

## **TP N°7**

### **Sistemas de captación y de bombeo. Criterios de selección de bombas centrifugas. Calculo de la Potencia necesaria por sistemas de bombeo.**

#### **Equipo docente:**

Ing. Agr. Leopoldo J. Génova (Dr. M. Sc.), Profesor Titular Ordinario

Ing. Agr. Ricardo Andreau, Profesor Adjunto Ordinario

Ing. Agr. Marta Etcheverry (M. Sc.) Jefe de Trabajos Prácticos Ordinario

Ing. Agr. Pablo Etchevers, Jefe de Trabajos Prácticos

Ing. Agr. Walter Chale, Ayudante Diplomado

Ing. Agr. Luciano Calvo Ayudante Diplomado

Ing. Agr. Facundo Ramos Artuso, Ayudante Diplomado

## Contenido

CAPTACION DE AGUA SUBTERRANEA.....	3
ETAPAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA.....	4
1 EXPLORACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	4
Métodos para la exploración de agua subterránea.....	4
2 ACCESO AL AGUA SUBTERRÁNEA.....	6
a) PERFORACION.....	6
b) ENTUBACIÓN.....	8
c) CEMENTACIÓN.....	10
d) COLOCACIÓN DE FILTRO Y PORTAFILTRO.....	11
e) ENGRAVADO.....	12
f) LIMPIEZA Y DESARROLLO DE LA PERFORACIÓN.....	13
g) EVALUACIÓN DE PERFORACIONES (prueba o ensayo de perforaciones).....	14
EQUIPOS BOMBEADORES.....	17
1 Clasificación de los distintos tipos de equipos de bombeo:.....	18
2 Síntesis:.....	21
3 Características generales:.....	23
4- Curvas características.....	24
5- Ejemplos.....	27
6- Elección de una bomba.....	30
7- Selección de la instalación de potencia.....	30
8 Costo del bombeo.....	31
EJERCITACIÓN.....	31

## CAPTACION DE AGUA SUBTERRANEA

“...Entre un 50 y más de un 90 % del agua dulce disponible para el hombre y sus actividades se encuentra en la tierra como agua subterránea.” Ing. N. Bellino

Dentro de un perfil geológico, a diferentes profundidades, se encuentran materiales de la corteza terrestre de distinta porosidad.

Estos poros pueden encontrarse parcial o totalmente saturados de agua.

De acuerdo a lo expresado podemos distinguir:

- Zona de aireación: Los poros están solo parcialmente llenos de agua (relación dinámica entre agua y aire)
- Zona de saturación: Los poros están completamente llenos de agua.
- Estrato confinante, hidroapoyo o impermeable: Estrato de muy baja conductividad que puede ser límite inferior y/o superior de las zonas de saturación.

Se denominan acuíferos a las formaciones o estratos que corresponden a zonas de saturación (con todos los poros llenos de agua), de las cuales se pueden obtener agua con fines utilitarios.

Esto implica que sus poros deben ser suficientemente grandes como para permitir que el agua se desplace hacia la fuente de extracción, con un caudal apreciable (elevada conductividad hidráulica).

Los mejores acuíferos están formados por estratos de grava, arena, arenisca o caliza.

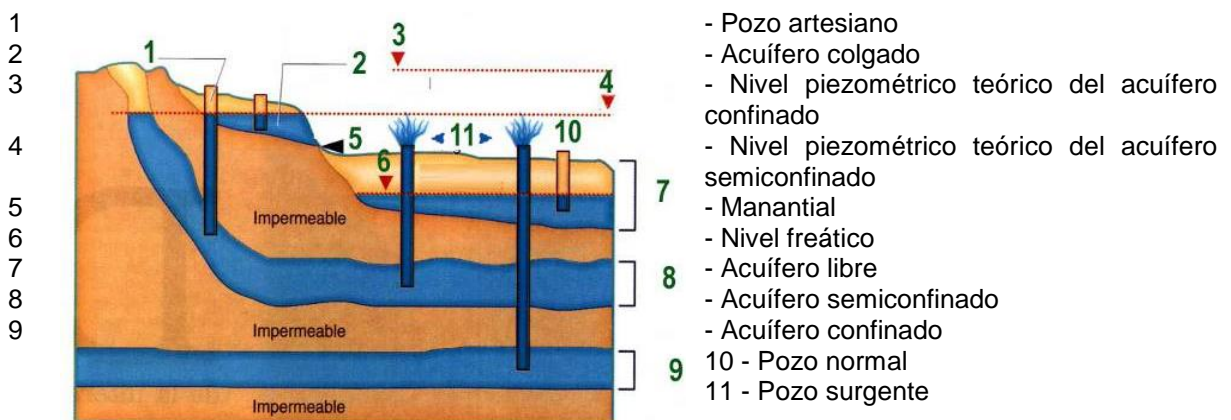
Dentro de la zona de saturación (incluyendo por lo tanto los acuíferos) podemos distinguir dos situaciones:

- Zonas de saturación a presión atmosférica: (Freática, agua subterránea libre) cuyo límite inferior es un estrato de conductividad hidráulica muy reducida (hidroapoyo o impermeable) y cuyo límite superior se denomina superficie freática. Entendiéndose por tal al plano superior de la napa freática que se encuentra sometido a la presión atmosférica. No es una superficie estacionaria sino que fluctúa debido a precipitaciones, riegos, sequías, etc.
- Zonas de saturación a presión: Normalmente son acuíferos que yacen entre dos estratos de conductividad reducida (acuíferos confinados o artesianos). Debido a la presencia del estrato confinante superior (techo del acuífero) y a la posición del área de recarga, el agua del acuífero se encuentra a una presión superior a la presión atmosférica. Por eso cuando se perfora a través del estrato confinante superior y se penetra dentro del acuífero artesiano, el agua asciende por dentro de la perforación hasta alcanzar un nivel de equilibrio con la presión atmosférica.

El nivel final que alcanza el agua dentro de la perforación es función de la presión a la que está sometida el agua dentro del acuífero: Nivel piezométrico. Este nivel define una superficie piezométrica que es el plano imaginario representante de la presión existente dentro del acuífero artesiano, sería el área de equilibrio con la presión atmosférica.

La presión hidrostática del acuífero artesiano puede ser suficiente para que el agua, dentro de una perforación, se eleve y emerja por sobre la superficie del terreno (pozo surgente). En este caso el nivel piezométrico se halla por encima de la superficie del terreno.

De acá en más vamos a referirnos exclusivamente a la exploración de acuíferos profundos y el acceso a los mismos para su posterior explotación.



## ETAPAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA

### 1 EXPLORACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Antes de comenzar las tareas de perforación es necesario contar con la mayor certeza posible en relación a la existencia y abundancia de agua en el subsuelo ya que las operaciones de perforación tienen un costo muy elevado. A continuación se detallan algunos de los métodos más utilizados con este fin.

#### Métodos para la exploración de agua subterránea

a) Mapas geológicos: observando los mapas geológicos de una región junto con otra información como las precipitaciones, la topografía, la permeabilidad de los diferentes estratos y los puntos de acumulación y salida de agua superficial, pueden definirse los estratos susceptibles de contener agua y posibles volúmenes. Ejemplos típicos son los cordones medanosos situados en zonas con estratos subsuperficiales impermeables, los médanos por su elevada permeabilidad absorben la mayoría del agua precipitada y la pueden acumular subsuperficialmente. Otro ejemplo típico son los paleocauces, es decir cauces de ríos por donde ya no corre agua pero que suele mantener un flujo de agua subsuperficial de fácil captación.

b) Relevamiento de perforaciones existentes en el lugar: Si en el área existen perforaciones, es un punto de partida fundamental que puede reemplazar otros métodos de exploración. Debe obtenerse toda la información posible: Localización, profundidad total, profundidad al nivel estático, caudales, estratos atravesados, pruebas de bombeo, calidad de agua, etc.

c) Perforaciones exploratorias: Son perforaciones de diámetro pequeño y cuyo objetivo es obtener muestras sucesivas que revelen el carácter, profundidad y espesor de los distintos estratos del perfil geológico.

Además se puede determinar profundidad al nivel estático del agua y se pueden tomar muestras del agua de los acuíferos potenciales para su análisis posterior.

Si se realizan cerca de perforaciones de bombeo pueden utilizarse para caracterizar el cono de depresión que se genera con el bombeo.

d) Prospección geofísica: Conjunto de técnicas que se basan en la medición de diferentes propiedades físicas del subsuelo que indirectamente proporcionan información sobre las características del mismo, de estos datos se puede deducir existencia de posibles acuíferos. Se diferencian en operaciones de superficie y de sondeo.

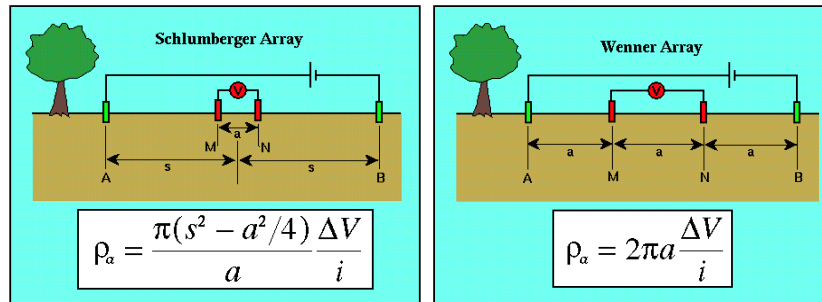
d-1) Operaciones de superficie: Son mediciones que se realizan desde la superficie del terreno empleando distintos métodos:

- a) Magnéticos
- b) Gravimétricos
- c) Radioactivos
- d) Geoeléctricos
- e) Sísmicos

Los métodos más difundidos actualmente, debido a su seguridad y practicidad son los d) y e) que se explicaran a continuación:

d-1-d) Método geoeléctrico: La propiedad física que utiliza es la resistividad eléctrica o resistencia específica de los diferentes estratos. Este método aprovecha que la resistividad de los componentes minerales del suelo es elevada y que esta resistividad se reduce cuando la matriz contiene poros, si estos poros contienen agua la resistividad se reduce aún más, y si esta agua contiene electrolitos disueltos más aun, es por esto que el método permite estimar la porosidad del sustrato, además del contenido de agua y salinidad del mismo. Hay que considerar que la resistividad varía con la temperatura del suelo.

Las mediciones de resistividad se efectúan utilizando cuatro electrodos colocados en el terreno, con un espaciamiento específico a lo largo de una línea recta.



La resistividad aparente del terreno se determina cuando se hace circular una corriente por el terreno entre los dos electrodos exteriores (electrodos de corriente) y se mide la caída de voltaje entre dos electrodos interiores (electrodos de potencial).

La penetración de la corriente va a depender de la resistividad de los distintos estratos y de la separación entre electrodos, cuanto mayor sea la separación entre los electrodos de corriente y de potencial mayor será la penetración de la corriente en el terreno.

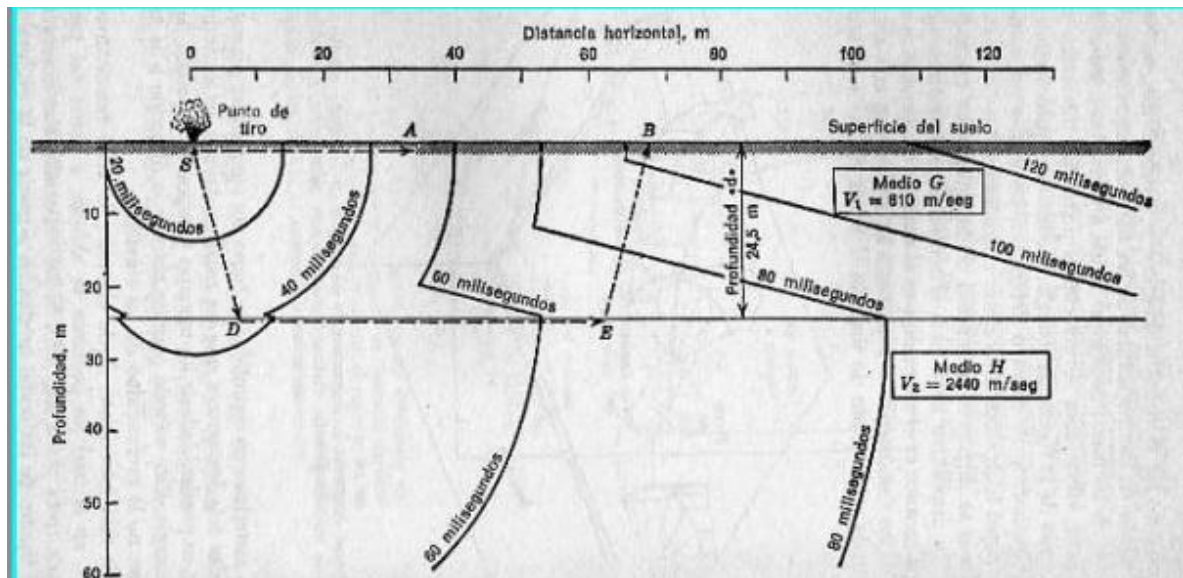
d-1-e) **Método sísmico:** Este método se utiliza donde no es factible utilizar el método geoelectrico, por ejemplo en zonas de difícil acceso, áreas con presencia de conductos enterrados como tuberías, cables, etc.

