben ejecutar ciertas experiencias de bombeo, que sirvan para determinar su producción de agua y capacidad específica, lo que facilitará la adquisición del grupo de explotación adecuado para un funcionamiento eficiente. Estas pruebas de agotamiento se denominan generalmente de "gasto variable" para diferenciarla de la experiencia de "caudal constante", que también se realiza con otro objetivo diferente y preciso.

Los resultados de la primera experiencia citada, se llevan a un gráfico, que tiene por abcisa los caudales de bombeos, expresados generalmente en la unidad litros por segundo, y en ordenadas, se consignan las alturas o niveles de agua en el pozo. Creemos innecesario definir ciertos conceptos básicos de hidráulica de pozos, que se ocuparán en el desarrollo de esta materia, como son nivel estático, nivel dinámico o de trabajo, abatimiento, descenso o depresión (drawdown), capacidad específica, radio de influencia, coeficientes de permeabilidad, transmisividad y almacenamiento, etc. etc.

Esta prueba del pozo de captación consiste en la extracción por medio de una bomba de ciertos caudales de agua, y registrando para cada gasto, el descenso correspondiente del nivel inicial de aguas en el pozo, o nivel estático, y lograr una aparente o real estabilización de los respectivos niveles de trabajo. Estas mediciones incluyen, en consecuencia, el nivel estático, antes de empezar el proceso de bombeo, el caudal de agua que se extrae, simultáneamente con el nivel dinámico correspondiente, lo que se realiza con una frecuencia determinada.

De esta relación se desprende que es necesario disponer de un grupo de bombeo experimental, ciertos equipos de medidas, tanto para verificar el caudal de descarga como la profundidad del agua en el pozo. La determinación del caudal se realiza generalmente por medio indirecto, aprovechando la facilidad que ofrecen diversos dispositivos que facilitan su cuantificación.

Entre estos métodos figuran preferentemente el uso de los tubos de descarga con aforador de orificio, los vertederos de distintas formas geométricas; y el de uso más simple, un estanque o recipiente de volumen conocido, que sirve para calcular el caudal por vía indirecta con sólo controlar el tiempo necesario para llenarlo.

La medición de los niveles de agua en el pozo se realiza con cierta periodicidad, inicialmente en intervalos de cada 2 minutos, que se distancian después de la primera hora de trabajo. En la fase de medición de niveles se utilizan determinados accesorios, como línea de aire, cinta mojada o el piezómetro llamado también sonda eléctrica. Este último accesorio consiste en un electrodo, que se conecta a una fuente de poder y es suspendido de un par de alambres aislados. Al tocar el electrodo la superficie de agua, un ampermetro, que integra este instrumento, indica que el circuito se ha cerrado y se procede a medir su profundidad o longitud del cable de la sonda eléctrica que ha hecho contacto ya con el agua.

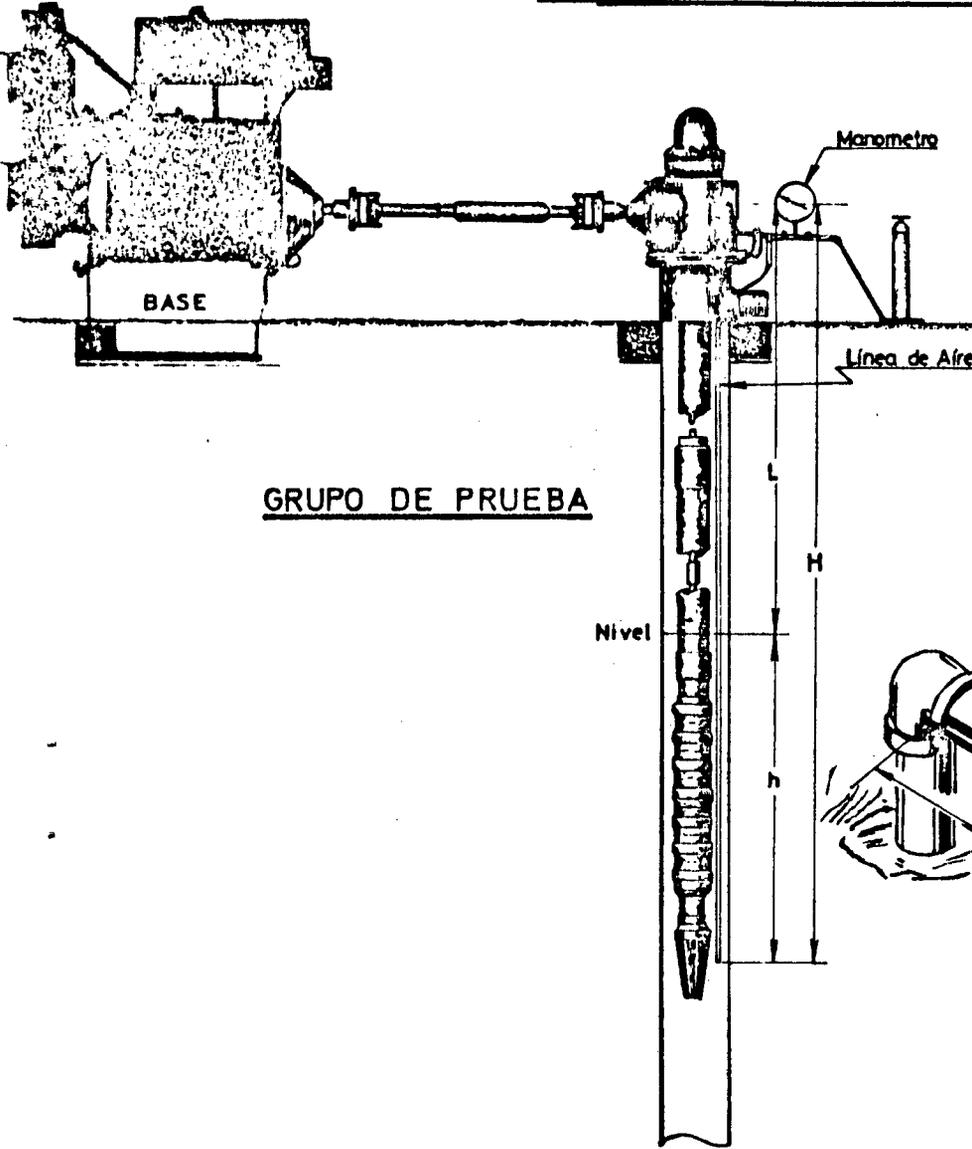
Dibujada la curva obtenida de esta experiencia se observará que algunas tienen forma parabólica que conduce a la conclusión que, en ese caso, el acuífero, cuyo rendimiento se ha aforado, corresponde a una napa de agua freática o libre; y al contrario, si resultare una recta se trataría de acuífero confinado. Estas curvas pronostican el comportamiento real del pozo, sólo en el caso que la captación esté ubicada en una zona donde el caudal que se extrae sea inferior a la recarga natural, y que compensa el caudal bombeado de la formación acuífera. Esta experiencia dejaría en evidencia que el régimen es de equilibrio, y se puede hacer abstracción del factor tiempo.

En cambio, si no se lograra estabilidad en los niveles dinámicos a través del tiempo de bombeo y prosiguiera su descenso, quedaría en evidencia que no se ha alcanzado el equilibrio del cono de depresión y se deberá aplicar en el cálculo las relaciones o fórmulas correspondientes a los métodos de variación o no-equilibrio.

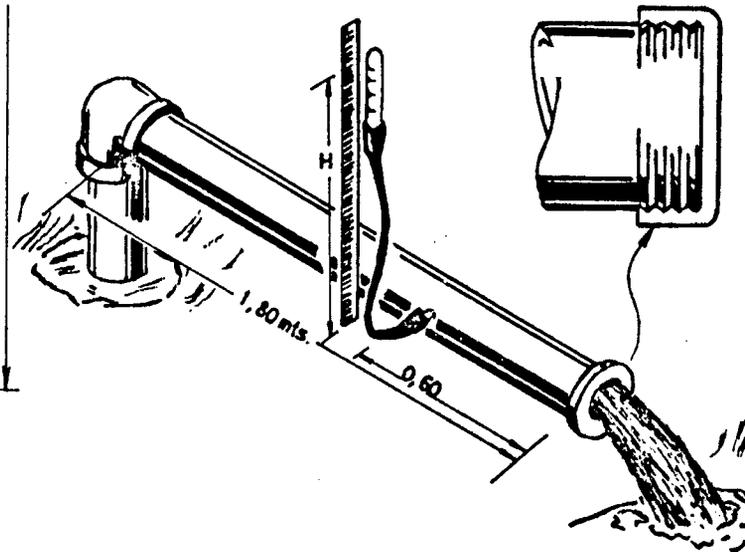
C.V. Theis concluyó, el año 1935 una investigación que culminó con el descubrimiento de una expresión matemática, que representa uno de los aportes notables a la ciencia de la hidráulica subterránea. Esta relación permite el cálculo del descenso del nivel de agua en un pozo, en función del tiempo de duración y de su caudal de bombeo.

En estos tiempos, ayudados por este aporte de Theis, se está en condiciones de resolver el problema originado en una captación que opera en una zona donde la recarga de agua es insuficiente. En efecto,

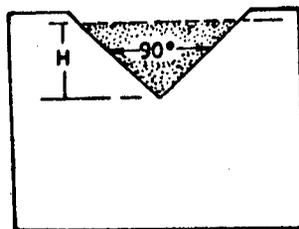
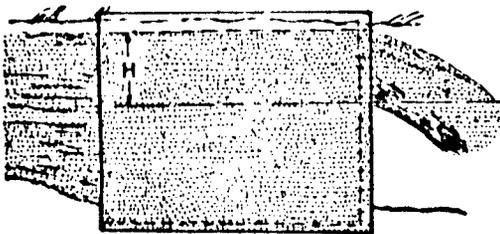
PRUEBAS DE BOMBEO



GRUPO DE PRUEBA



AFORADOR DE ORIFICIO



AFORADOR DE VERTEDERO TRIANGULAR
ANGULO RECTO

ahora es posible calcular el nivel de trabajo requerido en la extracción de un determinado caudal de aguas (Q) después de un tiempo "t", medido en días de bombeo continuo. Con este objeto es suficiente conocer los coeficientes de almacenamiento (S) y transmisividad (T) del acuífero alumbrado, su nivel estático (s₀), la depresión máxima posible dentro del pozo (s), y su radio efectivo de construcción, que incluye el espesor de la pared de grava.

Con estos valores y ayudado por la expresión de Theis, se determina la magnitud de "u"

$$u = \frac{r^2 s}{4 t T}$$

Si se entra con el valor de "u" en la curva $u = f(W(u))$, que se anexa, se obtiene el valor de W (u). Entonces, se podrá conocer el descenso "s", o depresión del nivel estático del pozo para producir el caudal de proyecto "Q" con la expresión de Theis:

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u)$$

Este desarrollo ha contribuido, en parte, a la inclusión de una experiencia de bombeo complementaria en las captaciones de aguas, y que se denomina de "caudal o gasto constante". La Dirección de Obras Sanitarias la establece, a veces, como una exigencia técnica en diversos contratos. Esta prueba tiene precisamente por objeto concretar, en forma práctica, el método de Theis, tendiente a conocer las características, llamadas "constantes de formación" de los acuíferos (T y S).

En resumen, la experiencia de "bombeo de gasto constante" es necesaria para cuantificar los valores de T y S, y obtener información de terreno, que facilite el estudio de las relaciones tiempo-depresión, y distancia-depresión durante el período de bombeo; y los niveles de recuperación, una vez detenido dicho proceso.

b) Verticalidad y alineación.

La exigencia de verticalidad de un pozo, está relacionada con la instalación de la bomba de explotación, especialmente cuando corresponde a un grupo accionado desde la superficie mediante eje vertical. La verticalidad de un pozo es necesaria aunque no tan importante. Sin embargo, debe rechazarse un pozo con defectos de alineamiento y que tenga dobleces o torsiones, pues esta falla causará gran desgaste en los ejes, cojinetes y tubería de descarga de la bomba.

Existen varios métodos prácticos para determinar la verticalidad y alineación. Durante la construcción del pozo, y siempre que el nivel de aguas esté suficientemente bajo, se usa el sistema del espejo. Para ello se debe mirar al fondo del pozo, que se ilumina con un espejo que de

be reflejar en el fondo del agua los rayos del sol. Si la imagen resultante es un círculo y no un óvalo, se puede concluir que el pozo está vertical y no acusa desviación.

En Anexo, se acompaña una relación del método descrito por Johnson (1966), que se aplica normalmente y que constituye una exigencia que deben satisfacer los constructores de pozos antes de entregar estas obras a sus usuarios.

Un último método consiste en comprobar verticalidad y alineación, bajando al interior del pozo y a la profundidad prevista para la colocación de la bomba, un tramo de tubo de 12 metros de longitud, que tenga un diámetro externo de 13 mm. menor (1/2") que el diámetro interior de la cañería de revestimiento del pozo.

Las desviaciones aceptadas según algunas normas y compatibles con las exigencias de un buen diseño del pozo, son las siguientes:

- 1.- El tramo de tubería debe pasar libremente, por lo menos, hasta la profundidad donde se instalará el grupo de bombeo.
- 2.- El pozo no puede variar en su vertical más de 2/3 del diámetro interior más pequeño de la parte del pozo, lo que se comprobará cada 30,5 mts. (100 pies) de profundidad.
- 3.- Las especificaciones generales para pozos perforados preparadas por SENDOS, exigen " que ninguna tubería en cuyo interior haya de colocarse una bomba, deberá desviarse de la vertical más de 0,075 mts. cada 30 mts. para tubos de hasta 2" de diámetro nominal; más de 0,10 mts. para diámetros entre 8" y 12" (D.N.); y más de 0,15 mts. para diámetros mayores de 12".

c) Desinfección.

El pozo recién construido debe limpiarse para extraer toda materia extraña. Se eliminará la presencia de aceites, grasas y otros compuestos, depositados durante la ejecución de los trabajos y que pueden provenir de las herramientas y cables, que se utilizarán durante el proceso constructivo. Se limpia generalmente la entubación con ayuda de escobillones e incluso, si fuera de necesidad extrema, con ayuda de algunos ácidos.

Esta necesidad de orden sanitario impone automáticamente la ejecución de un buen proceso de desinfección, lo que se realiza con una solución de cloro.

En general, se usa una dosis de 15.000 p.p.m. por metro de profundidad y con el objeto, que una vez diluida en el pozo, se obtenga una concentración superior a 60 p.p.m.

El siguiente cuadro indica la cantidad de solución de 15.000 p.p.m. de cloro necesaria por metro de profundidad de pozo para diversos diámetros de cañerías:

<u>Diámetro cañería</u> (pulgadas)	<u>Litros de solución/mt.de profundidad pozo</u> (15,000 p.p.m)
6	18,24
8	32,39
10	50,63
12	72,97
16	129,57

d) Cementación de pozos.

En captaciones destinadas a servir de fuente de abastecimiento de agua potable y usos domésticos, se construye un sello sanitario en la parte superior de la tubería. Con este objeto se procede a cementar el espacio anular existente entre la pared de la perforación y cañería. Así se protegen los acuíferos contra los efectos de polución y contaminación originados por la infiltración de aguas superficiales, que pueden penetrar también por posibles grietas existentes en el terreno superficial y en el espacio anular ya señalado.

Se ha demostrado que estos efectos son mínimos a profundidades superiores a los 6 mts., y se limita, en general, la construcción del sello sanitario de concreto hasta esa profundidad.

La lechada debe ser preparada con cemento de fraguado rápido. Se suele agregar, a veces, 3% a 5% de bentonita para que la mezcla escurra mejor y reduzca la contracción resultante del endurecimiento del cemento. Cuando se usa solamente cemento mezclado con agua debe utilizarse una dosis de 4 a 5 lts de agua por cada 10 kgs. de cemento. Si se agregara bentonita a esta mezcla debe usarse 7 a 7,5 lts. de agua y 300 gramos a 500 gramos de bentonita por cada 10 kgs. de cemento.

4.- Control y supervigilancia de la obra de captación

El estudio de las diversas fases que corresponden a los aspectos de diseño y constructivo de un pozo de captación de aguas deja en evidencia que es una delicada estructura de ingeniería. Por lo tanto, es indispensable que se apliquen estrictos criterios de control y supervigilancia durante todo su desarrollo. Estos controles deberán adecuarse según la finalidad e importancia que desempeñe la captación como fuente de abastecimiento de un proyecto determinado.

En una obra de ingeniería, la mayoría de las veces, los costos y problemas que se generan por concepto de conservación durante su proceso de explotación, son función inversa de su calidad constructiva.

En consecuencia, cualquier esfuerzo que se haga en procura de ejecutar un proyecto más perfecto y una buena supervigilancia de la construcción, no será improductivo.

Estos planteamientos, hechos suyos por organismos y empresas que laboran en la actividad de aguas subterráneas, se han materializado prácticamente en la redacción de normas sobre proyecto y construcción de este tipo de obras, y sus correspondientes especificaciones técnicas y administrativas.

En otros países se establece además de estos aspectos de vigilancia y control, que ejerce naturalmente la parte contratante o dueño del pozo, la exigencia o "prueba de idoneidad", expresada en términos de conocimientos, experiencia y capacidad del contratista en faenas de perforación con fines de aprovechamiento del recurso agua subterráneas.

En Anexo se incluye, con fines ilustrativos, las normas sobre "Especificaciones Generales para pozos perforados" vigentes y preparadas por la Sección Fuentes de Aguas Subterráneas de SENDOS, el principal usuario contratante de este tipo de obras en nuestro país.

5.- Conservación económica y sanitaria de los pozos.

Existe consenso y ha pasado a ser un axioma que "la conservación más económica es la preventiva". En vista del elevado costo de un pozo de captación, como producto de ser una auténtica estructura construida con equipos y técnicas de ingeniería, no se deben escatimar recursos humanos y materiales en la aplicación de criterios y medidas racionales de conservación sistemática.

Los especialistas orientan su acción preventiva y de mantenimiento hacia cuatro aspectos fundamentales, que son el sanitario, hidráulico, mecánico y estructural.

En el primer aspecto, centran su preocupación de manera de evitar que se altere la buena condición sanitaria de la captación, manteniendo alejado de la fuente de agua al público o personal extraño y dejando sólo posibilidades de acceso directo al operador de la captación. Si por diversas razones fuera necesario realizar alguna reparación en el pozo deberá realizarse nuevamente un proceso de desinfección, ya descrito en capítulos anteriores.

En el campo hidráulico, procede controlar que no se produzcan disminuciones significativas del caudal de producción de agua del pozo. Si ello ocurriera, debe revisarse previamente el grupo de bombeo, y si este equipo demostrara estar en buenas condiciones, se analizará, cuanto antes, las actuales características y condiciones de operación del propio pozo.

Permanentemente se debe analizar la calidad del agua bombeada, que no debe arrastrar arenas ni sólidos en suspensión. Si sucediera, quedaría en evidencia que el proceso de desarrollo natural ha sido imperfecto, y procede ejecutar un "redesarrollo". En el caso que el pozo construido tuviese pared de grava, revelarían que el filtro de la estructura no opera en buenas condiciones.

De estos comentarios surge la conveniencia que el operador lleve un registro, en lo posible diario, donde se señala el caudal de agua aforado, calidad del agua bombeada y control de niveles estáticos y dinámico de la captación.

En el aspecto mecánico, debemos preocuparnos que durante el funcionamiento del equipo de bombeo se efectúe una adecuada y permanente lubricación, siempre que corresponda a una bomba turbina de eje vertical lubricada por aceite. En vista que muchos de estos equipos funcionan sobre 4.000 horas al año, se debería desmontar e inspeccionar y hacer una reparación menor, si fuera necesario, por lo menos una vez cada 2 años. Sabemos que, en general, este criterio no se aplica en Chile y numerosas bombas de pozo profundo han funcionado en forma ininterrumpida más de 5 años. Esta realidad comentada otorga tal confiabilidad a los usuarios, que se despreocupan de una planificada mantención. Refuerza esta posición el hecho comprobado que numerosos motores eléctricos verticales, con dispositivos contra sobrecargas y aumentos de temperaturas, y lubricados cuidadosamente, han llegado a tener vida útil que fluctúa entre 20 y 40 años, a igual que columnas y cabezales de bombas de eje.

En el caso de grupos de bombeos conectados directamente a impulsiones que descargan sus aguas en estanques de regulación lejanos y a gran altura, es indispensable revisar el buen estado de las correspondientes válvulas de retención y reductoras de presión, contra posibles golpes de ariete.

En la buena mantención de la estructura del pozo se debe cuidar y controlar los efectos que pueden provocar la existencia de sales, en el agua, y que producen corrosión eléctrica de la cañería de revestimiento del pozo y la bomba. Igualmente, los carbonatos presentes en el agua, tienden a depositarse en el filtro de grava y en las ranuras de la rejilla, disminuyendo la producción de agua en el pozo.

Una pared de grava construida defectuosamente puede ser también causa permanente para que el agua arrastre material propio del acuífero, con lo que pueden producirse derrumbes que llegan a aplastar la cañería de revestimiento del pozo y quede atrapada la bomba de explotación.

Terminaremos este párrafo agregando una recomendación obvia; en los pozos recién construidos, se debe vigilar constantemente que sea repuesta la gravilla que requiera el filtro natural o artificial del pozo.