El principio de este método se basa en las diferentes velocidades de propagación de la onda sísmica a través de los materiales geológicos tales como arena, arcilla, roca dura, etc.

Las ondas sísmicas o de choque son producidas mediante golpes con arietes o cargas explosivas que se colocan en un hoyo poco profundo.

Se emplea un sismógrafo ubicado a una distancia conocida del punto de generación de las ondas para registrar el tiempo de llegada de la onda de choque o sísmica.

El uso más frecuente del método sísmico es para determinar la profundidad del basamento de una determinada formación geológica homogénea.



d-2) **Operaciones de sondeo:** Se realizan dentro de perforaciones de reconocimiento.

La operación geofísica de sondeo más común es el perfilaje geoelectrico.

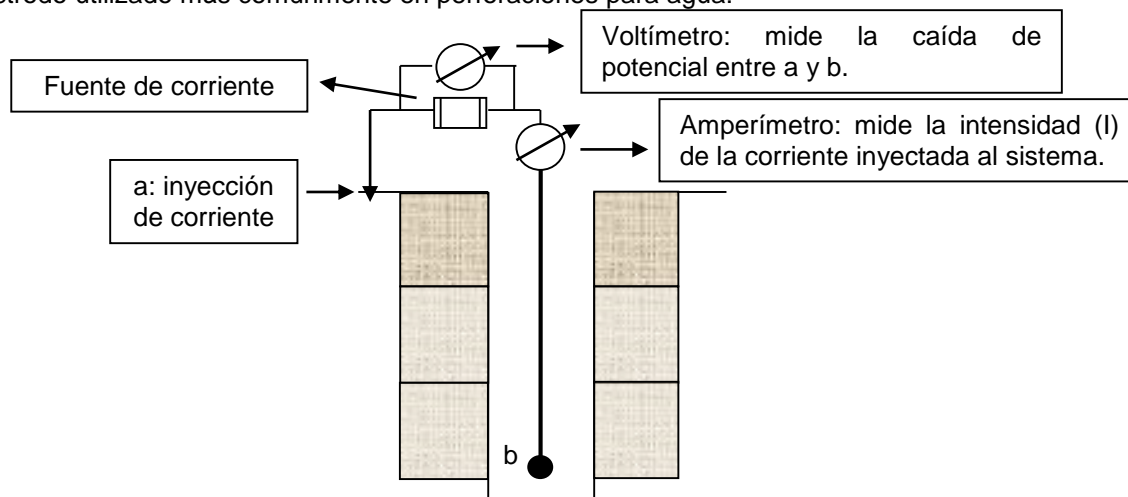
Se utiliza para verificar y complementar los datos del perfil que se obtiene en la perforación de reconocimiento durante la cual se extraen testigos de los diferentes estratos para analizarlos en laboratorio.

Un perfil geoelectrico consiste en un registro de las resistividades aparentes de las formaciones subsuperficiales en función de la profundidad desde la superficie del terreno.

Esta propiedad se relaciona indirectamente con el carácter de las formaciones bajo la superficie y del contenido salino de las aguas.

Las mediciones solo pueden realizarse en perforaciones no revestidas y que tengan lodo. Deben ser interpretadas por personal especializado.

Electrodo utilizado más comúnmente en perforaciones para agua:



Electrodo de un solo contacto de Johnson ob. Cit.

## 2 ACCESO AL AGUA SUBTERRÁNEA

### a) PERFORACION

a-1) Percusión: Este método se puede usar en cualquier formación. La perforación se realiza mediante el movimiento alternativo (bajada y subida) de una pesada masa: trepano, que en su caída va fracturando o disgregando los materiales. Estos son posteriormente extraídos por medio de una válvula o cuchara de limpieza, la sucesión de rupturas-extracciones se realiza tantas veces como sea necesario para alcanzar la profundidad deseada.

La forma y el peso del trepano son variables: el peso puede variar de 100 a 1200 Kg. Según el diámetro de la perforación. La forma varía de acuerdo a las distintas formaciones geológicas a atravesar.

Simultáneamente con el avance de la perforación se van realizando las tareas de limpieza (cuchareo), para extraer el material disgregado y entubación provisoria para evitar desmoronamientos de las paredes de la perforación.

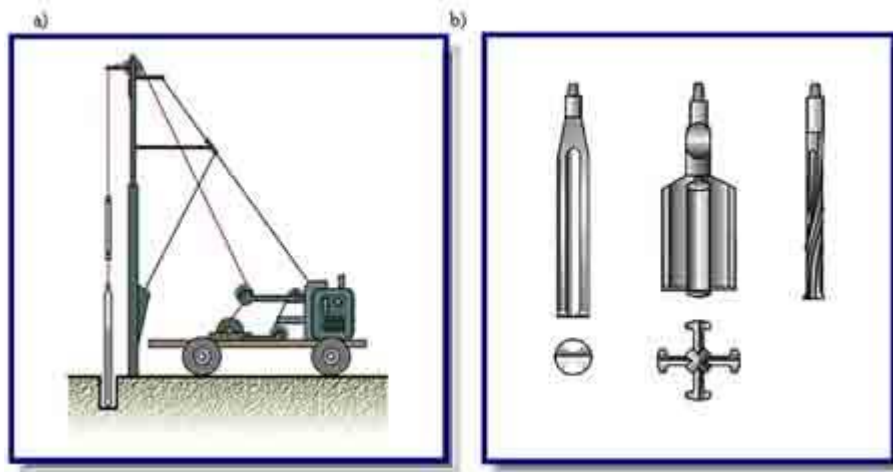
En caso de formaciones no consolidadas (donde se producen desprendimientos de las paredes), es preciso que la cañería provisoria siga muy de cerca el avance del trepano.

Ventajas y desventajas del método:

Ventajas: Es un procedimiento sencillo que permite localizar fácilmente los horizontes del acuífero (techo y piso).

Permite tomar muestras representativas y fácil identificación de las profundidades a que se encuentran.

Desventajas: Mayor costo debido al lento avance de aproximadamente 6 m por día.



- a) Equipo motorizado de perforación a percusión.
- b) Detalle de diferentes trépanos de rotura.

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/02/perforacion-de-pozos-por-percucion.html>

a-2) Rotación: Es un método más moderno que percusión, comenzó a utilizarse en 1860. Adquirió gran auge, paralelamente al desarrollo de la industria petrolera.

Consiste en realizar la perforación mediante la acción rotativa de un trepao o barreno y remover los fragmentos que se producen con un fluido (lodo) que se hace circular continuamente a medida que el trepao penetra en el terreno.

El trepao se fija en la parte inferior de la barra de perforación que gira por acción de una mesa giratoria.

Si se perfora con un equipo portátil montado en un camión, esta mesa está en la parte posterior del mismo y toma movimiento de un grupo motorizado colocado para ese efecto.

El vástago giratorio o barra cuadrada constituye la sección situada en el extremo superior de toda la columna de tubería de perforación.

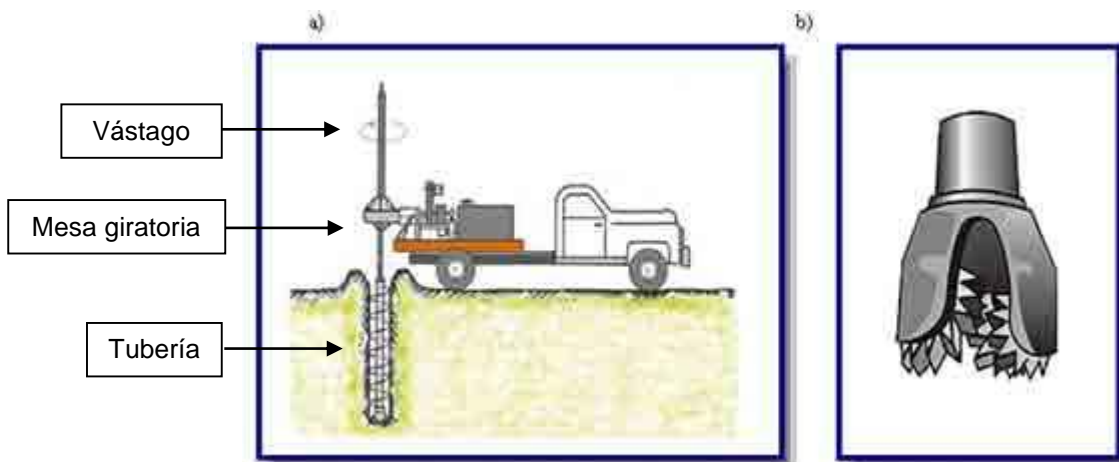
El vástago pasa por la abertura de la mesa giratoria, a la cual se fija.

Mientras todo el conjunto (vástago, tubería, trepao) gira, el vástago se desliza hacia abajo entre cojinetes de guía para seguir el descenso del trepao, conforme la perforación se hace más profunda.

A medida que se hace necesario, se acoplan tramos de tubería entre el extremo inferior del vástago y el extremo superior de la tubería de perforación. Para esto en el extremo inferior del vástago existe un acople especial.

Los dos elementos claves en el método de perforación por rotación son el trepao y el fluido (lodo). Ambos resultan indispensables para perforar y mantener el agujero.

Todos los componentes que forman la máquina de perforación por rotación se diseñan para realizar simultáneamente estas dos funciones: operación del trepao y circulación del fluido de perforación.



- a) Camión con sistema de perforación por rotación montado.
- b) Detalle del trepao.

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/02/perforacion-de-pozos-por-rotacion.html>

Trepano ò barreno para sistema de rotación: son la punta de la “mecha” que lleva adelante la perforación, los más comunes son:

A- Trepano de rodillos móviles dentados: Usados para perforar rocas por rotación. Ejerce una acción cortante y de trituración logrando cortar las formaciones duras con efectividad.

Existen trépanos con distinto número y forma de rodillos, adaptándose a las distintas funciones y dureza de la roca.

B- Trepano de arrastre: Existen varios tipos que se caracterizan por tener aletas cortas, cada una de las cuales tiene un filo cortante. Son usados para perforar arcillas y arena. No funcionan bien en gravas gruesas ò en formaciones rocosas.

Este tipo de trepano es el más usado en perforaciones para agua en la región pampeana.

Fluidos o lodos de perforación:

En la perforación a rotación, juega un papel importante el lodo de perforación que es un fluido que cumple con los siguientes objetivos:

- a) Extraer el detritus ò material disgregado durante la perforación.
- b) Refrigerar la herramienta de corte.
- c) sostener las paredes de la perforación.
- d) Lubricar los cojinetes del trepano, la bomba de lodos y la tubería de perforación.
- e) Sellar las paredes del pozo para reducir al mínimo las pérdidas de circulación.

El fluido utilizado puede ser desde agua lodosa, hasta una mezcla viscosa preparada con anticipación suspendiendo arcilla o polímeros especialmente diseñados para este fin en agua.

La arcilla más usada es la bentonita, en cuya composición predominan los filosilicatos del grupo de la montmorillonita. La propiedad principal de esta suspensión, es que tiende a pasar de gel a sol mediante agitación y viceversa, es decir se comporta como un sólido cuando está en reposo y como un fluido cuando se pone en movimiento.

La desventaja de su uso consiste en que todo el lodo que ha sido desplazado hacia el acuífero, deberá ser posteriormente eliminado de los poros del mismo durante el desarrollo de la perforación. De no ser así dará como resultado una perforación ineficiente.

Circulación de lodo:

En el sistema rotativo convencional (perforación a rotación con circulación directa), el fluido lodo de perforación es bombeado a través de la barra de perforación hueca y sale a presión por boquillas que posee el trepano ò barreno (que también es hueco) en su parte inferior.

De allí el lodo asciende verticalmente hasta la superficie del terreno, a través del espacio anular que queda entre el agujero y la tubería de perforación, arrastrando los detritus resultantes de la acción del trepano.

Ya en la superficie del terreno, el fluido se conduce hasta una pileta de decantación, donde deja la mayor parte del detritus que arrastró del pozo, pasando a otra pileta de reserva (pozos construidos en el terreno). A partir de esta última, el lodo es succionado por la bomba y es nuevamente enviado a presión por el interior de la tubería.

Esta forma de circulación del lodo (rotación con circulación directa) es la más usada. Generalmente se utiliza cuando el diámetro de la perforación no es excesivamente grande, de manera tal que la velocidad de ascenso del lodo por el espacio anular, sea la suficiente como para permitir el arrastre de partículas. En otros casos puede utilizarse el método denominado inverso, en el cual el lodo ingresa al pozo por el espacio anular entre las paredes del mismo y la barra de perforación y es succionado por dentro de la barra para extraerlo.

Cuando se realiza una perforación para el agua, y según las características de los estratos a atravesar, se puede utilizar el método de rotación o el de percusión, o sucesivamente ambos. Existen variantes dadas también por la práctica del perforista.