A N E X O S

A N E X O S

=====

TEMA 1.- ANALISIS GRANULOMETRICOS

1.1. Cuadro Esquema de Clasificación de Terrenos

1.2. Hoja de Laboratorio de Análisis para Clasificación de terreno de un pozo.

1.3. Formulario para Curva de Análisis Granulométricos.

TEMA 2.- PARED DE GRAVA

TEMA 3.- VERTICALIDAD Y ALINEAMIENTO

TEMA 4.- PRUEBAS DE BOMBEO

4.1. Cartera para Prueba de Bombeo

4.2. Curvas de Aforo con Medidor de Orificio.

4.3. Curvas Representativas para Rendimientos de Pozos.

TEMA 5.- SONDAJES

5.1. Gráfico Informe de un Pozo Terminado.

5.2. Hoja de Registro de Pozos.

5.3. Hoja de Codificación para Registro de Pozos.

5.4. Especificaciones Generales para Pozo Perforados.

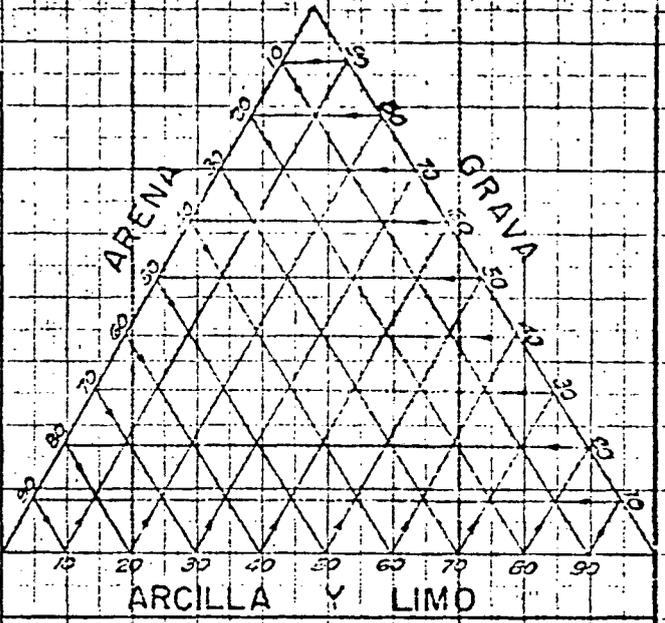
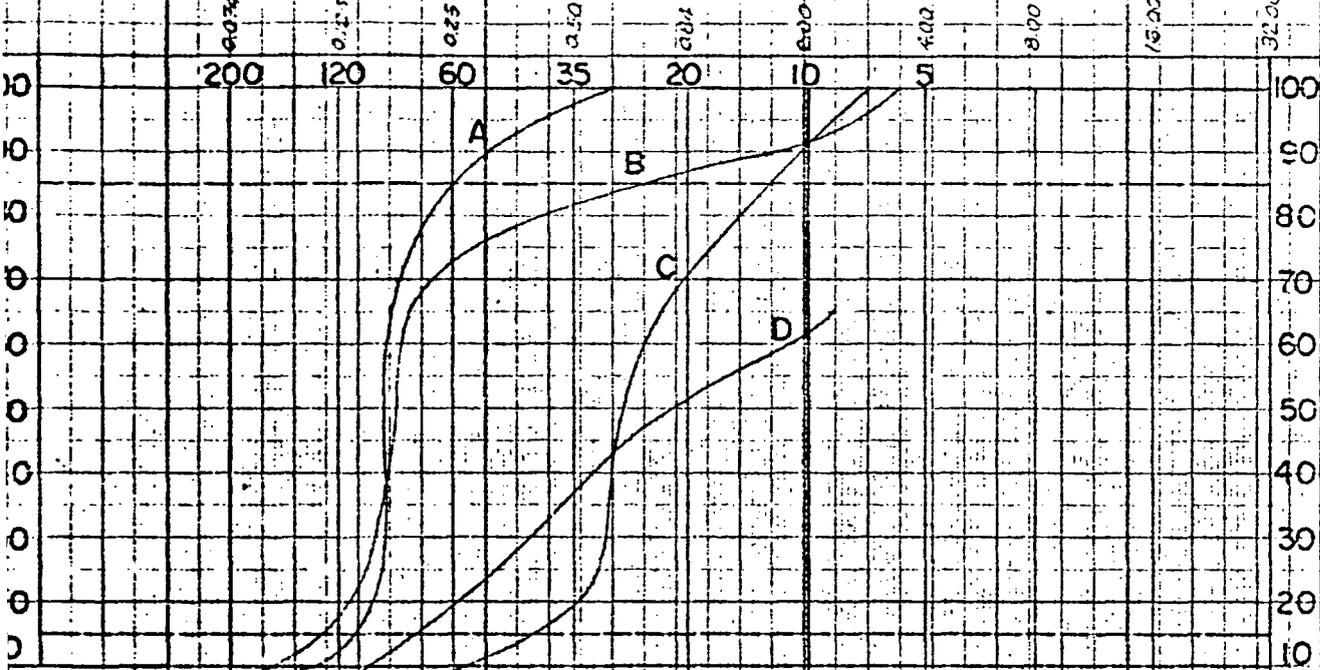
ESQUEMA DE CLASIFICACION DE TERRENOS

INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION

PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION PARA LAS FAENAS <i>Se excluyen las partículas mayores de 75mm. Los porcentajes estimados en peso</i>		SIMBOLO DEL GRUPO		NOMBRES TIPICOS PARA CADA GRUPO	INFORMACIONES PARA LA DESCRIPCION			
		LITERAL	GRAFICO					
TERRENOS DE GRANO GRUESO MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA 200 EL MENOR TAMAÑO PERCEPTIBLE A SIMPLE VISTA.	GRAVAS Mas de la mitad de los granos gruesos son mayores que la malla N° 4 En faenas el tamaño de la malla N° 4 es igual a 5 mm	GRAVAS LIMPIAS (Poco o nada de finos)	Gran variedad de tamaños con conveniente cantidad de los tamaños intermedios	G.B.		Gravas bien gradadas y mezclas de grava y arena bien gradadas con poco o nada de finos.	Dar el nombre típico; indicar porcentajes de grava y arena; tamaño máximo, forma aspecto de la superficie y fragilidad de los granos gruesos. Símbolo entre paréntesis. (Formación geológica.) Color. En muestras no perturbadas agregar informaciones sobre estratificación, grado de compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje. EJEMPLO: Arena limosa, grava dura, 20% aprox.; de forma angular; de 15 mm de tamaño máximo; arena redondeada y semiangular con granos gruesos a finos; limos no plásticos, aprox. 15% con baja resistencia en seco. (Bien compactada y húmeda en sitio, arena dual) (S.L.)	
		GRAVAS SUCIAS (Apreciable cantidad de finos)	Predomina un tamaño o dentro de una variedad de tamaños faltan algunos intermedios.	G.M.		Gravas mal gradadas; mezclas de grava y arena mal gradadas con poco o nada de finos.		
	ARENAS LIMPIAS (Poco o nada de finos)	Con finos no plásticos. (Para identificación ver L.J. abajo)	G.L.		Gravas limosas y mezclas limosas mal gradadas de grava y arena.			
		Con finos plásticos. (Para identificarlos ver A.J. abajo)	G.A.		Gravas arcillosas y mezclas arcillosas de grava y arena mal gradadas.			
	ARENAS SUCIAS (Apreciable cantidad de finos)	Gran variedad de tamaños con conveniente cantidad de los tamaños intermedios.	S.B.		Arenas bien gradadas y arenas con grava, poco o nada de finos.			
		Predomina un tamaño o dentro de una variedad de tamaños faltan algunos intermedios.	S.M.		Arenas mal gradadas y arenas con grava mal gradadas, con poco o nada de finos			
		Con finos no plásticos (Para identificarlos ver L.J.)	S.L.		Arenas limosas y mezclas limosas mal gradadas de arena y grava.			
		Con finos plásticos (Para identificarlos ver A.J.)	S.A.		Arenas arcillosas, mezclas arcillosas de arena y grava mal gradadas.			
	TERRENOS DE GRANO FINO MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR LA MALLA 200 EL TAMAÑO DE LA MALLA 200 ES APROXIMADAMENTE EL MENOR TAMAÑO PERCEPTIBLE A SIMPLE VISTA.	PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION EN LA PARTE MENOR DE 0.5 mm						
		LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	BAJA COMPRESIBILIDAD	DUREZA EN SECO	REACCION AL MOVIMIENTO VIBRATORIO	RESISTENCIA EN EL LIMITE PLASTICO		L.J.
NADA A BAJA				RAPIDA A LENTA	NADA	L.J.	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de rocas, arenas finas limosas o arcillosas de baja plasticidad.	
LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50		ALTA COMPRESIBILIDAD	NADA A BAJA	NADA A MUY LENTA	MEDIA	A.J.		Dar el nombre típico; indicar grado y carácter de plasticidad; cantidad y tamaño máximo de los granos gruesos, color en estado húmedo, olor; símbolo entre paréntesis. (Formación geológica.) En muestras no perturbadas agregar informaciones sobre estructura, estratificación, consistencia en estado no perturbada y remoldeada; humedad y drenaje. EJEMPLO: Limo arcilloso, café; baja plasticidad, pequeña cantidad de arena fina; numerosos hoyos verticales de raíces; duro y seco en sitio; loess) (L.J.)
			MEDIA A ALTA	MUY LENTA	MEDIA	A.J.	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media; arcillas con gravas, arena o limo y arcillas magras.	
LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50		ALTA COMPRESIBILIDAD	BAJA A MEDIA	LENTA	ALTA	O.J.		Dar el nombre típico; indicar grado y carácter de plasticidad; cantidad y tamaño máximo de los granos gruesos, color en estado húmedo, olor; símbolo entre paréntesis. (Formación geológica.) En muestras no perturbadas agregar informaciones sobre estructura, estratificación, consistencia en estado no perturbada y remoldeada; humedad y drenaje. EJEMPLO: Limo arcilloso, café; baja plasticidad, pequeña cantidad de arena fina; numerosos hoyos verticales de raíces; duro y seco en sitio; loess) (L.J.)
			BAJA A MEDIA	LENTA	ALTA	O.J.	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.	
LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50		ALTA COMPRESIBILIDAD	BAJA A MEDIA	LENTA A NADA	BAJA A MEDIA	L.T.		Dar el nombre típico; indicar grado y carácter de plasticidad; cantidad y tamaño máximo de los granos gruesos, color en estado húmedo, olor; símbolo entre paréntesis. (Formación geológica.) En muestras no perturbadas agregar informaciones sobre estructura, estratificación, consistencia en estado no perturbada y remoldeada; humedad y drenaje. EJEMPLO: Limo arcilloso, café; baja plasticidad, pequeña cantidad de arena fina; numerosos hoyos verticales de raíces; duro y seco en sitio; loess) (L.J.)
			ALTA A MUY ALTA	NADA	ALTA	A.T.	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	
LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50		ALTA COMPRESIBILIDAD	MEDIA A ALTA	NADA A MUY LENTA	BAJA A MEDIA	O.T.		Dar el nombre típico; indicar grado y carácter de plasticidad; cantidad y tamaño máximo de los granos gruesos, color en estado húmedo, olor; símbolo entre paréntesis. (Formación geológica.) En muestras no perturbadas agregar informaciones sobre estructura, estratificación, consistencia en estado no perturbada y remoldeada; humedad y drenaje. EJEMPLO: Limo arcilloso, café; baja plasticidad, pequeña cantidad de arena fina; numerosos hoyos verticales de raíces; duro y seco en sitio; loess) (L.J.)
	MEDIA A ALTA		MUY LENTA	BAJA A MEDIA	O.T.	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta.		
TERRENOS ALTAMENTE ORGANICOS		Se identifican por el color, el olor, aspecto esponjoso y frecuente textura fibrosa.		M.O.		Turbas y otros terrenos altamente orgánicos.		

GRANULOMETRIA

ARCILLA Y ARENA FINA ARENA MEDIA GRUESA GRAVA FINA MEDIA GRUESA



- A. Arena fina y uniforme. Pobre en agua se aprovecha mejor con tratamiento artificial con grava (T.A. c. grava)
- B. Arena fina y uniforme con pequeño % partículas gruesas. Es útil el T.A. c. grava
- C. Arena gruesa con pequeño % partículas finas. No es útil el T.A. c. grava
- D. Grava y arena gruesa. Excelente rendimiento no es necesario el T.A. c. grava

DESDE	HASTA	VELOCIDAD
		100
		100
		100
		100
		100
		100
		100
		100
		100
		100

Peso Ensayado: **A.P.** DE

SONDAJE POZO N° _____ Fecha _____

Color desde hasta ens. n° arch. n° 195

analizado por: _____

dibujado por: _____

N° B° _____

HOJA N° _____

Observaciones al resultado

A N E X O

Nota: Separata Selección del relleno de grava, preparado por los Ingenieros Emilio Custodio, José Antonio Fayas, Fernando Horta.