## b) ENTUBACIÓN

Para evitar la contaminación y derrumbe de la perforación, es preciso revestirla con una tubería, este trabajo se realiza a medida que la perforación avanza o una vez que la misma alcanza su profundidad definitiva, esta tubería puede ser provisoria o definitiva, es este último caso se la denomina encamisado y desempeña tres funciones fundamentales:



- 1) Sostener las paredes de la perforación.
- 2) Constituir la conducción hidráulica que pone en comunicación al acuífero con la superficie.
- 3) En el caso que sean varios los acuíferos atravesados impide la comunicación entre ellos por medio de la perforación.

Se usan tuberías metálicas, de fibrocemento, fibra de vidrio y plástico.

Para la selección de la tubería de entubación o encamisado debe tenerse en cuenta el diámetro del filtro de la perforación (del cual se hablara más adelante) y el diámetro de la bomba a colocar.

Los dos cuadros siguientes ofrecen algunas relaciones importantes

Programa de entubación, según normas API

∅ de perforación		∅ de la tubería de revestimiento		capacidad de bombas españolas
Pulgadas	mm	Pulgadas	mm	L/seg
24	609,6	20	508	> 100 l/s
20	508	16	406,4	< 100 l/s
17,5	444,5	13,375	339,725	< 60 l/s
12,25	311,15	9,375	238,125	< 30 l/s
8,5	215,9	7	177,8	< 15 l/s
6,25	158,75	5	127	< 5 l/s
4,25	107,95	3	76,2	

De Custodio, ob. Cit.

Programa de entubación (Johnson, 1966)

Diámetro optimo del revestimiento en cm.	Diámetro mínimo del revestimiento en cm.	Diámetro de la carcasa de la bomba en cm.	Caudal provisto por el pozo en l/s
15 DI	12,5 DI	10	Menor de 7
20 DI	15 DI	12	5 - 13
25 DI	20 DI	15	,10 - 25
30 DI	25 DI	20	20 - 40
35 DI	30 DI	25	38 - 60
40 DI	35 DE	30	55 - 85
50 DI	40 DE	35	75 - 115
60 DI	50 DE	40	100 - 200

DI: diámetro interior

DE: diámetro exterior

Diámetros recomendados de pozo

Producción prevista del pozo m <sup>3</sup> /min	Diámetro nominal de los tazonos de la bomba en cm.	Diámetro optimo del ademe del pozo en cm.	Mínimo diámetro de ademe en cm.

Menos que 0.4	10.0	15 ID	12.5 ID
0-3 a 0.7	12.5	20 ID	15.0 ID
0.6 a 1.5	15.0	25 ID	20.0 ID
1.3 a 2.5	20.0	30 ID	25.0 ID
2.3 a 3.4	25.0	35 OD	30.0 ID
3.2 a 5.0	30.0	40 OD	35.0 OD
4.5 a 6.8	35.0	50 OD	40.0 OD
6.0 a 12.0	40.0	60 OD	50.0 OD

DI: diámetro interior  
DE: diámetro exterior

De Johnson, ob. Cit.

### c) CEMENTACIÓN

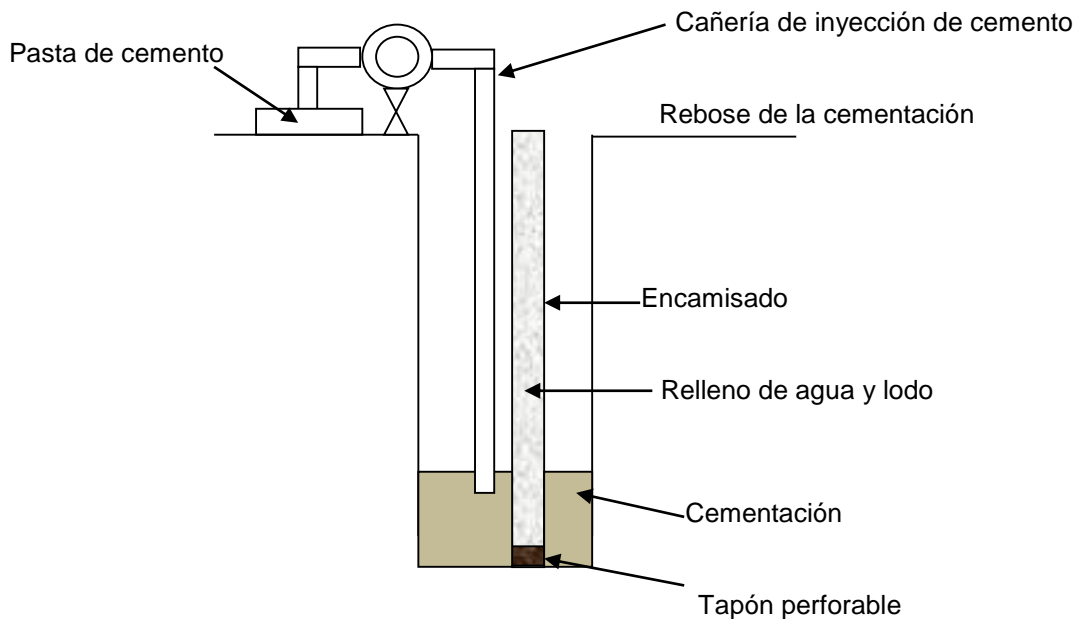
Una vez clorado el encamisado se procede a realizar la cementación, esta consiste en sellar el espacio anular que queda entre la tubería y el terreno con una mezcla adecuada de arcilla y cemento. Siendo este último el más utilizado.

Objetivos de la cementación:

- 1) Unión del encamisado con la pared de la perforación, para evitar la contaminación entre acuíferos.
- 2) Aumenta la resistencia mecánica y a la corrosión de la tubería de encamisado.

La cementación se realiza por diferentes procedimientos, lo importante es tener en cuenta que para que la cementación produzca un sello satisfactorio es necesario que se coloque en forma ininterrumpida y antes de que se manifieste el fraguado inicial del cemento.

Es común usar un tubo de pequeño diámetro que se introduce por fuera de la tubería de encamisado y se envía la mezcla por gravedad, según indica el esquema:



Cementación del ademe mediante el bombeo de lechada a través de un tubo que se hace descender por el espacio anular fuera del ademe

De Johnson, ob. Cit.

#### d) COLOCACIÓN DE FILTRO Y PORTAFILTRO

En coincidencia con el acuífero o acuíferos a explotar, va a estar la zona de admisión de agua a la perforación, quizás sea esta la parte fundamental para un buen funcionamiento de la misma.

El revestimiento de esta área se realiza mediante un filtro o rejilla.

El filtro debe seleccionarse para permitir el pasaje de agua libre de arena, en cantidad y con un mínimo de pérdida de carga.

Las principales características que debe reunir un filtro son:

- 1) Aberturas diseñadas para evitar la obstrucción por arena y grava.
- 2) Proporcionar la mayor cantidad de área abierta versus área total, sin disminuir la resistencia al colapso y a la compresión.
- 3) Distribución uniforme de ranuras y diseño de las mismas para evitar flujos tortuosos que provocan mayor pérdida de carga y peligro de incrustaciones.
- 4) Construcción de un solo metal, resistente a la corrosión según las condiciones en que va a trabajar la perforación.

Metales de las rejillas de pozo y sus aplicaciones

Metal – aleación	Composición normal	Costo relativo	Aplicaciones sugeridas
Monel	70 % níquel - 30 % cobre	1.5	Alto cloruro de sodio combinado con oxígeno disuelto, como en el agua de mar. No se necesita para agua subterránea potable
Acero inoxidable	74 % acero- 18 % cromo- 8 % níquel	1.0	Sulfuro de hidrogeno. Oxígeno disuelto. Dióxido de carbono. Bacteria ferrosa. Excelente resistencia
Everdur	96 % cobre – 3 % sílice – 1 % manganeso	1.0	Alta dureza total. Alto cloruro de sodio en ausencia de oxígeno disuelto. Alto contenido de hierro. Extremadamente resistente a los tratamientos con ácido.
Ronce rojo al silicio	83 % cobre – 16 % zinc – 1 % sílice	0.9	Usado para las mismas condiciones que el Evedur, pero inferior y no tan resistente. Se utiliza en aguas no muy activas.
Hierro armco	99.84 % hierro puro (doblemente galvanizado)	0.6	No es resistente a la corrosión, pero actúa satisfactoriamente en ciertas aéreas. Se utilizan en pozos para riego en donde las aguas son relativamente neutras.
Acero	99.35/99.72 % hierro – 0.09/0.15 % carbono – 0.20/0.50 % manganeso (doble galvanización)	0.5	No es resistente a la corrosión, para pozos no permanentes, tales como de prueba o pozos para desecación. Alcanza una vida útil satisfactoria, si las aguas no son corrosivas ni incrustantes

De Johnson, ob. Cit.

Tipos de filtros más comunes, según la forma de sus ranuras:

- Ranura continua
- Persiana
- Puentecillos
- Malla de alambre
- Tubería ranurada

Para definir adecuadamente el filtro en el proyecto de una perforación deben considerarse:

- Longitud: Depende del espesor, estratificación y el posible descenso dinámico del acuífero.
- Tamaño de ranura: Debe seleccionarse de acuerdo a un análisis granulométrico de muestras representativas del material que constituye el acuífero.
- Diámetro: Es función del área abierta (porcentaje de área abierta sobre área total, dato que proporciona el fabricante), de la longitud del filtro y del caudal de bombeo esperado, y por supuesto del diámetro del pozo donde será colocado.

Debe considerarse que la velocidad de paso del agua a través del filtro no sea mayor de 3 cm./seg., para evitar excesivas pérdidas de carga, corrosión e incrustación.

- Resistencia mecánica: Es función de sus características constructivas y de los materiales empleados. Estos datos se deben solicitar al fabricante.

#### e) ENGRAVADO

En algunos casos no es suficiente la colocación de un filtro para el correcto funcionamiento de una perforación, sino que se hace necesario colocar un empaque de grava en el espacio anular que queda entre las paredes de la perforación y el filtro, este empaque también se denomina prefiltro.

Conviene engravar en varios casos, se mencionan los más comunes:

- Acuíferos con arenas finas y uniformes
- Formaciones estratificadas con capas alternadas de arena de distinta granulometría.

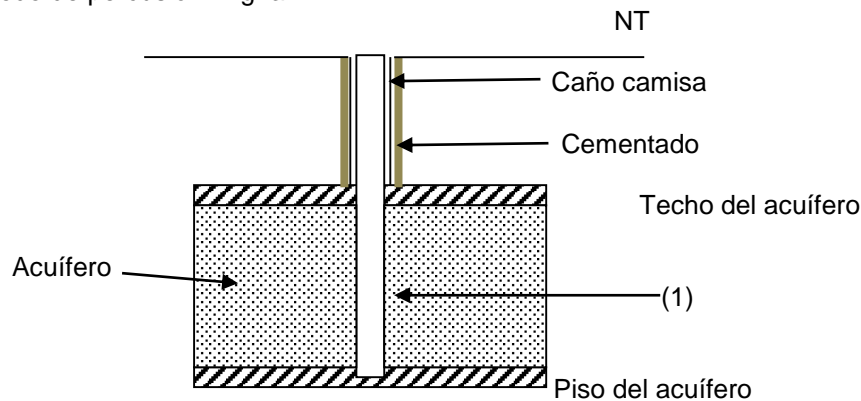
Para diseñar el material del prefiltro de grava, debe tenerse en cuenta la granulometría del acuífero.

Con respecto al espesor del prefiltro de grava, se considera práctico a los fines constructivos, que alcance unos 8 cm., aunque la retención mecánica de las partículas del acuífero se podría lograr con un espesor mucho menor.

Si la perforación está dotada de un prefiltro de grava, las ranuras del filtro deben ser tales que retengan el 90 % de la grava.

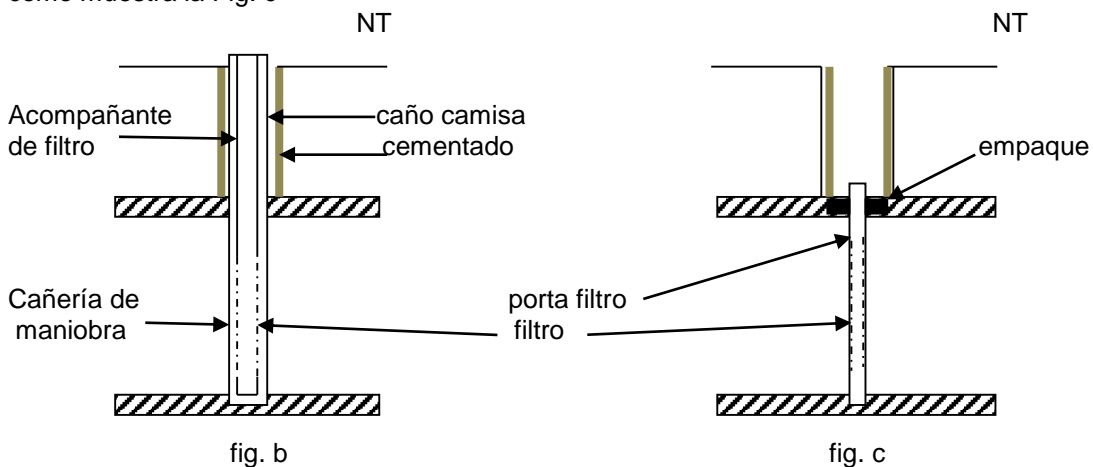
Instalación del filtro y engravado: Los procedimientos empleados varían con el diseño y el método de perforación empleados.