Texto: Hidrología subterránea

Directores de Edición: Emilio Custodio y Manuel Ramón Llamas
Tomo II - Pág. 1732 - Barcelona - 1976 (Ninguna parte puede ser reproducida).

4.3.3 Selección del relleno de grava

a) Distintos métodos

Antes de discutir los distintos métodos que pueden utilizarse para seleccionar el material del macizo de grava, habrá que definir los siguientes conceptos:

d_x : Tamaño de las partículas tal que el x por ciento es más pequeño, es decir, $100 - x$ representa el porcentaje retenido por la malla de abertura x.

Coefficiente de uniformidad: razón del tamaño d_{60} al tamaño d_{10} del material (ver apartado 2.4 de la sección 8). En el caso de que la curva granulométrica represente el tanto por ciento retenido, en vez del porcentaje que pasa, el coeficiente de uniformidad se define por la razón d_{40}/d_{90} . El coeficiente de uniformidad de las arenas uniformes es pequeño.

Tamaño efectivo: tamaño del tamiz que retiene 90 % de las arenas del acuífero, o que deja pasar el 10%. Los métodos aplicados más comúnmente son (Hunter Blair, 1968):

1) Empleo de fórmulas de drenaje

Según Terzaghi (1943), para construir sistemas filtrantes aplicados a estructuras hidráulicas:

$$\frac{d_{85} \text{ macizo}}{d_{85} \text{ acuífero}} < 4 < \frac{d_{15} \text{ macizo}}{d_{15} \text{ acuífero}}$$

con el mismo coeficiente de uniformidad (ver el capítulo 22.2), y según Fuchs debe ser:

$$12 \left\langle \frac{d_{15} \text{ macizo}}{d_{15} \text{ acuífero}} \right\rangle < 40$$

$$12 \left\langle \frac{d_{50} \text{ macizo}}{d_{50} \text{ acuífero}} \right\rangle$$

Estas fórmulas son suficientemente aceptables en la práctica cuando se trata de cálculos preliminares, ya que se han establecido para drenes y no para pozos.

Ejemplo: 1

Sean los tipos de material acuífero siguientes:

Material acuífero A (arena fina homogénea):

Número de malla	200	150	100	72	52
Tamaño de grano (mm.)	0,075	0,105	0,14	0,205	0,295
% en peso que pasa	16	31	67	83	93

Material acuífero B (arena heterogénea):

Número de malla	400	300	200	150	85	60	30	18
Tamaño de grano(mm)	0,037	0,052	0,075	0,105	0,18	0,25	0,5	0,85
% en peso que pasa	4	17	30	43	63	72	90	98

Valores característicos:

Tamaño (mm)	d95	d90	d85	d75	d60	d50	d30	d15	d10
Acuífero A	0,30	0,25	0,21	0,17	0,135	0,12	0,095	0,075	0,065
Acuífero B	0,65	0,5	0,4	0,25	0,15	0,12	0,75	0,05	0,042

Coeficiente de uniformidad (d60/d10):

Acuífero A: 2,1; Acuífero B: 3,6

Aplicando la fórmula de Terzaghi:

Macizo de grava para el acuífero A:

$$d_{85} < 0,21 \times 4 = 0,84 \text{ mm}$$

$$d_{15} > 0,075 \times 4 = 0,3 \text{ mm}$$

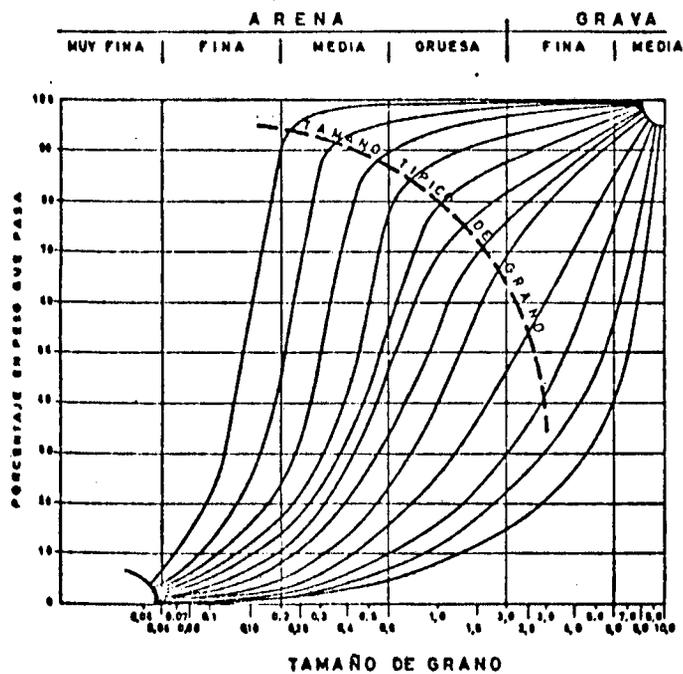
$$d_{60}/d_{15} = 2,1$$

Macizo de grava para el acuífero B:

$$d_{85} < 0,4 \times 4 = 1,6 \text{ mm}$$

$$d_{15} > 0,05 \times 4 = 0,2 \text{ mm}$$

$$d_{60}/d_{10} = 3,6$$



TAMAÑO DE GRANO

Figura 17.71

Curvas características de arenas acuíferas y línea de tamaño típico de los granos.

2) Método de Bieske (1962)

Para el material del acuífero se define un tamaño típico de los granos, d_t , que se obtiene representando en la figura 17.71 la curva granulométrica correspondiente y determinando su intersección con la curva de trazos.

El tamaño homogéneo de los granos del material del macizo a colocar se obtiene multiplicando el tamaño típico de los granos del material del acuífero por un factor de filtración, cuyo valor es igual al mayor incremento de tamaño de grano que aún evita que los del acuífero atraviesen el macizo.

Ejemplo 2

Para la arena A del ejemplo 1, en la figura 17,71 se obtiene: $d_t = 0,28$ mm, y para la arena B es $d_t = 0,5$ mm. Con un factor de filtrado de 4 se obtiene:

Macizo de grava para la arena A:

$$d = 0,28 \times 4 = 1,12 \text{ mm}$$

Macizo de grava para la arena B:

$$d = 0,5 \times 4 = 2,0 \text{ mm}$$

3) Método de Nold (Nold et al 1962)

Coeficiente de uniformidad del acuífero	Tamaño de grano homogéneo del macizo de grava
Entre 3 y 5	$(d_{90} \div d_{95}) \text{ acuífero} \times (4 \div 5)$
< 3	$(d_{75} \div d_{85}) \text{ acuífero} \times (4 \div 5)$

Ejemplo 3

Para la arena A del ejemplo 1:

$$d_{60}/d_{10} = 2,1 (< 3)$$

$$\text{macizo de grava de } d = (0,21 \div 0,17) \times (4 \div 5) =$$

$$= 1,05 \text{ a } 0,68 \text{ mm.}$$

Para la arena B del ejemplo 2:

$$d_{60} / d_{10} = 3,6 \text{ (entre 3 y 5)}$$

$$\text{macizo de grava de } d \approx (0,65 \div 0,5) \times (4 \div 5) =$$

$$= 3,25 \text{ a } 2,0 \text{ mm}$$

4) Método de Stow (1962)

Este método sugiere que la curva del macizo de grava debe de pasar por los puntos correspondientes a 5 veces el diámetro que representan los puntos d_{85} , d_{50} y d_{15} del acuífero. Además el tamaño d_{15} del relleno debe ser menor que 5 veces el d_{85} del acuífero.

Ejemplo 4

Para las arenas A y B del ejemplo 1 se tendría:

Tamaño de grano del macizo (mm)	d_{85}	d_{50}	d_{15}	d_{85} / d_{15}
Arena A	$0,21 \times 5 = 1,05$	$0,12 \times 5 = 0,6$	$0,075 \times 5 = 0,375$	2,8
Arena B	$0,4 \times 5 = 2,0$	$0,12 \times 5 = 0,6$	$0,05 \times 5 = 0,25$	8

El macizo de grava para la arena A está correctamente definida, pero para la B d_{85} / d_{15} es demasiado alto. Puede tomarse $d_{85} = 1,8$ y $d_{15} = 0,4$ mm.

5) Método de Kruse (1960)

Este método considera la relación M/A , que es el cociente entre los tamaños de grano para el macizo y el acuífero para el 50% de retención en peso. Los valores M/A que se deben escoger para estabilizar los acuíferos arenosos son:

Acuífero	Relleno de grava	Valor máximo de M/A
Uniforme	Uniforme	9,5
No uniforme	Uniforme	13,5
Uniforme	No uniforme	13,5
No uniforme	No uniforme	17,5

Los datos experimentales muestran que:

- a) Ocurre menos movimiento de las arenas del acuífero cuando se utilizan macizos no uniformes que cuando éstos son uniformes a igualdad de M/A .
- b) Para razones M/A bajas, el movimiento inicial de arenas aumenta con el coeficiente de uniformidad del acuífero.
- c) Si el cociente M/A es elevado, el movimiento de arenas es tanto menor cuanto más uniforme sea el acuífero.

Ejemplo 5

Para las arenas acuíferas del ejemplo 1:

Arena A: es uniforme con $d_{50} = 0,12$ mm. Tomar $M/A = 9,5$ si el relleno es uniforme ($d = 0,12 \times 9,5 = 1,14$ mm) y $M/A = 13,5$ para relleno no uniforme ($d_{50} = 0,12 \times 13,5 = 1,62$ mm).

Arena B: no es uniforme con $d_{50} = 0,12$ mm. Tomar $M/A = 13,5$ si el relleno es uniforme ($d = 0,12 \times 13,5 = 1,62$ mm) y $M/A = 17,5$ para relleno no uniforme ($d_{50} = 0,12 \times 17,5 = 2,1$ mm).

6) Método de Fuchs (1963)

Este método es aplicable preferentemente a acuíferos no uniformes. Las características granulométricas de la curva del macizo de grava se determinan de acuerdo con las siguientes relaciones:

- a) d_{50} del macizo = 4 . d_{85} del acuífero.
- b) d_{50} del macizo = $(10 \div 16)$ d_{50} del acuífero, según su coeficiente de uniformidad.

Ejemplo 6

Para las arenas acuíferas del ejemplo 1:

Arena A : es uniforme con $d_{85} = 0,21$ mm y $d_{50} = 0,12$ mm

$$0,21 \times 4 = 0,84$$

$$0,12 \times 16 = 1,92$$

Arena B: es uniforme con $d_{85} = 0,4$ mm y $d_{50} = 0,12$ mm

$$0,4 \times 4 = 1,6$$

$$0,12 \times 10 = 1,2$$

Tomar d_{50} del macizo = 1,2 mm.

7) Método de Johnson (1966)

Este método es el más apropiado cuando se utilizan rejillas de ranuras continua. Se elaboran las curvas granulométricas de cada estrato del acuífero. Se determina el estrato formado por el material más fino y la clasificación del relleno de grava se selecciona en base a la curva granulométrica de dicho estrato del modo siguiente: Se multiplica el tamaño correspondiente al 70% retenido (d_{30}) por un factor entre 4 y 9. Se emplea el valor 4 si el material de la formación es fino y uniforme, 6 cuando el material del acuífero es más grueso y no uniforme y se selecciona un factor entre 6 y 9 si la formación acuífera presenta granulometría muy poco uniforme y contiene limo. El resultado de esta multiplicación será el primer punto conocido en la curva que representa la clasificación del relleno de grava. Se coloca el resultado en el gráfico como el punto correspondiente al 70% de grava retenida (30 % que pasa). Por este punto se traza una curva suave con un coeficiente de uniformidad igual o menor a 2,5.

Después de trazar la curva representativa de la granulometría del relleno de grava por el método de tanteo anterior, se preparan las especificaciones para el material del macizo seleccionado primero cuatro o cinco valores de tamices que cubran la extensión de la curva y luego se especifica un intervalo admisible para cada tanto por ciento retenido en los tamices seleccionados. Este intervalo es del 8% por encima y por debajo del porcentaje retenido en cada uno de los puntos seleccionados de la curva. La última etapa es la selección de abertura de la rejilla de ranura continua. Se escoge ésta como el tamaño que retendrá el 90% o más del material del relleno de grava. Dicho macizo de grava debe tener un espesor entre 7,5 y 20 cm.

Ejemplo 7

Para la arena A del ejemplo 1 es $d_{30} = 0,095$ y es relativamente homogénea y fina. Se toma el factor 4. Para el relleno de grava $d_{30} = 0,095 \times 4 = 0,38$ mm. Dibujando una curva granulométrica con coeficiente de uniformidad de 2,5 se tiene:

Malla	Tamaño (mm)	% retenido	% retenido a utilizar
60	0,23	3	2,5 a 3,5
52	0,295	12	11 a 13
36	0,41	40	37 a 43
30	0,5	58	53 a 63
25	0,6	78	72 a 85

La abertura de rejilla más indicada es de 0,33 mm.

Para la arena B del ejemplo 1 es $d_{30} = 0,075$ y es poco homogénea con fracciones finas. Se toma el factor 7. Para el relleno de grava, $d_{30} = 0,075 \times 7 = 0,385$ mm. Se pueden utilizar las mismas especificaciones para la grava y la misma rejilla que para la arena A.

ANEXO

Nota: Separata y extracto del texto: " El agua subterránea y los pozos " - Johnson Division UOP Incl. - 1975."

Verticalidad y Alineamiento

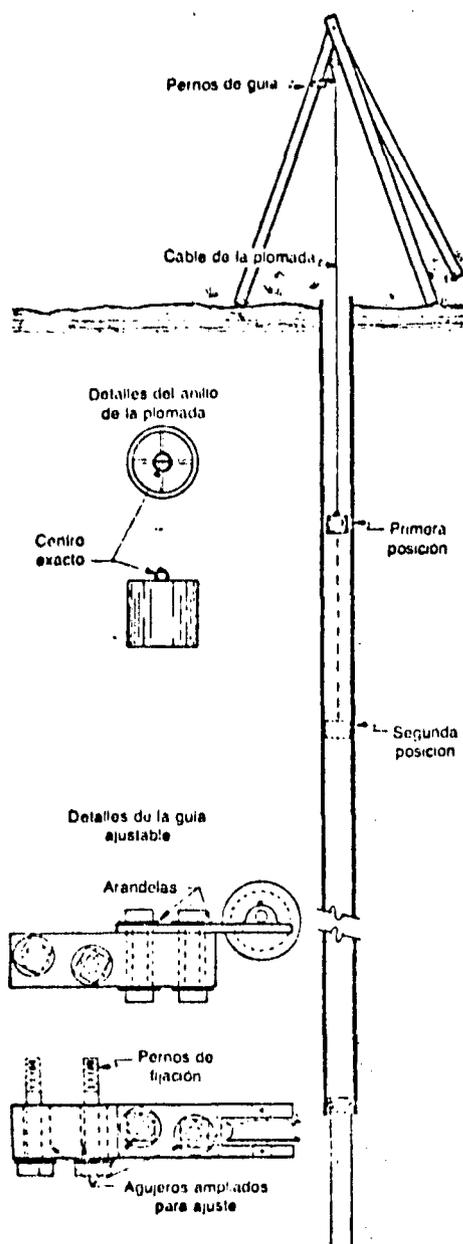


Fig. 206: Disposición característica para verificar la verticalidad y el alineamiento de un pozo.

Los dispositivos esenciales para verificar la rectitud y verticalidad de un pozo se muestran en la Fig. 206. La plomada está constituida por un cilindro corto cuyo diámetro exterior es de alrededor de 6.5 mm. menor que el diámetro del agujero. Se halla provisto de un gancho con el cual puede suspenderse de un cable. El punto de suspensión debe coincidir con el centro exacto del dispositivo. El peso de la plomada debe ser suficiente para poner tenso el cable. Un cable de alambre de 3.2 mm. de diámetro constituye un buen tirante que no se dobla fácilmente.

El cable puede suspenderse de la torre de una máquina de perforar, o de un trípode con un malacate, tal como se muestra. Aparte del tipo de estructura soportante, deberá proveerse una guía ajustable, de modo que el peso de la plomada quede suspendido exactamente en el centro del extremo superior del ademe.

La guía ajustable se coloca de manera que la distancia vertical desde el centro de la pequeña polea o rondana al extremo superior del tubo de ademe sea exactamente de 3,0 m. En seguida, la guía ajustable se desplaza horizontalmente de modo que la plomada pase por el centro del tubo de ademe.

Se da comienzo al ensayo desarrollando un poco de cable hasta que la plomada descienda unos 3 metros. Si el cable de la plomada se desplaza hacia afuera del centro del pozo en cualquier dirección, se mide entonces esta desviación. Se hace descender el peso de la plomada otros 3 m. y el nuevo desplazamiento del cable, estando la plomada en esta segunda posición, se mide también. El procedimiento se repita una y otra vez, hasta que el pozo haya sido verificado en toda la profundidad que se desee.

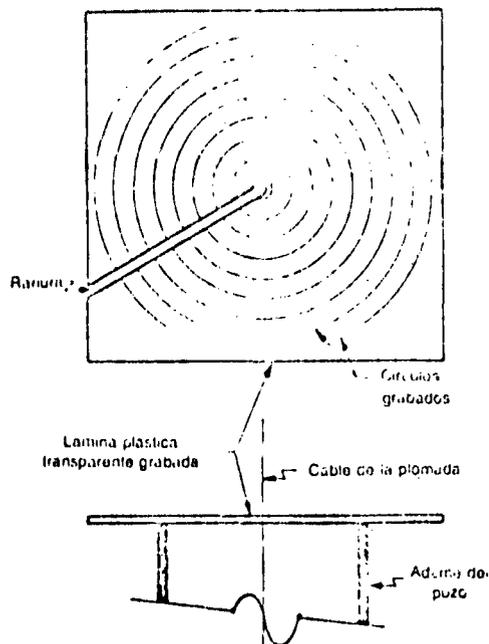


Fig. 207: Una lámina plástica con círculos impresos colocada en el extremo superior del ademe, sirve para medir la desviación de la plomada desde el centro.

sobre la boca del ademe hasta que la ranura quede orientada en la dirección en que se ha desplazado el cable desde el centro. Se pueden medir luego las desviaciones a lo largo de la ranura, conforme el ensayo prosigue.

En tanto la línea de plomada pase por el centro del extremo superior del ademe, el pozo se halla a plomo hasta la profundidad a la cual se ha suspendido el peso. Cualquier desviación del pozo causará que la plomada se desvíe.

La desviación a cualquier profundidad viene a ser la magnitud del desplazamiento medido, multiplicada por la longitud total del cable, y dividida por la distancia fija o constante que media entre la polea y el borde superior del ademe.

Supóngase por ejemplo, que el cable se halla suspendido a 3 m. por encima del extremo superior del ademe, y que cuando la plomada se hace descender 3 m. dentro del pozo, el cable se desplaza 6,4 mm. del centro. La desviación del ademe, en este caso, será de: $6.4 \times 6/3 = 12.8$ mm. Cuando el peso se hace descender otros 3 m., se halla por lo tanto a 3 veces la distancia entre la polea y la boca del ademe. En consecuencia, la desviación a 6 m. de profundidad, será de 3 veces la cantidad medida desde el centro del ademe al cable.

A una profundidad de 30 m., el peso se encontrará a 33 m. por debajo del punto de suspensión y el factor de multiplicación será esta vez de 11. Supongamos que el cable se halla a 2.5 cm. del centro del ademe; en este caso, la desviación del pozo de la vertical es de 27.5 cm. a la profundidad de 30 m.

Algunas veces el desplazamiento del cable se mide hasta el borde del ademe. Esto únicamente se puede hacer si el ademe es perfectamente cilíndrico.

Si el tubo de ademe no es perfectamente cilíndrico, se puede utilizar un dispositivo como el que se muestra en la Fig. 207, para medir los desplazamientos del cable. Consiste de una lámina plástica transparente sobre la cual se han trazado varios círculos concéntricos. El centro exacto de los círculos se marca, y se corta una ranura que se extiende desde el centro hasta el borde de la lámina. Los círculos concéntricos permiten centrar exactamente la lámina plástica en el borde superior del ademe.

El dispositivo se usa primero para determinar si el cable coincide con el centro de ademe, estando la plomada suspendida justamente por debajo del extremo superior de la tubería. Conforme la plomada desciende, la lámina plástica se puede hacer girar

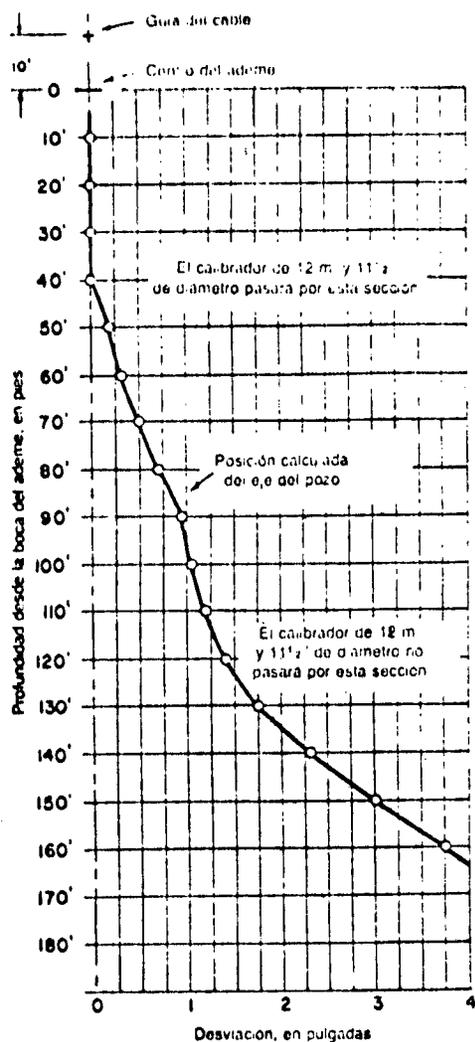


Fig. 209: Gráfico que muestra la traza del eje central de un pozo torcido y que se encuentra fuera de plomo.

Intervalo corresponde a la longitud del calibrador de 12 m. Se mide luego la máxima desviación del gráfico a ángulo recto con la línea, usando para ello la misma escala que fue utilizada para plotear la desviación del pozo. Si esta desviación resulta ser inferior a 6.4 mm., el calibrador pasará libremente; si es mayor, entonces no pasará por debajo de los 18 m. de profundidad.