Usando el método de percusión: Fig. a



(1) Cañería provisoria ò de maniobra por dentro de la cual se introduce el trepano. Esta cañería se hace descender simultáneamente con el avance de la perforación. Una vez que se ha alcanzado el piso del acuífero se baja por su interior, el filtro. Fig. b

Cuando el filtro está en su posición definitiva se va extrayendo la cañería de maniobras, quedando como muestra la Fig. c



Si no se va a engravar debe colocarse un cierre empaque de goma, plomo o mortero, para lograr un sello hermético entre el extremo superior del portafiltro y el interior del encamisado.

Si se va a engravar, se mantendrá el esquema que muestra la Fig. b

La cañería acompañante de filtro (cañería provisoria), deberá permanecer en su posición hasta que se haya completado el engravado.

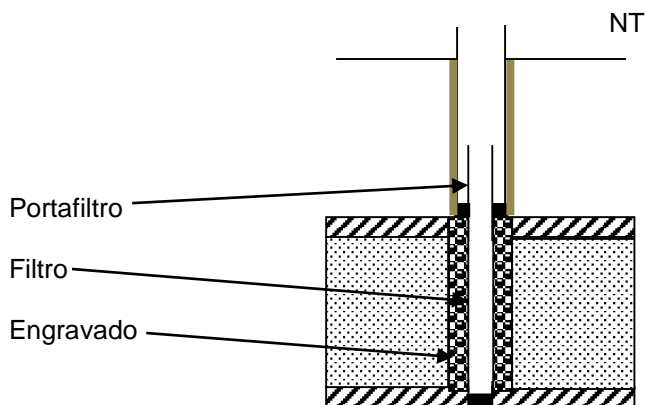


fig. d

Desde la superficie del terreno se envía cuidadosamente la grava, por el espacio anular, entre las cañerías, hasta el nivel deseado, simultáneamente, se retiran las cañerías, quedando como en la Fig. c

Si se utiliza para perforar, el método de rotación, se perfora hasta el piso del acuífero y posteriormente puede colocarse una cañería provisoria para enviar el filtro por su interior, como en el caso anterior, o puede colocarse el filtro directamente, bajando por el interior del caño camisa. Fig. d

Si se va a engravar, se colocara una cañería provisoria, para enviar, la grava entre dicha cañería y el encamisado como en el caso anterior.

#### f) LIMPIEZA Y DESARROLLO DE LA PERFORACIÓN

El desarrollo de una perforación, es aquella operación que se realiza a fin de lograr su óptimo rendimiento, cuando ya se ha completado la instalación de todos los elementos de la misma.

Objetivos:

- Reparar las alteraciones que haya sufrido el acuífero durante la perforación: en el método por rotación, el Lodo utilizado, sella las paredes del pozo disminuyendo la permeabilidad y en el método de percusión, se compacta la arena durante el hincado de la tubería e impactos del trepano disminuyendo la porosidad.  
Por lo tanto el primer objetivo de un buen desarrollo es eliminar el efecto peculiar y lograr el aflojamiento de la arena en torno al filtro para recuperar la porosidad perdida.
- Aumentar la porosidad y la permeabilidad de la formación natural en contacto con el filtro. Esto se consigue eliminando las partículas de menor tamaño que las aberturas del filtro, en las proximidades de este.
- Estabilizar la formación granular en torno al filtro.

Estos dos últimos objetivos, se logran también si se provee a la perforación de un prefiltro de grava.

#### Métodos usados para el desarrollo de perforaciones:

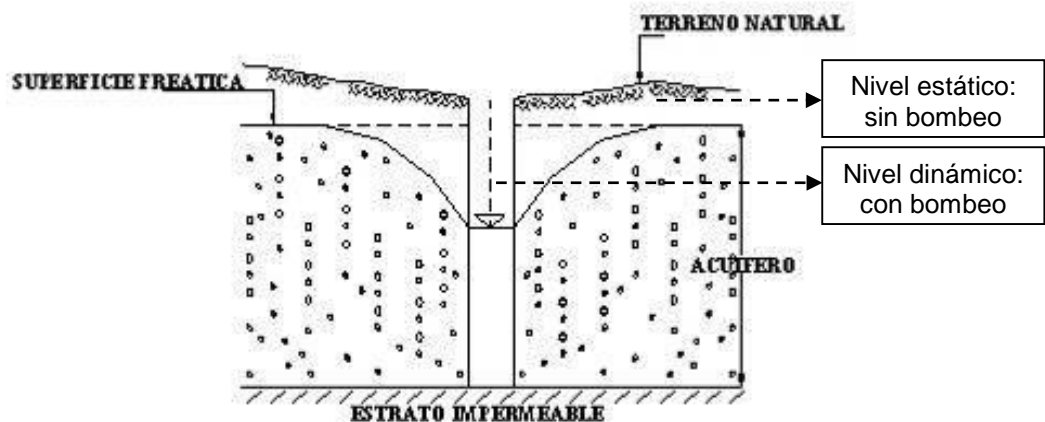
- Agitación mecánica: consiste en desplazar un embolo dentro de la perforación en sentido vertical, a la manera de un pistón dentro de un cilindro.
- Agitación con aire: consiste en inyectar aire a presión en la perforación mediante un equipo especial y luego bombear en forma convencional hasta que el agua salga libre de arena.
- Chorros de agua de alta velocidad: se inyecta agua a presión en forma horizontal, de manera tal que los chorros de agua de alta velocidad atraviesen las aberturas del filtro. La arena fina, limo y arcilla, son eliminados mediante la turbulencia creada por los chorros de agua, a través de las aberturas del filtro que se hallen situadas por encima y por debajo del punto de operación.  
También se puede adicionar, en este método, polifosfatos al agua. Estos son agentes dispersantes, que contribuyen considerablemente a la eliminación del lodo usado en rotaciones.

- Sobrebombeo: este es el procedimiento más sencillo y uno de los más usados. Implica bombear la perforación a un caudal mayor al que se extraerá normalmente. En regla general no es conveniente que la bomba que se usa para el sobrebombeo, sea la que se usara permanentemente en dicha perforación: si durante el desarrollo se extrae algo de arena, junto con el material fino, la bomba estará sometida a un desgaste excesivo, que reducirá su eficiencia.

#### g) EVALUACIÓN DE PERFORACIONES (prueba o ensayo de perforaciones)

Esta evaluación se realiza con dos objetivos:

- Permitir una base firme para la selección y compra del equipo de bombeo. (Se busca conocer el Caudal que eroga expresado Litros/hora ò m<sup>3</sup>/hora).
- Obtener información acerca del comportamiento y eficiencia de la perforación, mientras esta se bombea. (se busca conocer el Abatimiento: es la diferencia medida en metros, entre el nivel en que permanece el agua de la perforación cuando no se bombea y el nivel dinámico, que es el nivel a que desciende el agua en la perforación cuando se bombea).



Capacidad específica ò caudal específico: es el caudal que entrega la perforación por metro de abatimiento. Se calcula dividiendo los caudales sucesivos por el abatimiento producido en cada caso (ambos medidos al mismo tiempo).

#### Mediciones de caudal: Aforo de perforaciones

Varios métodos de aforo a la salida de tuberías ya han sido desarrolladas en la ayuda didáctica de "aforos de agua de irrigación", en este caso desarrollaremos el utilizado por OSM:

##### Vertedero de orificio circular:

El vertedero de orificio circular es el instrumento más usado para medir la descarga de una bomba centrífuga.

Consiste en una abertura redonda situada en el centro de una placa circular de acero. La placa debe ser de un espesor normalizado y estar fijada en el extremo exterior de una tubería horizontal de modo que el orificio quede centrado en ella y la placa en posición vertical.

La tubería de descarga debe ser recta y horizontal en una distancia de por lo menos 1,80 m. hacia atrás de la placa de orificio.

El interior de la tubería debe ser liso y sin obstrucciones, de manera que no se forme una turbulencia anormal.

A 0,60 m. de la placa de orificio, debe perforarse lateralmente, el tubo, en un plano horizontal coincidente con el radio.

Para medir la presión dentro de la tubería, se fija a este orificio un tubo piezométrico, que consiste en un tubo de plástico de 1,20 m. a 1,50 m. de longitud. La conexión del tubo piezométrico al tubo de descarga se debe efectuar mediante accesorios de plomería. El nivel que el agua alcanza en el tubo piezométrico representa la presión existente en el tubo de descarga cuando el agua fluye a través del orificio de salida.

Fijando a un soporte una escalera graduada y a éste el tubo piezométrico, se puede leer la distancia en metros que corresponde a la altura para la fórmula:

$$Q = C \times S \sqrt{2 \times g \times h}$$

Para simplificar estos cálculos se han publicado tablas estándar, que dan los valores de caudal para varias combinaciones de diámetro de orificio y tubo, con un error del 2%.

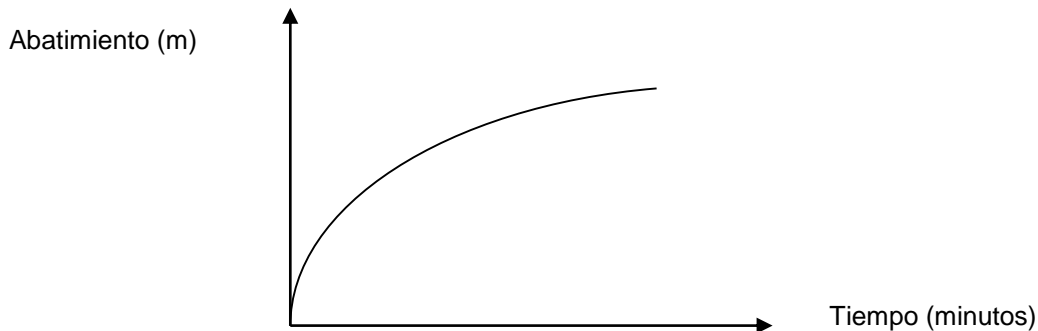
Si al tubo de descarga se le coloca un manómetro es posible medir conjuntamente el caudal erogado y la presión que da la bomba a ese nivel para distintos caudales (regulando la válvula de salida).

Mediciones del abatimiento del nivel de agua:

Desde que se inicia la prueba de bombeo, deben medirse los niveles de agua, efectuando las lecturas a intervalos cortos en las primeras dos horas para ir espaciando a medida que la prueba avanza.

Las mediciones del nivel dinámico deben efectuarse hasta que no se observen incrementos del abatimiento en el transcurso del tiempo de bombeo. En estas condiciones, se considera que el acuífero recibe una recarga igual a la extracción.

Se puede construir con estos datos una curva como la siguiente, siempre que la prueba haya sido hecha a caudal constante:



También es conveniente bombear la perforación incrementando los caudales, obteniendo las siguientes curvas:

- caudal en función del abatimiento
- caudal específico en función del abatimiento

Con estas curvas, se tienen datos suficientes como para determinar las características óptimas de funcionamiento de la perforación.

Además se podrá determinar la profundidad de colocación de la bomba, para que su grado de sumergencia sea el correcto (recuérdese que la bomba usada en estos casos pueden ser una centrífuga de eje vertical con motor en superficie ò una electrobomba centrífuga con motor sumergido).

Lo más correcto sería efectuar una prueba ò ensayo del acuífero, pero su tratamiento excede los objetivos de este trabajo.

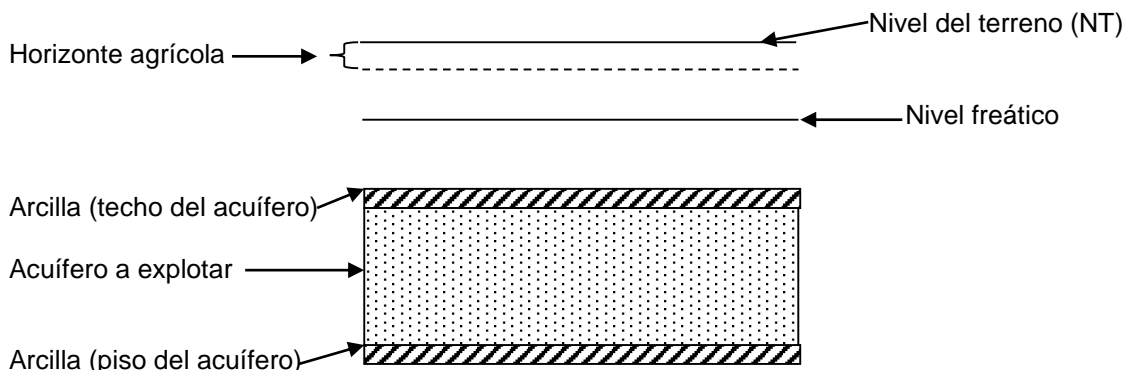
Los elementos usados para la medición de los niveles pueden ser: sonda eléctrica, cinta mojada, etc.