Si cualquier desviación medida en el gráfico de alineamiento es mayor que la mitad de la diferencia que existe entre los diámetros del ademe y del calibrador, éste último se acuñará dentro del pozo si se le permite descender.

Si el incremento de desviación es constante para cada aumento de 3 m. en el descenso de la plomada, ello significa que el pozo se halla recto entre estos puntos, pero no está a plomo. Si una sección está torcida, los diferentes valores de desviación para incrementos sucesivos de 3 m. ponen lo anterior en evidencia.

Los valores calculados de desviación pueden plotearse contra valores de la profundidad, obteniéndose así un gráfico que indique la posición del eje o línea de centro, de un agujero para pozo.

La Fig. 209 muestra este tipo de gráfico en el caso de un pozo que se halle fuera de plomo y que está torcido. El gráfico indica que el edeme se encuentra recto y vertical hasta una profundidad de 12 m. La deflexión que se manifiesta al nivel de los 12 m. forma lo que los perforadores denominan "pata de perro". Desde este punto hasta una profundidad de 35 m. el tubo de ademe está recto pero no vertical. Por debajo de los 35 m., el ademe se curva gradualmente hacia la derecha y en esta sección ya no se halla ni recto ni vertical.

El gráfico de la Fig. 209 puede utilizarse para determinar si un calibrador de 12 m. de longitud y con un diámetro de 12,7 mm. menor que el diámetro interior del pozo, podría pasar por los puntos de desalineación. Para verificar las condiciones, precisamente en el punto de la "pata de perro", se dibuja una línea recta desde los 6 m. hasta los 18 m. de profundidad. Este

CORPORACION DE FOMENTO
DE LA PRODUCCION
DEPARTAMENTO RECURSOS HIDRAULICOS
SECCION AGUAS SUBTERRANEAS

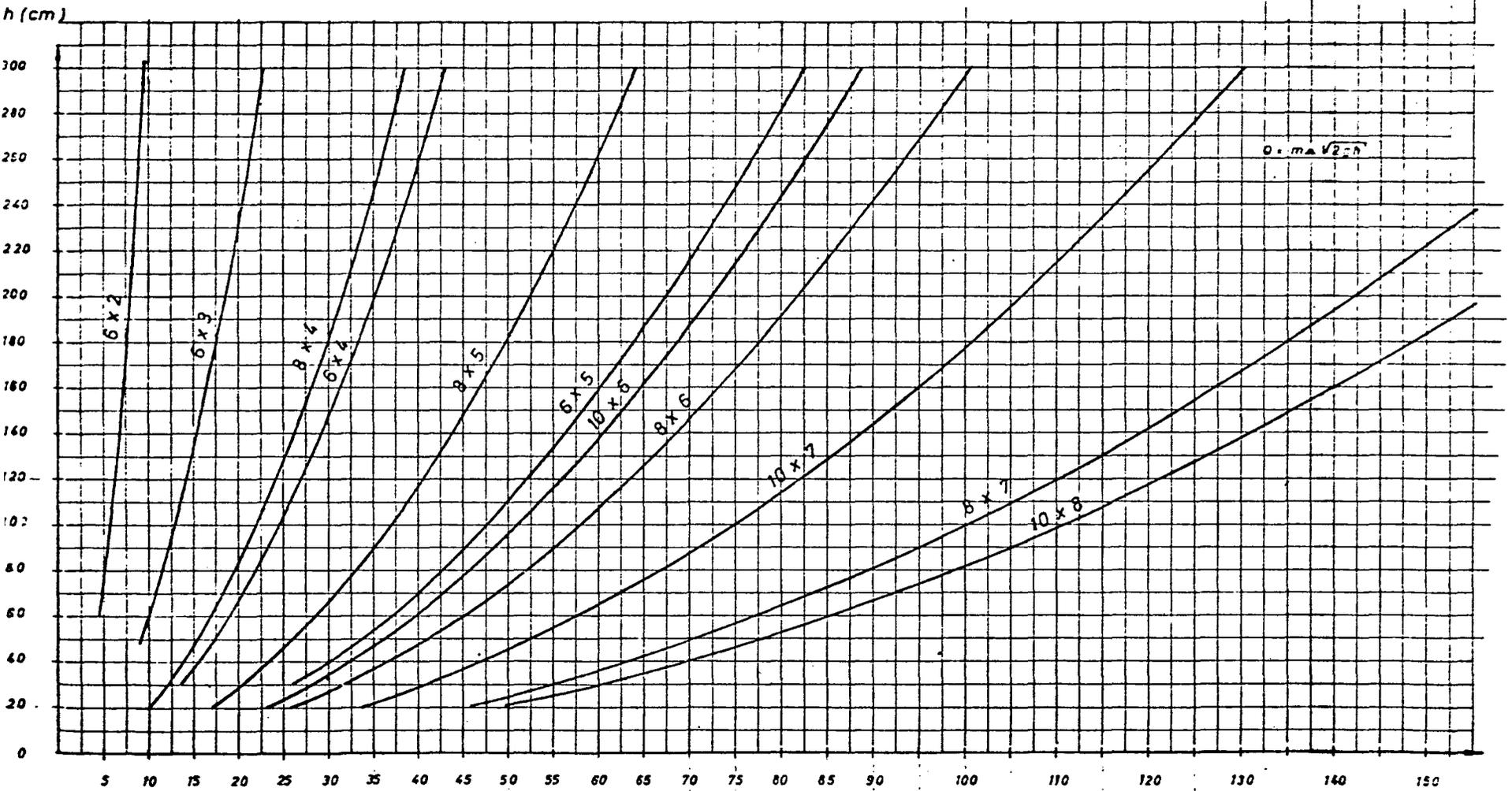
POZO:

PRUEBA DE BOMBEO N.º

<p>FECHA</p> <p>POZO N.º</p> <p>UBICACION</p> <p>PROPIETARIO</p> <p>ESTUDIO</p>	<p style="text-align: center;">CROQUIS DE HABILITACION</p> <p>INDICAR PROFUNDIDADES Y DIAMETROS DE LA ENTUBACION Y PERFORACION; DE LAS CRIBAS O RANURADOS; PUNTO DE REFERENCIA DE LAS MEDIDAS; UBICACION DE LAS NAPAS; ETC.</p>																						
<p style="text-align: center;"><u>CARACTERISTICAS DE LA PRUEBA</u></p> <p>NIVEL ESTATICO INICIAL</p> <p>PROFUNDIDAD DE LA BOMBA</p> <p>PROFUNDIDAD DE LA LINEA DE AIRE</p> <p>FORMA DE DESARROLLO</p> <p>ULTIMO EMBANQUE</p> <p>INSTRUMENTO DE AFORO</p> <p>DURACION DE LA PRUEBA</p> <p>OBSERVACIONES:</p> <p>.....</p> <p>.....</p>																							
<p style="text-align: center;"><u>RESULTADOS DE LA PRUEBA</u></p> <p>TRASMISIBILIDAD:</p> <p>GASTO ESPECIFICO:</p> <p>CAUDAL MAXIMO PARA MINUTOS</p> <p>DE BOMBEO CONTINUO:</p> <p>CAUDAL DE EXPLOTACION:</p> <p>RECOMENDADO:</p> <p>NIVEL DE BOMBEO PARA</p> <p>EL CAUDAL ANTERIOR:</p> <p>PUNTOS DE LA CURVA</p> <p>DE AGOTAMIENTO:</p> <table border="1" data-bbox="738 1695 956 1971"> <thead> <tr> <th>Q</th> <th>H</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Q	H																					
Q	H																						

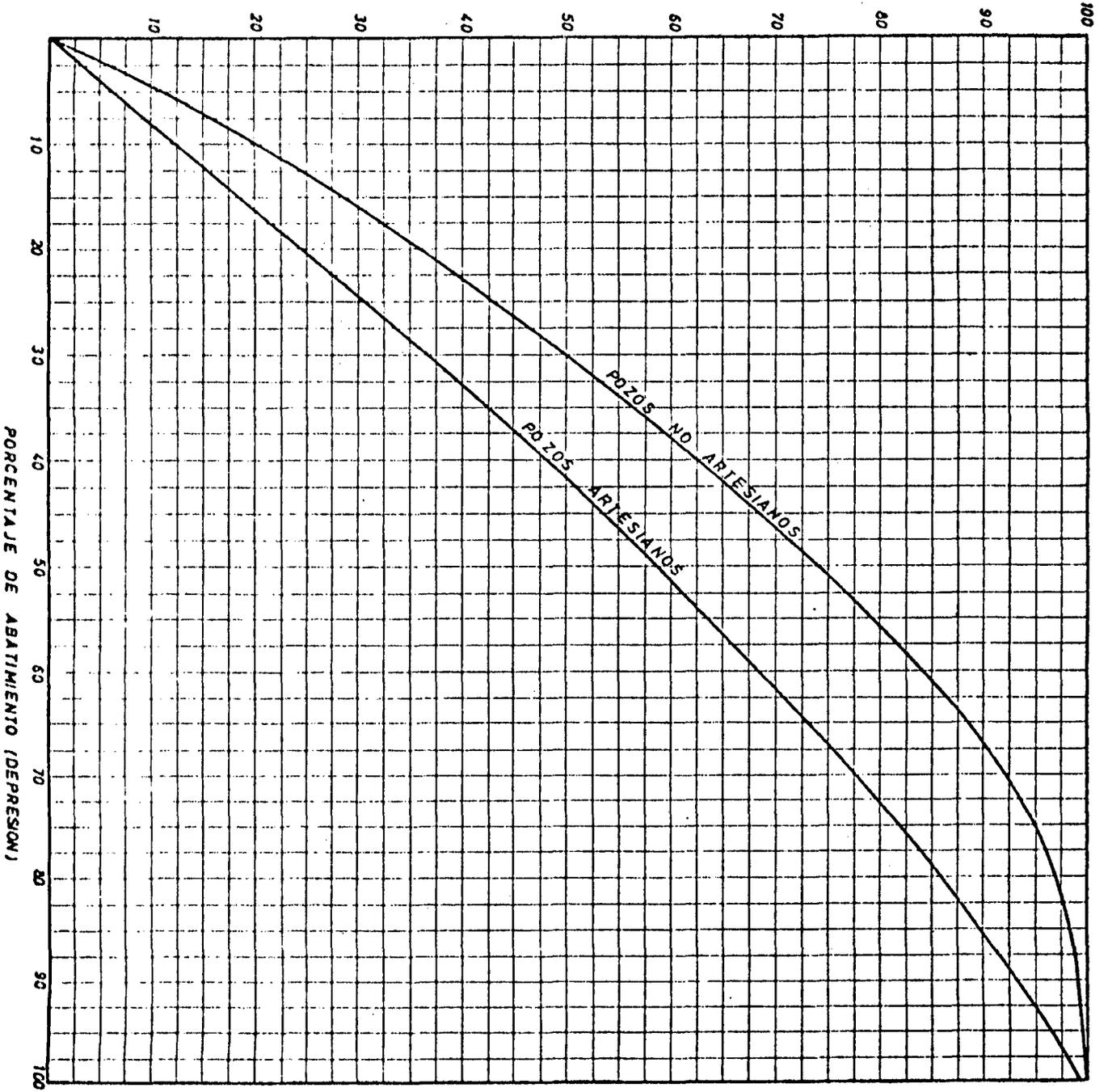
CURVAS DE AFORO CON MEDIDOR DE ORIFICIO

— Sección Aguas Subterráneas



Boquillas de Aforo calculadas por el LABORATORIO DE HIDRAULICA de la ESC. DE INGENIERIA U-CM Q (Lts/seg) JCL

PORCENTAJE DE PRODUCCION RELATIVA (GASTO)



CURVAS REPRESENTATIVAS PA
RENDIMIENTOS DE POZOS.