**Resumen**

Es necesario, llegado este punto, resumir los pasos más comunes para realizar una perforación.

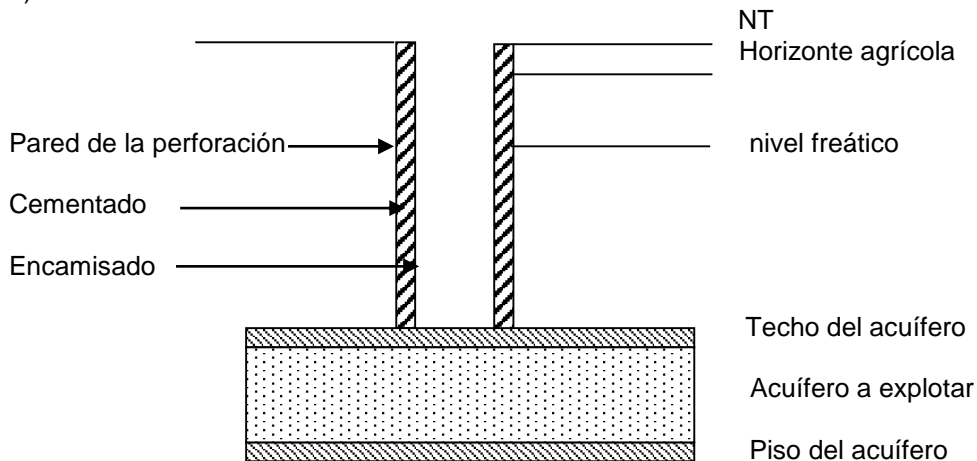
Para mayor claridad vamos a emplear un esquema aplicable a una zona de la provincia de Buenos Aires:

- 1) Conocimiento del subsuelo: estratos a atravesar, acuíferos a explotar:

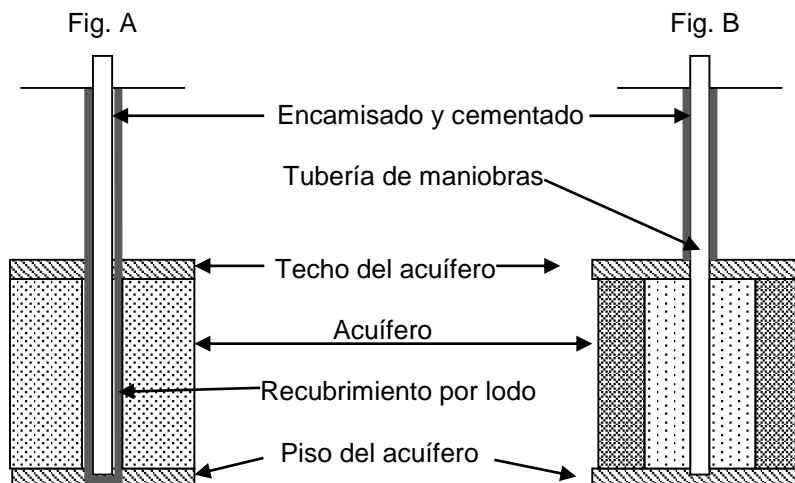


- 2) Perforar hasta la arcilla que constituye el techo del acuífero a explotar.

- 3) Encamisado
- 4) Cementar



- 5) Continuar la perforación por el inferior del encamisado hasta el piso del acuífero.  
Si esta parte de la perforación se hace por el método de rotación el trabajo queda según muestra la figura A, si se efectúa por el método de percusión, queda como muestra la figura B:



- 6) Colocar filtro y portafiltro
- 7) Engravar

#### BIBLIOGRAFIA

- **Castany G.** "Tratado práctico de aguas subterráneas". Ed. Omega, Barcelona. España. 1981
- **Custodio E. y Llamas M.R.** "Hidrología subterránea". Ed. Omega. Barcelona. España. 1976
- **Fernandez, Di Giusto y Heredia** "Agua subterránea" Guía de TP. Cátedra de Hidrología Agrícola, Facultad de Ciencias Agropecuarias. U.N.C. Argentina. 1982
- **Johnson División UOP INC.** "El agua subterránea y los pozos". Saint Paul, Minnesota. EEUU. 1975.
- **Linsley R.K., Kohler M. y Paulus.** "Hidrología para ingenieros" Ed. Mc Graw-Hill Latinoamérica. Colombia. 1978
- **Luque Jorge A.** "Hidrología Agrícola Aplicada". Ed. Hemisferio sur. Buenos Aires. Argentina. 1981.
- **Nielsen.** "Apuntes del segundo curso internacional de Hidrología con énfasis en Hidrología subterránea". Argentina. 1981.
- **"Referencias Johnson"**. Publicación bimestral Números: 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25 y 26. Años 1980 y 1981. Villa Martelli. Bs. As. . Argentina.



## EQUIPOS BOMBEADORES

La evolución de los sistemas de bombeo permitió a la civilización alejarse de los ríos y manantiales, y desarrollarse en vastas zonas que anteriormente eran inhabitadas.

Para comprender el funcionamiento de las bombas es necesario familiarizarse previamente con algunos conceptos básicos.

**Fases de funcionamiento:** En el caso más general los sistemas de bombeo actúan en dos fases, una de aspiración previa al pasaje del fluido por la bomba, y una de impulsión posterior al pasaje del fluido por la bomba.

**F. Aspiración:** Elevando el agua desde su nivel hasta la bomba, por medio de la tubería de aspiración. En esta fase la bomba ejerce un vacío en la tubería de aspiración, con el fin de que el agua pueda subir por ella impulsada por la presión atmosférica.

**F. Impulsión:** Conducción del agua desde la bomba hasta su destino, por medio de la tubería de impulsión. En esta fase la bomba ejerce la presión necesaria para que el agua se traslade a lo largo de la tubería de impulsión.

**Alturas de elevación:** el trabajo realizado por las bombas se cuantifica mediante la velocidad y presión a la que desplaza el líquido y a la magnitud de las alturas de elevación. Hay que considerar las siguientes alturas de elevación:

- **Altura geométrica de aspiración ( $H_a$ ):** Es la distancia vertical existente entre el eje de la bomba y el nivel inferior del agua.
- **Altura geométrica de impulsión ( $H_i$ ):** Es la distancia vertical existente entre el nivel superior del agua (superficie del agua en el depósito de impulsión o el punto de descarga libre de la tubería de impulsión) y el eje de la bomba.
- **Altura geométrica de elevación: ( $H_e$ )** Es la distancia vertical existente entre los niveles superior e inferior del agua.
- **Altura manométrica de aspiración:** Es igual a la altura geométrica de aspiración más las pérdidas de carga en la tubería de aspiración.
- **Altura manométrica de impulsión:** Es igual a la altura geométrica de impulsión más las pérdidas de carga en la tubería de impulsión.
- **Altura manométrica total o altura total de elevación ( $H_{mt}$ ):** Es la suma de las alturas manométricas de aspiración e impulsión. Esta debe ser suministrada por la bomba, y es independiente del peso específico del líquido, por lo que sólo puede expresarse en metros de columna de agua (mca).

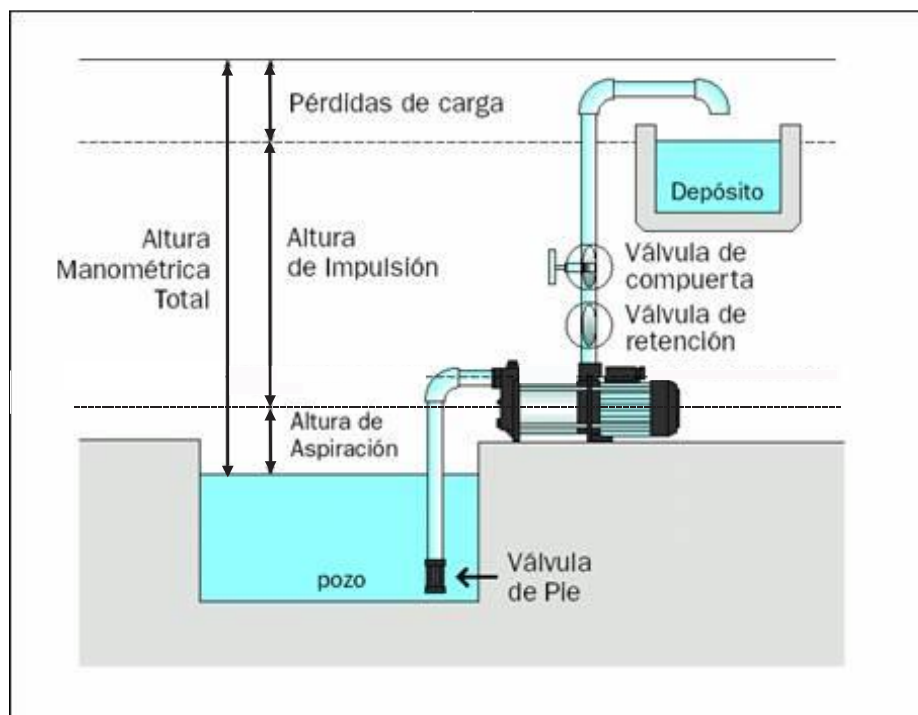


Figura 1

## 1 Clasificación de los distintos tipos de equipos de bombeo:

- **Rotodinámicas:** el agua se desplaza por la acción de un mecanismo de impulsos (rodete o impulsor) que tiene movimiento giratorio, siendo el factor afectado la velocidad ( $v$ ).
- **Volumétricas:** el elemento impulsor, que tiene movimiento rectilíneo alternativo, (émbolo, membrana) o rotativo (engranaje, paletas), impulsa el líquido desde la cámara que lo contiene, por efecto de disminución del volumen de esa cámara, siendo el factor afectado la presión ( $P$ ).
- **Gravimétricas:** trasladan el líquido desde una cota a otra más elevada (norias, cigüeñal, elevador de cangilones, tornillo de Arquímedes), siendo el factor afectado la altura de elevación ( $z$ ).

Las bombas más utilizadas en riego son las rotodinámicas, que a su vez se clasifican en tres grupos, según la dirección del flujo:

- **Bombas centrífugas o de flujo radial:** el líquido sale de la bomba en sentido perpendicular al eje de giro. El nombre de centrífuga alude al hecho de que es una fuerza de esa naturaleza la que aumenta la energía de la corriente. El agua en rotación tiende a escapar hacia fuera produciendo un vacío en su desplazamiento, lo que origina un flujo continuo de agua que entra en la dirección del eje de la bomba. La relación altura de elevación y caudal en este tipo de bombas es alto, por lo que eran las más utilizadas en sistemas de riegos.

- **Bombas de hélice o de flujo axial:** el impulsor tiene la forma de hélice o tornillo, por lo que el flujo del agua se produce en la dirección del eje del mismo. Estas bombas se fundan en el mismo principio de propulsión de los barcos, con la diferencia de que en el caso de la bomba, la hélice gira en posición fija y desplaza al agua de forma continua. La relación altura de elevación y caudal en este tipo de bombas es bajo, por lo que su uso se limita a prestaciones que requieran movimiento de grandes volúmenes de agua con baja altura de elevación.

- **Bombas diagonales, helicocentrífuga o de flujo mixto:** el flujo de agua es producido conjuntamente por la fuerza centrífuga y por el empuje de los álabes. Son, por tanto, intermedios entre los dos grupos anteriores, tanto en su dirección como en su funcionamiento. La relación altura de elevación y caudal en estos tipos de bombas es intermedio.

En la figura 2, se representa los elementos de impulsión que caracterizan a los tres tipos de bombas rotodinámicas:

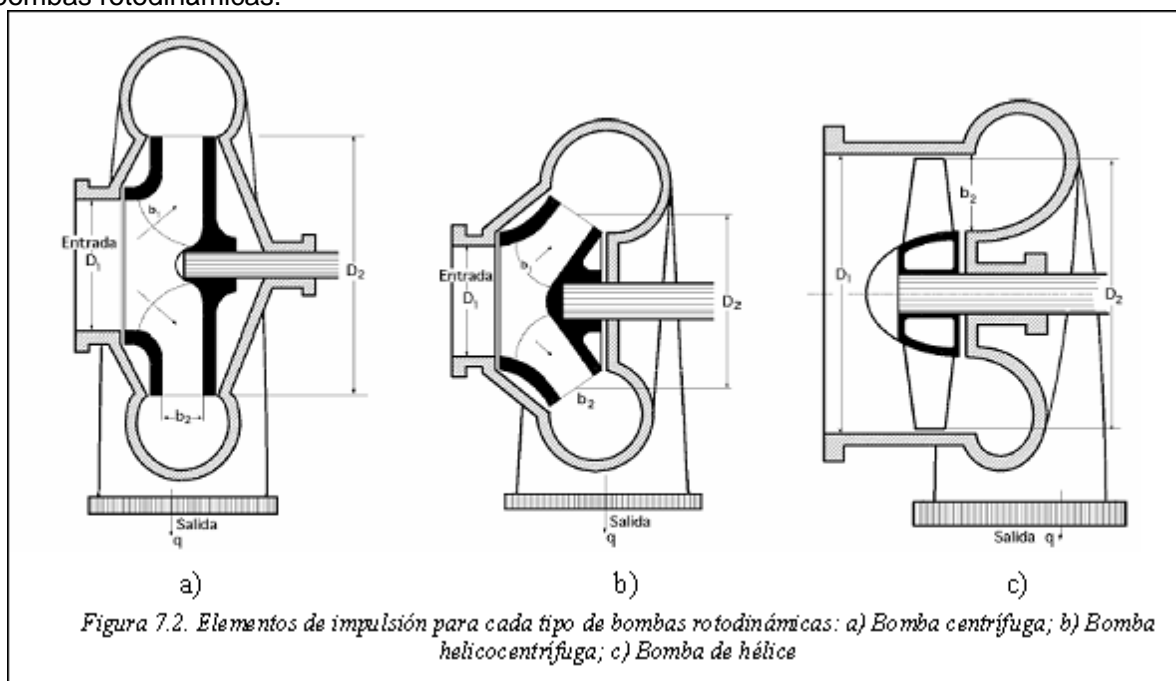


Figura 2

Entre las bombas rotodinámicas, las más utilizadas para riego son las centrífugas, estas pueden clasificarse según diferentes criterios, los más utilizados son:

a) Cantidad de etapas:

- Una etapa: Bomba en la cual la presión total ò altura es desarrollada por un solo impulsor.
- Varias etapas ò multietapa: Bomba que tiene dos ò mas impulsores actuando en serie dentro de la misma para producir presión.

b) Tipo de cuerpo ò envoltura:

- Bomba a voluta: Una bomba que tiene la carcasa ò cuerpo donde gira el impulsor en forma de espiral ò voluta.
- Bomba de sección circular: Tiene el cuerpo con una sección transversal constante, y es concéntrica con el impulsor.

c) Posición del eje del impulsor:

- Bombas horizontales: bombas con el eje en posición horizontal.
- Bombas verticales: (Tipo pozo seco), tiene el eje vertical. Esta bomba se aloja en un pozo seco.
- Bombas verticales: (Tipo pozo sumergida), bomba de eje vertical que se ubica sumergida en un pozo ò otra fuente de agua.

1.1 Principios de funcionamiento y características de las bombas centrífugas:

Las bombas centrífugas funcionan eficientemente dentro de una escala variada de condiciones operatorias, por lo que en la actualidad son las más usadas en riego.

Principio de funcionamiento: Conservación de la energía, Como en cualquier otra bomba, las del tipo centrífugo convierten la energía proporcionada por una maquina motriz (motor eléctrico, motor diesel, turbina de vapor), en energía interna del líquido que se bombea. Esta energía interna del líquido se manifiesta como velocidad, como posición y/o como presión.

1.2 La rotación comunica dos movimientos: La forma en que este cambio de energía se produce en las bombas centrífugas, es único. El elemento rotativo, movido por la maquina motriz se denomina impulsor. El líquido bombeado circunda al impulsor y, conforme este gira, el movimiento de rotación del impulsor origina un movimiento de rotación en el líquido.

En realidad, el movimiento comunicado al líquido por el impulsor tiene dos componentes. Uno tiene dirección radial, hacia fuera desde el centro del impulsor. Este movimiento lo causa la fuerza centrífuga debida a la rotación del líquido, que actúa en el sentido de alejarse del centro del impulsor en rotación.

Asimismo, al salir el líquido del impulsor tiende a moverse en una dirección tangencial a la periferia del impulsor. Estas dos direcciones se señalan en la figura N° 3. La dirección exacta que el líquido tomara es la resultante de las dos direcciones.

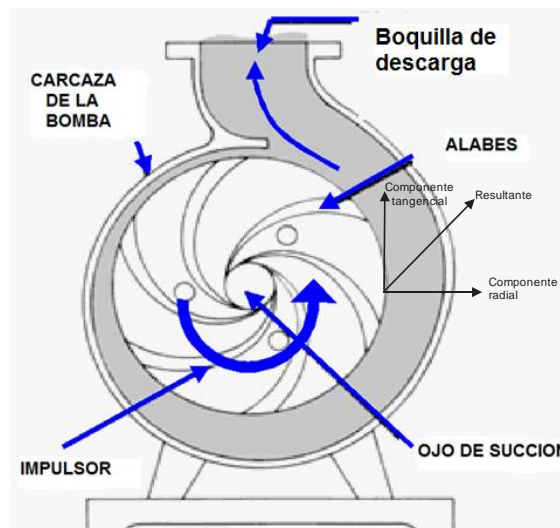


Fig. N° 3

1.3 Relación presión-velocidad:

Los movimientos mencionados implican velocidad del líquido. Podemos decir que la cantidad de energía comunicada al líquido por el impulsor en rotación, está en relación con la velocidad a que el

líquido se mueve. Esta energía expresada como presión o como columna de líquido es proporcional al cuadrado de la velocidad de salida resultante.

$$H = V^2 / 2g$$

Donde

H es la energía expresada en metros de columna de líquido

V es la velocidad en metros por segundo

g es la aceleración de la gravedad

De estos hechos podemos hacer dos deducciones: un cambio en la velocidad periférica del impulsor modificara la energía comunicada al líquido, en una cantidad proporcional al cuadrado del cambio mencionado. De igual modo, variando el diámetro del impulsor, se modificara la velocidad periférica y por lo tanto se modificara la energía comunicada al líquido.

#### 1.4 Carcasa:

Consideremos lo que le sucede al líquido que está siendo descargado desde todos los puntos de la periferia del impulsor: Este líquido se mueve hacia el exterior del impulsor girando con este. De alguna forma deberá ser recogido y dirigido al orificio de impulsión de la bomba. Esta es la función de la carcasa o envolvente. Esta está diseñada de tal forma que, en un punto determinado, su pared está muy próxima al diámetro exterior del impulsor. Este punto se denomina "lengua" de la envolvente.

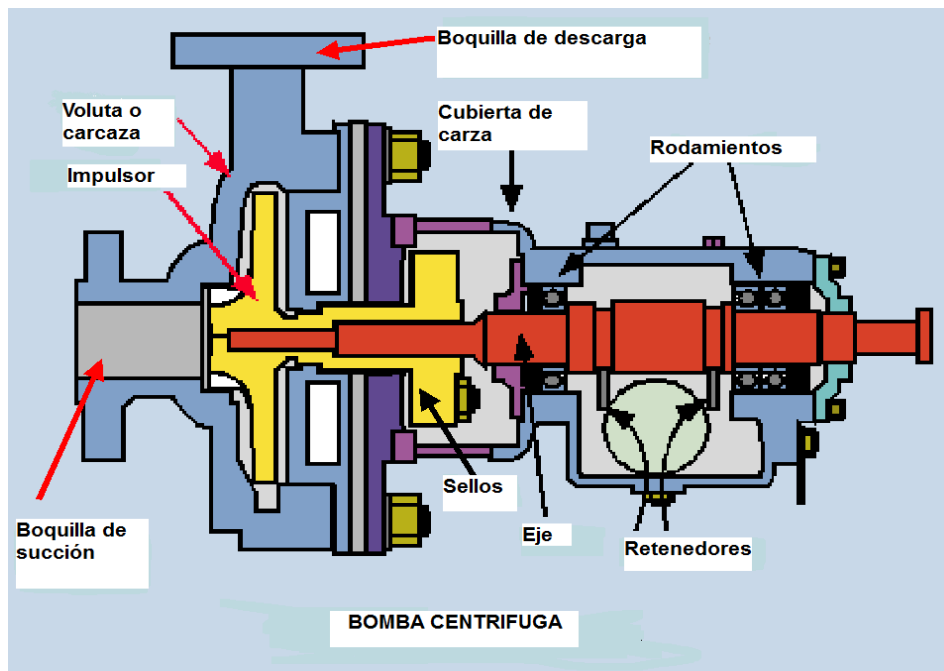


Figura 4

Entre la lengua y un punto ligeramente a la izquierda (en sentido contrario a las agujas de un reloj) una cierta cantidad de líquido ha sido descargada por el impulsor conforme progresamos alrededor del envolvente; el líquido también debe girar con el impulsor y ser descargado a través de la salida de la bomba. Al ir desplazándonos alrededor del impulsor, vemos que se acumula más y más el líquido que debe ser conducido alrededor del impulsor, entre la pared de la envolvente y el borde del extremo de aquel. Ya que la cantidad de líquido va aumentando y la velocidad del mismo debe ser aproximadamente constante, se incrementa paulatinamente el área disponible entre el borde del impulsor y la pared de la envolvente. A esto se debe que la sección sea gradualmente creciente desde la lengua de la envolvente, hasta el comienzo del cono de impulsión.



Figura 5

1.5 Difusor: En el punto inmediatamente delante de la lengua tenemos todo el líquido descargado por el impulsor, que debe pasar a la tubería de descarga. Sin embargo en la mayoría de los casos este líquido posee una velocidad superior a la que es conveniente para manejarlo, ya que una alta velocidad produce pérdidas altas, por rozamiento, en la tubería de descarga. Por ello se reduce la velocidad en el cono de descarga, que es la salida final de la bomba. La velocidad se disminuye incrementando la sección.

1.6 Relación entre capacidad y ancho de impulsor: En una bomba centrífuga el impulsor está provisto de alabes que sirven para conducir el equipo.

El impulsor tiene un anchura axial, determinada por el ancho de alabes, según la capacidad que haya que manejar. Considerando dos impulsores de igual diámetro y diferente ancho, el de mayor ancho puede manipular un mayor caudal.

## 2 Síntesis:

Veamos el esquema de la bomba, a partir de los elementos teóricos que poseemos:

### ESQUEMA DE MOTOBOMBA HORIZONTAL



Figura 6

### CORTE DE MOTOBOMBA HORIZONTAL

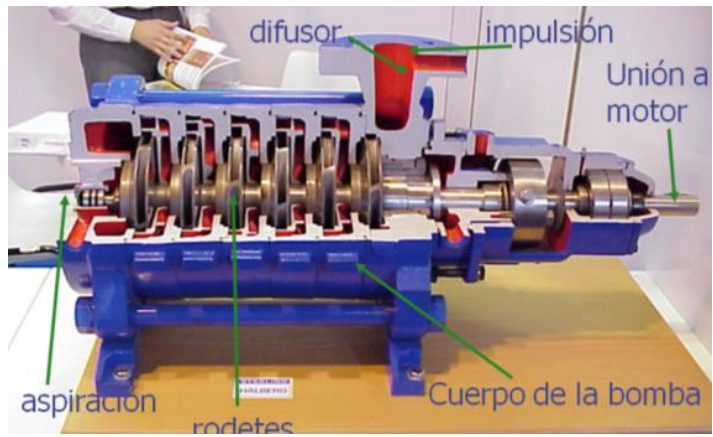


Figura 7

CORTE LONGITUDINAL

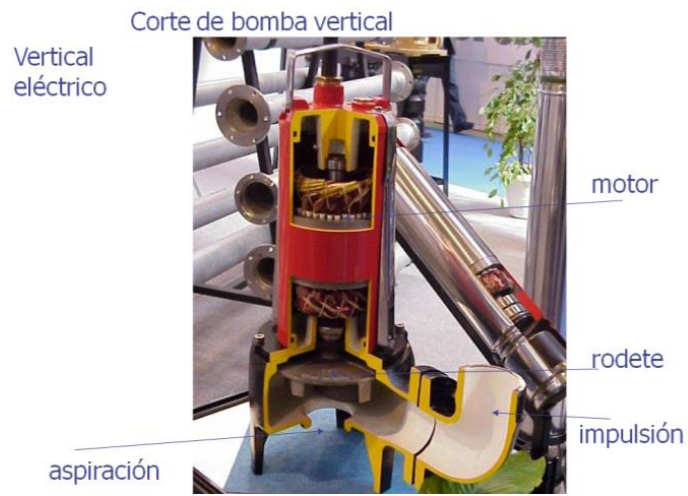


Figura 8

BOMBAS SUMERGIBLES



Figura 9

EQUIPO DE BOMBEO CARDÁNICO





Figura 10

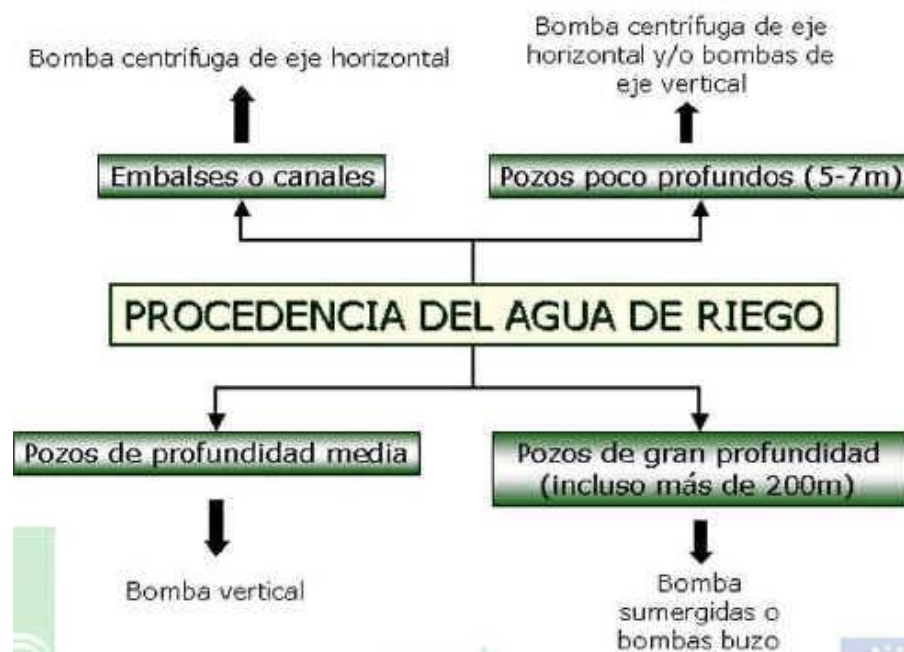


Figura 11

### 3 Características generales:

- Tipo de descarga: continuo
- Máxima elevación de succión: 5.5 a 6m.
- Líquidos que pueden manejar: Limpio, claro, sucio, abrasivo, líquidos con altos contenidos de sólidos.
- La capacidad y la columna dependen de la velocidad en r.p.m. del diámetro y del ancho del impulsor.
- Para un modelo determinado, a mayor columna (Altura Manométrica Total Dinámica "HMTD"), menor capacidad (caudal) y viceversa.
- La potencia absorbida (potencia de freno) es función de la capacidad, de la columna y de la eficiencia de la unidad.