21



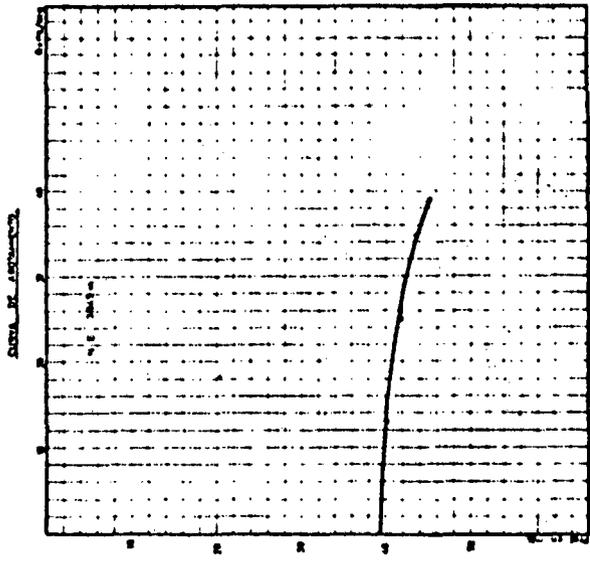
Selección y Sewart, S.A. de C.V.
 Instalación de pozos
 Construcción de obras hidráulicas
 Instalación de bombas y motores
 Instalación de sistemas de riego
 Instalación de sistemas de drenaje

UBICACION Y CROMOLOGIA

PROYECTO: CONDUITO
 DESTINADO A: FULAN
 COMUNA: MEXICALCO
 CANTON: A. P. MEXICALCO
 UBICACION: PECUÑA
 NOTA: NO CLAS
 MONETARIO: D.O.S.

POZO C-2 Nº 109

UBICACION DE LOS EQUIPOS	ENTUBAMIENTO	TIPO	DIAGRAMA DE LA MANERA DE LOS TRABAJOS	CARACTERISTICAS DE BOMBAS
<p>PROFUNDIDADES: 11.000 ESCALAS: 1:1000 1 cm = 10 m</p>	<p>PROFUNDIDAD: 11.000 TIPO: 11.000 MATERIAL: 11.000</p>	<p>TIPO: 11.000 MATERIAL: 11.000</p>	<p>PROFUNDIDADES: 11.000 ESCALAS: 1:1000 1 cm = 10 m</p>	<p>NIVEL ESTANCO: 20.45 EQUIPO DE BOMBEO: CELSIO FECHA: 9-1-71 DURACION: 1200 hrs GASTO MAXIMO: 200 m³/seg a 100 4575 m GASTO ESTACION: 200 m³/seg a 100 4575 m DEPRESION CONECT DE GASTO 0.72 m/seg/m</p>
OBSERVACIONES				



REGISTRO DE POZOS

Coordenadas
Fotografía N°

UBICACION:

PROVINCIA DEPTO..... COMUNA
HOYA HIDROGRAFICA PRINCIPAL TRIBUTARIA
NOMBRE DEL PREDIO
PROPIETARIO DIRECCION

CARACTERISTICAS Y HABILITACION:

CONSTRUCTOR NUMERO FECHA
TIPO DE POZO: PERFORADO EXCAVADO
ANTEPOZO: DIAMETRO PROF..... REVESTIMIENTO
PROF. DE LA PERFORACION METODO

DIAMETRO DE LA PERF.						
DESDE						
HASTA						

PROF. HABILITADA CAÑERIA TIPO

DIAMETRO CAÑERIA						
DESDE						
HASTA						

RANURADO CRIBA ABERTURAmm % DE HUECO

DESDE	HASTA	DESDE	HASTA	DESDE	HASTA	DESDE	HASTA

TAMAÑO MEDIO.

PARED DE GRAVA DESDE HASTA COEF. S.....

PRUEBA DE BOMBEO:

FECHA DURACION..... HRS. N.E. INICIAL Mts
PUNTO DE MEDIDA
CAUDAL MAXIMO DE PRUEBA 1/s DEPRESION Mts
A LASHRS. DE BOMBEO. GASTO ESPECIFICO 1/s/m.
TRANSMISIBILIDAD mt3/día/mt. ALMACENAMIENTO
TIPO DE PRUEBA PERMEABILIDAD.....
CAUDAL MAXIMO ESTIMADO 1/s DEPRESION Mts

NIVELACION PUNTO DE MEDIDA:

FECHA	CDTA	UBICACION

CARACTERISTICAS DE EXPLOTACION:

USO DEL POZO: DOMESTICO REGADIO OTROS
 AGUA POTABLE ESTUDIO SIN USO
 INDUSTRIAL OBSERVACION ABANDONADO

EQUIPO DE BOMBEO:

BOMBA TIPO MARCA
 CURVA RPM BOMBA N° ETAPAS
 RELACION CABEZAL POLEA
 MOTOR MARCA TIPO
 POTENCIA HP A RPM
 CAUDAL DE EXPLOTACION l/s METODO DE AFORO
 DESPUES DE HRS. DE BOMBEO
 FECHA DE AFORO

ANALISIS QUIMICO:

	mg/l	me/l	%
SiO ₂			
Fe			
CATIONES	Ca		
	Mg		
	Na		
	K		
ANIONES	CO ₃		
	HCO ₃		
	SO ₄		
	Cl		
	NO ₃		
	S		
	F		

LABORATORIO
 NUMERO FECHA
 TSD (ppm) a 103° mg/l
 SUMA mg/l
 COLOR
 pH a C°
 SOLIDOS EN SUSPENSION
 DUREZA CARB mg/l
 DUREZA TOTAL mg/l
 DUREZA NO CARB mg/l
 % DE Na SAR
 Ra (uuc/l)
 BETA-GAMA uuc/l
 U (10⁻⁶ gr/l)
 CONduc.

ERROR CATIONES - ANIONES
 CATIONES + ANIONES .

SUMAS: CATIONES ANIONES



Atenció y Zañartu, S. de C. V.
 INGENIEROS CIVILES
 especialistas en aguas subterráneas

HOJA DE CODIFICACION PARA REGISTRO DE POZOS CZ.

INSTRUCCIONES DE PERFORACION	CARACTER									PASINA	DE
	DEBE SER PERFORADO									CONDICIONADO	

NUMERO CZ	UBICACION	PUEBLO o COMUNA	PROV.	PROPIETARIO	AÑO	PROFUNDIDAD	DIAMETROS	NIVEL	PRUEBA	ASOCIACION	U O
						PERF. (m.)	HAS. (m.)	PULSADAS	ESTATICO	GASTO	INDICADO
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											
63											
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79											
80											
81											
82											
83											
84											
85											
86											
87											
88											
89											
90											
91											
92											
93											
94											
95											
96											
97											
98											
99											
100											

ESPECIFICACIONES GENERALES PARA POZOS PERFORADOS.

Las presentes Especificaciones estipulan las condiciones de construcción y prueba de los pozos perforados que construye el Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENOS).

Las obras deben ejecutarse de acuerdo a estas Especificaciones, a las Características Especiales de Pozos con su plano de diseño estimado y a los reglamentos e instrucciones que impartió el Departamento de Estudios (D.E.)

Debe cumplirse, además, lo dispuesto en las Normas NCH: 348 Of.53; 349 Of.55; 401 Of.70; 409 Of.70 y 777 Of.71.

Estas Especificaciones contemplan la necesidad de que el D.E. pueda contar oportunamente con los datos de terreno que le permitan pronunciarse sobre problemas de perforación; sistema captante; forma de acondicionamiento y de prueba más conveniente para los pozos; llevar un control gráfico del desarrollo de las faenas, para tener una visión detallada y de conjunto de las obras que se estén construyendo; elección adecuada de los equipos de bombeo; estimación aproximada del comportamiento futuro de la captación, y ejecución de nuevos pozos o mejoramiento de las captaciones existentes.

Debe considerarse que, aún cuando informaciones generales hayan permitido establecer aproximadamente las condiciones del pozo, serán las observaciones y medidas que se hagan durante su ejecución, las que fijarán las características definitivas de la obra.

El Contratista deberá mantener todos los equipos y elementos necesarios en perfectas condiciones de trabajo.- En caso que durante algunas de las faenas el equipo fuera considerado inadecuado por el D.E., a juzgar por los resultados obtenidos, el Contratista será notificado por escrito, debiendo paralizar la obra sin cargo para el SENOS y en el lapso de 10 días reemplazar el equipo insatisfactorio, por otro que complazca ampliamente al D.E.-

Hay que tener presente que el atraso en la entrega de cualquier antecedente de terreno será motivo para que el D.E. paralice la obra, con cargo al Contratista, por todo el tiempo que dure dicho atraso.

En todas las obras de construcción de pozos perforados se considerarán los siguientes ítem :

1.- Instalación y levante de faenas.-

Se considera en este ítem, la preparación, transporte e instalación de toda la maquinaria, equipo y herramientas, que sean necesarios para la realización de la faena.- Se incluye la ejecución de los caminos, puentes o refuerzos de puentes que pudieran necesitarse para facilitar el acceso; los cierres necesarios para la seguridad de la faena; las bodegas, campamentos y toda edificación o montaje auxiliar que se requiera para el desarrollo de la obra. Se considera la limpieza y preparación del terreno que fuere necesario para hacer

el campamento e instalar las faenas.- Se incluyen trasladados dentro de la obra de máquina perforadora con sus herramientas y accesorios; levantamiento posterior de las faenas; limpieza del terreno; transporte del material sobrante y en fin todas las partidas que digan relación con la instalación y levante posterior de las faenas.- Se considera que los cercos, puentes y traviesos, que sea necesario ejecutar, quedarán de propiedad del SENDOS.

El Servicio Nacional de Obras Sanitarias, por intermedio del Departamento de Estudios y la Inspección Fiscal, hará entrega al Contratista, o a un representante de él, debidamente autorizado por el SENDOS, del sitio en que se ejecutarán los trabajos y de la autorización para ocuparlo, en caso que no se encuentre expropiado.- Hará entrega también del trazado de los pozos en el terreno, así como también la ubicación del P.R. que servirá de cota cero para las medidas de control técnico.- Este P.R. estará a distancia suficiente de las faenas, como para no ser dañado ni movido durante la ejecución de las obras.- El Contratista, basándose en este P.R. ejecutará los P.R. de trabajo que usará para realizar las medidas.- Se levantará un Acta que será suscrita por el Contratista o su representante, por la Inspección Fiscal y por el Departamento de Estudios.

Se entenderá que las servidumbres o expropiaciones necesarias para posibilitar el acceso y ocupar el terreno serán de cargo fiscal.- Se entenderá asimismo que los perjuicios que puedan causarse a terceros con motivo de la ejecución de los trabajos, con excepción de aquellos que resulten de ordenes explícitas de la Inspección Fiscal, serán de responsabilidad del Contratista.

2.- Perforación.-

En este ítem se contemplan todas las operaciones necesarias para la perforación de pozos profundos que deberán quedar revestidos definitivamente con cañería de acero de las dimensiones indicadas en Características Especiales de Pozos.- La profundidad estimada de cada pozo se da en el anexo antes citado, hondura que podrá ser variada según instrucciones del D.E.- No se aceptarán disminuciones de diámetros hasta la profundidad especificada, después de la cual, si las condiciones del terreno así lo recomiendan y el D.E. lo autoriza por escrito, podrá procederse a la disminución respectiva.- En caso de construirse antepozos, éstos deberán cumplir con las características del plano tipo D.E. N° 1.-

Todas las entubaciones definitivas deberán quedar verticales y alineadas.- Ninguna tubería en cuyo interior haya de colocarse una bomba, deberá desviarse de la vertical más de 7,5 cm. cada 30 mts. para tubos de hasta 2" de diámetro nominal; más de 10 cm. para diámetros entre 8" y 12" (D.H.), ni más de 15 cm. para diámetros mayores de 12".- Toda tubería hasta de 20" (D.H.) deberá quedar alineada en forma de permitir el paso sin obstrucción ni roce de un tubo del diámetro nominal inferior provisto al menos de 3 anillos, 2 en los extremos y uno en el centro, de una longitud no menor de 12 mts.- Los tubos mayores de 20" (D.H.) deberán permitir el paso de un artefacto de no menos de 12 mts. que lleve en

sus extremos y en el centro 3 anillos de un diámetro exterior, inferior en 1/2" al diámetro interior de la entubación. Los anillos deberán tener una longitud no menor de 30 cm. Si la perforación no permite este trabajo, el Contratista debe ensancharlo o modificarlo a sus expensas, de modo que el tubo y la pared de grava puedan ser debidamente colocados.- En caso de no poder hacerlo, no se cancelará este trabajo y el Contratista será instado a abandonarlo y, de su cargo, a rellenarlo con una mezcla de arcilla, desde el fondo del pozo, hasta la superficie del terreno, a fin de precaverse de infiltraciones de agua en la superficie, o de otros despojos caídos dentro de la perforación y, de acuerdo con estas Especificaciones, perforar un nuevo pozo, en el lugar cercano designado por el D.E.

Se considera la toma de muestras de tierra, con el objeto de conocer las características del terreno atravesado por la perforación.- Debe tomarse una muestra por cada metro de terreno atravesado, desde la superficie del terreno hasta la profundidad total del pozo.- Las muestras se obtendrán del terreno virgen y no del derrumbado y por los medios que permitan que presenten lo más fielmente posible al terreno natural.- Si se usa el método rotatorio de perforación y se pierde la circulación en alguna profundidad, el Contratista proveerá de un método eficiente para obtener las muestras.-

De cada muestra deben tomarse dos partes; una de ellas de no menos de 1 Kg. debe quedar en la obra hasta el fin de la faena y la otra debe ser analizada granulométricamente por el Contratista, enviando al D.E. por lo menos una vez a la semana estos análisis graficados.- Además el D.E. estará autorizado para que en cualquier circunstancia que estime conveniente, recoja o haga sacar muestras para analizarlas en su laboratorio.- También, al término de faena y en los casos en que le sea solicitado, el Contratista deberá enviar al D.E. el total de las muestras de terreno atravesado.

Incluye también el llevar al día los cuadros de control de sondaje y remitirlos semanalmente al D.E.

Se incluye también una prueba de cucharco por cada napá atravesada, en los casos que el D.E. lo estime conveniente.- Se considera además, suministro, transporte, uso y manipulación de cañerías de perforación; faenas de rescate de herramientas, etc.

Durante la perforación no podrá introducirse en el pozo que se está perforando ningún material extraño que pueda comprometer la productividad o las características sanitarias del mismo.

Para este ítem el SEEDOS no suministrará cañerías ni elementos, los que se supondrán serán de propiedad del Contratista.- Del mismo modo, el SEEDOS no adquiere compromisos de arriendo o préstamos de máquina perforadora o herramientas.- La Cañería de perforación quedará de propiedad del Contratista, y en casos de imposibilidad de rescatarla, el Contratista deberá construir un nuevo sondaje de su cargo, siempre que el accidente anterior afecte la productividad del pozo.

El precio del metro perforado no sólo incluye la perforación propiamente tal, sino que también los controles de son daje; muestras de tierra y sus análisis; pruebas de cucharco, y el envío oportuno de todos estos antecedentes al D.E.

3.- Sistema captante.- Este ítem contempla los siguientes puntos:

a) Proposición del sistema captante y del desarrollo del pozo.

Conforme a los antecedentes obtenidos durante la perforación, el Contratista propondrá al D.E., el o los diámetros de entubación definitiva, en el caso en que se haya sobrepasa do la profundidad especificada; además deberá proponer la ubi cación y características de las rejillas así como la natura leza y granulometría de la pared de grava o las característi cas del relleno estabilizador.- Estas proposiciones deberán venir acompañadas de los formularios respectivos, ubicación de los acuíferos y diseño del sistema captante. Asimismo, el Contratista propondrá el sistema de acondicionamiento o desa rrollo que a su juicio necesitaría el pozo, como también la u bicación y características del sello sanitario, ya sea para evitar filtraciones o aislar napas contaminadas.

El D.E. dispondrá de un plazo de tres días, hábiles, contados desde la entrega de la proposición, para pronunciar se sobre ella.- En caso de no hacerlo se entenderá que se dan por aprobadas las proposiciones del Contratista.

b) Entubación definitiva.-

Se considera suministro, transporte y colocación de ca ñerías de entubación definitiva de las dimensiones indicadas en Características Especiales de Pozos.- Cumplirán con las normas del D.E. y no podrán hincarse en el terreno.-

La parte superior de la cañería de entubación se termi nará con una tapa formada por un trozo de 20 cm. de cañería de acero de un diámetro mayor que la de entubación, a la cual irá soldada una tapa circular de acero de $e = 6$ mm.- La tapa se fijará a la cañería mediante un pasador que llevará un to pe en un extremo y una perforación en el otro, con el fin de permitir la colocación de un candado tipo Yale con dos llaves que se entregarán en el momento de la Recepción.- En su parte inferior llevará un tramo ciego a modo de trampa de arena, en caso que se use tubo ranurado.

c) Rejilla.-

Una vez aprobada o rectificada la proposición respecti va por el D.E., se procederá a colocar la rejilla correspon diente.- Se considera suministro, transporte y colocación si se trata de tubo ranurado y transporte y colocación si se tra ta de criba, siendo en este caso el suministro materia de es pecificaciones especiales.

d) Pared de grava seleccionada y relleno estabilizador.-

El Contratista suministrará todos los materiales y mano de obra para la confección de la pared de grava o del relleno estabilizador, de acuerdo a las normas fijadas por el D.E.

e) Desarrollo y desinfección.-

Esta partida contempla la ejecución y el suministro de todos los elementos necesarios para desarrollar el pozo en la forma más conveniente, incluso el empleo de detergentes.- Se rechazará todo sondeo que al final de las pruebas de agotamiento quede produciendo arena en una cantidad superior a 2 ppm.

Se incluye también la desinfección del pozo por medio de hipoclorito de sodio o calcio. Para la dosificación del hipoclorito se tendrá en cuenta que cada litro de solución al 1% es suficiente para desinfectar alrededor de 400 litros de agua.- La desinfección debe ser hecha en forma tal, que garantice un residual de 50 ppm. de cloro libre en el agua, durante un período mínimo de 24 horas.- La aplicación del compuesto químico debe hacerse 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 iniciará la prueba de agotamiento.

f) Sello sanitario.-

Se incluyen todos los materiales, elementos y ejecución de este trabajo, conforme a la proporción del Contratista, aprobada o rectificada por el D.E.

4.- Pruebas de Bombeo.-

El Contratista deberá avisar oportunamente al D.E. y a la Inspección Fiscal, sobre la realización de las pruebas para que se constituya la inspección de las mismas.

En este ítem se contemplan los siguientes puntos:

a) Grupo de prueba.-

Suministro, transporte, instalación y desmontaje posterior del grupo moto-bomba de prueba para un gasto y una altura total de elevación indicados en Características Especiales de Pozos.- Se incluyen los elementos de propiedad del Contratista que sirvan para medir el o los niveles de agua y los caudales bombeados.- Además el Contratista proveerá todos los elementos necesarios para conducir el agua lejos de los pozos de bombeo y de observación.

b) Prueba de gasto variable.-

La prueba tendrá como mínimo 4 puntos estabilizados orientados y dos decrecientes, los que se dispondrán de acuerdo a las características de caudal que vaya dando el pozo.- Se harán observaciones de niveles en función del tiempo conforme a la siguiente escala de tiempos: 0-5-10-15-30-45-y 60 minutos, y después cada 30 minutos hasta que el nivel deprimido se estabilice y el agua salga cristalina, no excediendo de 12 horas por etapa.- En caso de existir pozos que puedan servir como pozos de observación, se medirán en éstos los niveles al principio y al final de cada etapa.- En esta prueba no se tomarán valores de recuperación.

Se considera incluido en este punto la obtención de una muestra de agua de por lo menos 5 lit., que sea representativa de la fuente, y su envío posterior al Laboratorio Central del SENBOS para su análisis químico-físico.- Asimismo el Contratista solicitará al SENBOS la toma de la muestra para análisis bacteriológico.

c) Prueba de gasto constante.-

En el caso de existir en la zona de perforación de pozos, posibles causas de perturbación de una prueba de gasto constante, como ser pozos de explotación, se deberá avisar oportunamente al D.E., quien podrá ordenar la no ejecución de este tipo de prueba o bien indicará los factores correctivos para los datos que se obtengan.

Previo al desarrollo de la prueba se llevará, durante 24 horas, un registro de niveles de pozos, para ver la tendencia de niveles de la napa.

Esta prueba se hará con un caudal igual al 80% aproximadamente del máximo caudal aforado en la prueba de gasto variable.- Se harán observaciones de niveles en función del tiempo, tanto en el pozo bombeado como en los pozos de observación, si los hubiese, tanto para el bombeo como para la recuperación, conforme a la siguiente escala de tiempos, como norma general: 0- 1- 2- 3- 4- 6- 8- 10- 15- 20- 30- 40- 50- 60- 75- 90- 105- 120- 150 y 180 minutos y después cada 30 minutos, hasta completar la prueba.

d) Informe.-

Los datos obtenidos tanto en la prueba de gasto variable como de gasto constante, serán analizados en función del tiempo, y se hará un informe en el cual se consignarán los resultados que se deduzcan de la aplicación de la teoría más adecuada, según el tipo de acuífero.

Se deberán indicar los Coeficientes de Transmisibilidad y Almacenamiento más probables, así como la curva de agotamiento para bombeo consecutivo de 1- 3 y 10 años, además de la realmente aforada.

Se deberá estudiar, además, la posible interferencia de los pozos, la recesión de la napa, las posibles fuentes de recarga y la eficiencia de los pozos si es posible determinarla.

Se completará el informe con la entrega de los formularios tipo para las dos clases de prueba acompañados de todos los datos, carteras de agotamiento, gráficos, etc., que han sido necesarios para su elaboración.

5.- Interrupción de faenas.-

Si a juicio del Departamento de Estudios es necesario interrumpir las faenas para preparar nuevas instrucciones, la orden de parar será dada por escrito y se computarán 8 horas de paralización por cada día hábil.- Se pagarán las horas efectivamente paralizadas.

6.- Plano de Construcción e informe final.-

Al término de las obras el Contratista hará entrega al Departamento de Estudios del plano de construcción correspondiente.- Además emitirá un informe final con los comentarios y observaciones que le merece su trabajo.-