$$\text{POTENCIA HIDRÁULICA (CV)} = \frac{\text{CAUDAL (m}^3\text{/h)} * \text{HMTD (mca)}}{\dots\dots\dots}$$

$$\text{POTENCIA AL EJE DE LA BOMBA (CV)} = \frac{\text{Potencia hidr\u00e1ulica (CV)}}{\text{Eficiencia de la bomba}}$$

$$\text{POTENCIA AL VOLANTE DEL MOTOR (CV)} = \frac{\text{Potencia al eje de la bomba (CV)}}{\text{Eficiencia de la transmisi\u00f3n}}$$

$$\text{POTENCIA RECOMENDADA (CV)} = \text{Potencia al volante} * 1.2$$

Suponiendo que el rendimiento permanece constante, al cambiar la velocidad de la bomba, la capacidad cambiar\u00e1 en proporci\u00f3n directa a la variaci\u00f3n de la velocidad. Al mismo tiempo, la columna variara como el cuadrado del cambio de velocidad, y la potencia variara como el cubo del cambio de velocidad. Esto se expresa en la formula siguiente:

$$\frac{\text{Velocidad impulsor 1}}{\text{Velocidad impulsor 2}} = \frac{\text{Caudal 1}}{\text{Caudal 2}} = \sqrt{\frac{\text{HMTD1}}{\text{HMTD2}}} = \sqrt[3]{\frac{\text{Potencia 1}}{\text{Potencia 2}}}$$

O dicho de otra manera:

$$\left(\frac{\text{Velocidad impulsor 1}}{\text{Velocidad impulsor 2}}\right)^3 = \frac{\text{Potencia 1}}{\text{Potencia 2}}$$

Cuando es necesario variar las caracter\u00edsticas de una bomba que funciona a velocidad constante, se puede modificar el di\u00e1metro del impulsor. Las formulas aplicables para el cambio de capacidad, altura y potencia son similares a las estudiadas al hablar del cambio de velocidad:

$$\frac{\text{Di\u00e1metro impulsor 1}}{\text{Di\u00e1metro impulsor 2}} = \frac{\text{Caudal 1}}{\text{Caudal 2}} = \sqrt{\frac{\text{HMTD1}}{\text{HMTD2}}} = \sqrt[3]{\frac{\text{Potencia 1}}{\text{Potencia 2}}}$$

Estas f\u00f3rmulas son excelentes en los casos de peque\u00f1os cambios de di\u00e1metro del impulsor, pero no son aplicables cuando el di\u00e1metro del impulsor cambia en m\u00e1s de un 10%, porque cuando modificamos el di\u00e1metro del impulsor de una bomba cambiamos la relaci\u00f3n b\u00e1sica entre impulsor y carcasa, y esto varia la configuraci\u00f3n del dise\u00f1o de la bomba.

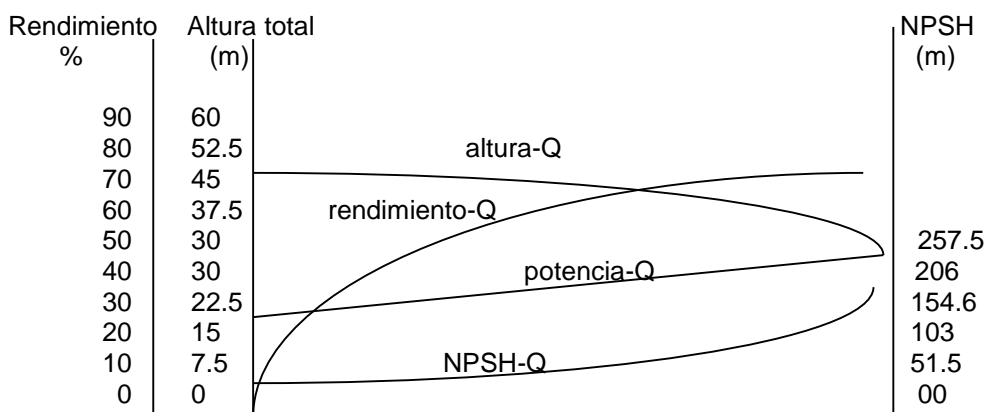
La raz\u00f3n de que estas f\u00f3rmulas sean similares a las del caso de cambio de velocidad, es porque la modificaci\u00f3n en di\u00e1metro del impulsor tiene esencialmente el mismo efecto que un cambio en la velocidad de salida del l\u00edquido del impulsor.

Se puede variar simult\u00e1neamente la velocidad y el di\u00e1metro, en cuyo caso han de usarse las dos series de f\u00f3rmulas del punto conjuntamente.

#### 4- Curvas caracter\u00edsticas

##### 4.1. Altura-Capacidad

Cualquier bomba centrifuga tiene, para determinada velocidad y di\u00e1metro del impulsor una curva caracter\u00edstica que indica la relaci\u00f3n entre la altura (o presi\u00f3n) desarrollada por la bomba y el caudal a trav\u00e9s de la misma. La curva que muestra la Figura N\u00b0 12 es un ejemplo t\u00edpico.



Capacidad en 100 l/m  
fig. 12



A medida que la capacidad aumenta, se reduce la altura total que la bomba es capaz de desarrollar. En general la altura máxima (máxima presión) la desarrolla una bomba en el punto en el que no hay caudal a través de la bomba, esto es cuando la válvula de descarga está totalmente cerrada.

#### 4.2 Potencia absorbida-capacidad

Para que la bomba centrífuga suministre una capacidad determinada hay que suministrarle cierta potencia. Por lo tanto se puede trazar una curva que relacione capacidad y potencia requerida (siempre para determinada velocidad y diámetro de impulsor).

En bombas centrífugas la potencia generalmente aumenta con un incremento de capacidad (Figura N° 12)

#### 4.3 Rendimiento

El rendimiento es la relación entre la potencia teórica o potencia hidráulica y la potencia absorbida (potencia al freno potencia real)

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{POTENCIA TEORICA}}{\text{POTENCIA REAL}} = \frac{\text{CAUDAL} * \text{HMTD} * \text{PESO ESPECIFICO}}{\text{POTENCIA REAL}}$$

Se obtiene del grafico la potencia real para cada valor de Q y Hm. Luego se determina el rendimiento para cada valor de Q y se trata la curva correspondiente (figura N° 4)

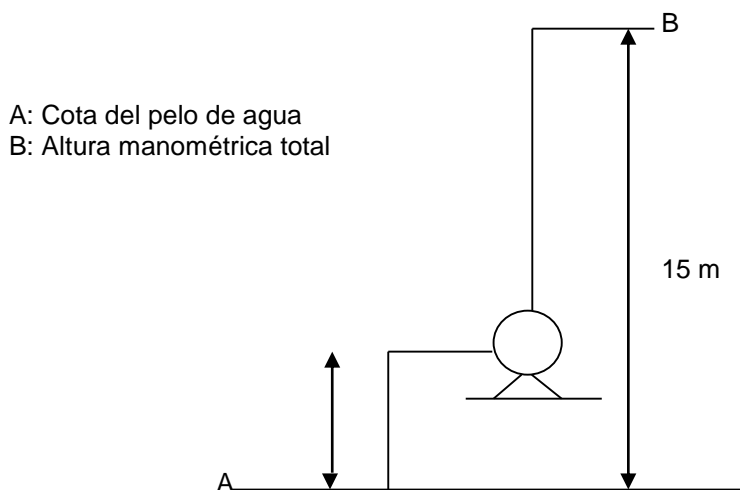
#### 4.4 NPSH (Net positive suction head) “altura neta positiva de aspiración”

NPSH requerida: Es una característica de la bomba que suministra el fabricante y varía según el diseño de la misma. Es aquella energía (expresada en metros de columna líquida) necesaria para llenar la parte de aspiración y las pérdidas por rozamiento y el aumento de velocidad desde la conexión de aspiración hasta los alabes del impulsor.

NPSH disponible: Es la energía que posee el líquido en el orificio de aspiración de una bomba (se puede medir con un manómetro).

Para que una bomba funcione correctamente: NPSH disponible  $\geq$  NPSH requerida

#### 4.5 Curva de columna del sistema:



A: Cota del pelo de agua  
B: Altura manométrica total

Fig. N° 13

Supongamos que tenemos un sistema como el de la Figura N° 13: la diferencia de altura entre A y B es de 15 m y la pérdida de carga por fricción en la tubería (pérdida en tubos, válvulas y accesorios) es de 10m para 550 litros/minuto. Si duplicamos la capacidad, o sea la llevamos a 1100 litros/minuto, la pérdida por fricción se cuadruplicara, o sea que pasara a ser de 40 m. La capacidad esta en relación directa con la velocidad impuesta al fluido. Las pérdidas por fricción son proporcionales al cuadrado de la velocidad.

#### 4.6 Selección de la bomba:

La tarea siguiente consistirá en seleccionar una bomba centrífuga que de cualquier capacidad requerida en este sistema. Supongamos que precisamos bombear 1000 litros/minuto en el sistema citado. En la curva del sistema hallaremos que la bomba que se precisa habrá de dar 50m. de elevación para un caudal de 1000 litros/minuto. Vemos la curva caudal-altura de una bomba centrífuga que básicamente pudiera cumplir con estas exigencias (Figura N° 12) como puede verse, esta bomba nos da 50m de altura para un caudal de 1000 litros/minuto.

Superpongamos la curva de la bomba (Figura N° 12) a la curva del sistema para obtener el Grafico de la Figura N° 7.

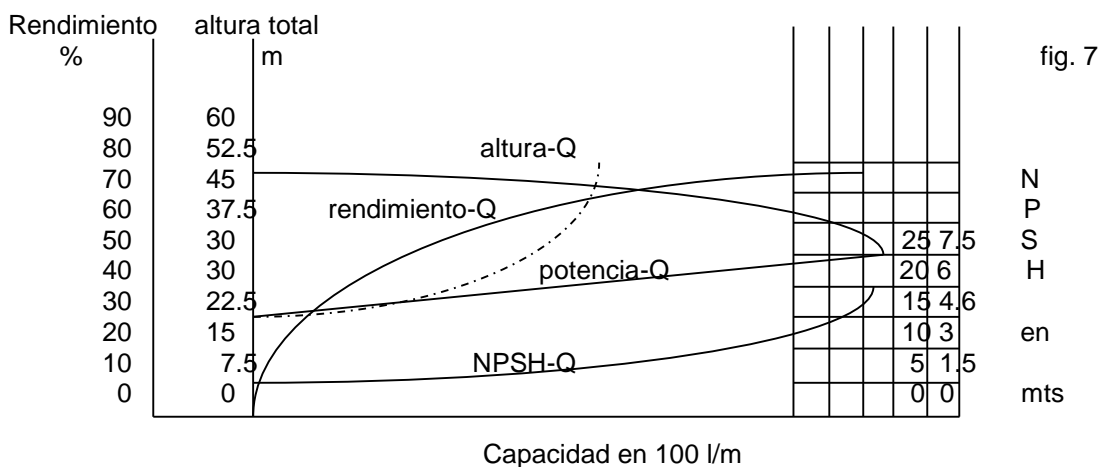
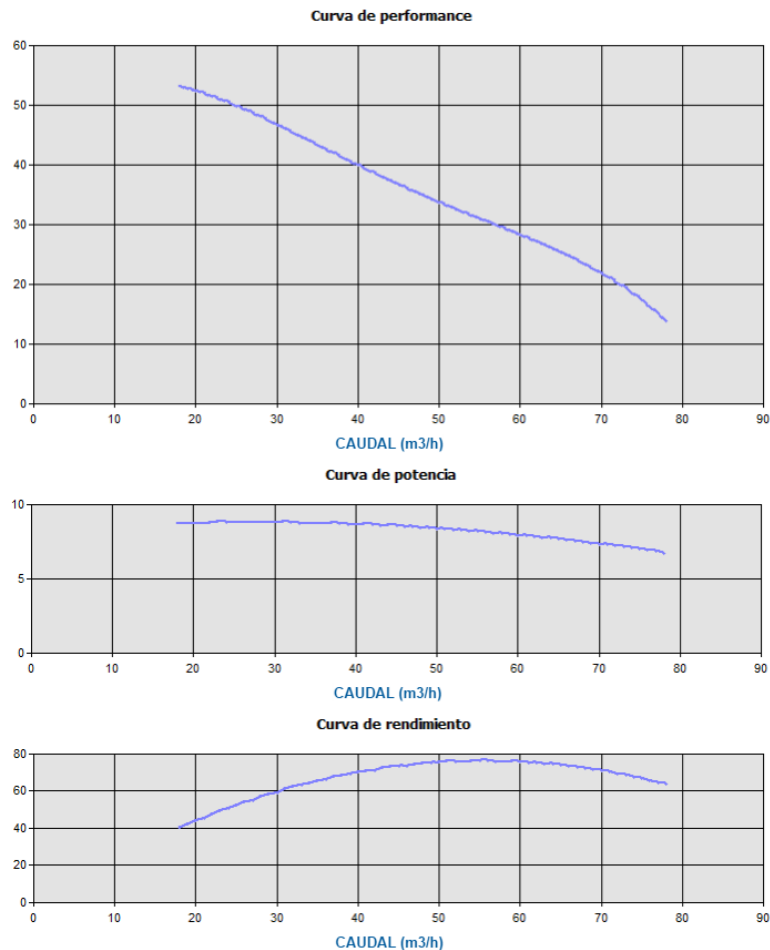


fig. 7  
N  
P  
S  
H  
en  
mts

El punto de intersección de ambas representará la capacidad a que la bomba operará. Este concepto es de mayor importancia y debe recordarse siempre, la capacidad a que la bomba trabaja es aquella que determina la intersección de su curva característica caudal-altura con la curva del sistema. Como la bomba opera con esta capacidad conocemos la potencia, el rendimiento así como el NPSH requerido.

#### 4.7 Velocidades variables:

Cuando una bomba se opera a varias velocidades, puede dibujarse un gráfico que muestre el comportamiento completo para una elevación de succión dada.

Las curvas altura-capacidad se trazan para las diferentes velocidades que se consideran. Luego se superponen las curvas que tienen la misma eficiencia.

Estas curvas de eficiencia constante, llamadas también curvas de isoeficiencia, permiten encontrar la velocidad requerida y la eficiencia para cualquiera de las condiciones de columna-capacidad dentro de los límites de la gráfica.

#### 4.8 Diámetro del impulsor

El primer grupo de curvas características (Figura N° 12) muestra el comportamiento de la bomba para un diámetro de impulsor específico, generalmente el diámetro máximo.

Sin embargo, habitualmente pueden usarse varios diámetros en una carcasa dada.

### 5- Ejemplos

La oferta de bombas en el mercado, cubre prácticamente todas las variables posibles. Por eso a manera de ejemplo daremos un breve panorama de las diferentes situaciones que pueden presentarse en la práctica.

#### 5.1 Bombas de eje horizontal

Cuando la fuente de agua está próxima a la superficie o es posible hacer un antepozo de modo que la distancia entre la bomba y el nivel dinámico de bombeo sea inferior a 6 m., se pueden usar bombas centrífugas de eje horizontal, del tipo voluta (ver esquema en punto dos de este trabajo).

Estas son sencillas y de fácil mantenimiento. El motor puede estar unido a la bomba por un sistema de poleas y correas, o ser una unión cardánica (mayor eficiencia), o formar la bomba un solo cuerpo con el motor (eficiencia de transmisión 100%).

Puede tener la necesidad de ser cebadas o ser autocebantes. Estas bombas nos dan toda una gama de caudales y presiones, desde los menores caudales y más altas presiones, utilizados en riego por aspersión, hasta los más grandes caudales utilizados por ejemplo en arrozales.

Para esto hay toda una gama de diseños y tamaños de las bombas (siempre nos referimos a bombas de eje horizontal, tipo voluta), lo que varía fundamentalmente es el diseño de los impulsores que van desde los de flujo mixto a los de flujo radial, variando además, en sus dimensiones (ancho y diámetro) y yendo de impulsores abiertos o semiabiertos a cerrados (en general se considera que una bomba con impulsores cerrados tienen mayor rendimiento)

Para tener una idea de cómo van variando los caudales y las alturas de elevación, así como la potencia requerida, se transcribe la siguiente tabla proporcionada por un fabricante de bombas:

Modelo	Aspiración	Motor H.P.	Q: litros hora, M: altura de elevación metros, velocidad: 2850 R.P.M.				
			Q	M	M	M	M
3A9-085	1 ¼"	0.5	9	8	6	5	
3A9-105	1 ¼"	1	12	11	10	8	
3A9-120	1 ¼"	1.5	17	14	11	8	
5A1-114	2"	2	16	14	10	7	4
6A1-122	2 ½"	4	20	18	14	10	
6A1-138	2 ½"	5.5	23	20	17	11	
8A1-140	3"	5.5	20	17	14	10	7

8A1-158	3"	7.5	Q	20000	40000	50000	60000	65000
			H	27	22	17	11	5
10A1-158	4"	10	Q	25000	50000	75000	100000	
			H	24	19	14	7	
10A1-178	4"	15	Q	25000	50000	75000	100000	125000
			H	30	25	19	12	4

Los caudales que pueden erogarse con estas bombas, en lo que a riego se refiere, pueden ser de una magnitud tal como los utilizados en arrozales..

### 5.2 Bombas verticales

Cuando el nivel dinámico de bombeo se encuentra a una distancia mayor a 6 m, y no es posible hacer un antepozo, hay que pensar en una bomba de eje vertical tipo sumergida, las que en la práctica se denominan bombas verticales de pozo profundo o turbinas para pozos profundos. Su funcionamiento es, en esencia, igual a las de eje horizontal.

Estas bombas son de sección circular, y en la mayoría de los casos son de varias etapas. Cada etapa agregada aumenta la presión que la bomba puede desarrollar. Así con un diámetro relativamente pequeño, la bomba puede desarrollar una gran presión (mayor altura de elevación). De esto se deduce que, manteniendo el diámetro constante, cuanto mayor sea la profundidad de donde deba elevar el agua, mayor será el número de etapas.

Los impulsores van de semiabiertos a cerrados, de más angostos a más anchos (menor a mayor caudal) y desde flujo radial a flujo mixto (menor a mayor caudal). Para su correcto funcionamiento, estas bombas deben ser colocadas de modo que siempre funcionen por debajo del nivel dinámico de bombeo (la sumergencia es indicada por el fabricante).

En el mercado interno se encuentran bombas de este tipo para colocar en perforaciones con un diámetro interior de entubamiento que va de 4 a 18" con caudales desde 5 a 800 m<sup>3</sup>/hora, hay fabricantes de bombas de este tipo para caudales de hasta 1900 m<sup>3</sup>/hora.

La altura de elevación que pueden dar es desde pocos metros hasta 168 m. (existe en el mercado local).

Damos a continuación, a modo de ejemplo un cuadro proporcionado por un fabricante nacional.

PERFORACION. Diámetro interior (mínimo) del entubamiento	Régimen aprox VELOCIDADES	CAUDALES
Pulgadas	R.P.M.	M <sup>3</sup> /hora
4	2800	5 – 20
6	1400 – 2000	5 – 25
6	1750 – 3450	10 – 75
8	1400 – 2000	30 – 75
8	1400 – 2900	70 – 180
10	1400 – 2000	120 – 200
10	1400 – 2000	180 – 300
12	1400 – 1800	200 – 400
12 – 14	1400 – 1800	350 – 550
16 - 18	1200 – 1500	400 - 800

La principal exigencia para el correcto funcionamiento de estas bombas es que la perforación sea perfectamente vertical.

### 5.3 Electrobombas sumergibles

Como hemos visto en el párrafo anterior podemos colocar una bomba de eje vertical a profundidades mayores de 100m, pero como el motor se encuentra en la superficie, el eje que transmite el movimiento del motor a los impulsores de la bomba, va adquiriendo un peso tal que origina, para su

propio movimiento, mayores gastos de potencia (menor rendimiento de la bomba). Además la mayor longitud del caño camisa y el empleo de mayor número de accesorios (acoplamiento, cojinetes, estrellas de centrado), hacen que la bomba se encarezca cada vez más.

Por eso cuando el nivel dinámico de bombeo está a una profundidad mayor a los 30-40 m y se dispone de una fuente de energía eléctrica se recurre a una electrobomba con motor sumergido (llamada electrobomba sumergible).

Esta es una bomba de eje vertical igual a las ya vistas pero con el motor en su extremo inferior, formando el motor y la bomba una unidad compacta donde el eje de transmisión se reduce al mínimo.



Como vemos solo sale a la superficie la cañería de descarga y los cables que conectan el motor con un tablero de comando, convenientemente protegidos.

Con este tipo de bombas se han llegado a profundidades de hasta 4000 m.

O sea que en las condiciones de trabajo del Ingeniero Agrónomo, no vamos a encontrar limitante por profundidad de la napa.

Además pueden colocarse en perforaciones que presentan torceduras tomando la precaución de ubicar la unidad más arriba o más debajo de la falla.

Los problemas que se presentan con este tipo de bombas son los siguientes:

El agua debe estar exenta totalmente de sólidos.

Ante una falla del motor, debe elevarse a la superficie el conjunto formado por la bomba y el motor.

Los diámetros en que se fabrican estas bombas, los caudales erogados y los diferentes diseños de impulsores son similares a los que consideramos en las bombas verticales de pozo profundo.

A modo de ejemplo damos un cuadro suministrado por un fabricante

Perforación mínima	Caudal m <sup>3</sup> /h	Altura m/man.	Motor C.V.	Tipo bomba
6"=152 mm	6 – 12	Hasta 150	5 – 10	SU 140
6"=152 mm	15 – 45	Hasta 140	5 – 17.5	SU 147
6"=152 mm	25 – 50	Hasta 90	5 – 17.5	SU 172
8"=202 mm	40 – 100	Hasta 120	15 – 36	SU 185
8"=202 mm	70 – 140	Hasta 70	15 – 36	SU 195
10"=254 mm	100 – 250	Hasta 100	20 – 70	SU 240

Es fundamental que se tomen todas las precauciones para que la bomba y su motor funcionen siempre por debajo del nivel dinámico de bombeo (sumergencia recomendada por el fabricante).

#### 5.4 Un caso especial

Existen otros tipos de bombas verticales sumergidas con un impulsor del flujo radial, que se usa en casos especiales: elevación de agua de fuentes superficiales (riego de arroz con agua de ríos o arroyos, desagotes, etc.). Por la característica de su impulsor, dan muy poca altura de elevación, pero en cambio, grandes caudales.

## 6- Elección de una bomba

### 6.1 Pasos a seguir:

Básicamente hay 5 pasos que son:

- 1) Confeccionar un diagrama de la disposición de la bomba y tuberías.
- 2) Determinar la capacidad.
- 3) Calcular la columna total.
- 4) Estudiar las condiciones del agua (ph, temperatura, contenido de abrasivos)
- 5) Elegir la clase y tipo

Estos 5 pasos se conocen como: tamaño, clase y mejor compra

### 6.2 Datos que se le debe proporcionar al fabricante

- 1) Datos del agua: ph, temperatura, contenido de abrasivos, análisis de la calidad y cantidad de las sales y sólidos en suspensión presentes.
- 2) Capacidad
- 3) Columna: Altura de succión. Altura de descarga. Altura geométrica. Perdidas de carga, columna total del sistema.
- 4) Servicio que prestara: Continuo, intermitente
- 5) Tipo de energía que se dispone para mover la bomba y características de la misma
- 6) Localización de la instalación: Localización geográfica, elevación sobre el nivel del mar, variación de la temperatura ambiente.

Estos datos se le deben proporcionar a varios fabricantes de modo de tener distintas ofertas y así elegir la más conveniente.

Como criterio, hay que tener en cuenta que los fabricantes consultados sean conocidos por su seriedad y que ofrezcan garantías de repuesto y servicio.

### 6.3 Propuesta

La mayor parte de los fabricantes combinan su recomendación y proposición en un solo documento que se llama propuesta. La propuesta usual contiene la siguiente información: Numero de modelo de la bomba, clase, tipo, construcción: detalles y materiales; tipo de motor para el que se ha diseñado la bomba, curvas de operación con tabulaciones, peso unitario, precio, tiempo de entrega de la bomba después de recibida la orden y disposiciones o acuerdos legales con respecto a planos, transporte, etc. Incluido con la propuesta viene una ilustración de la bomba y un catálogo.

## 7- Selección de la instalación de potencia

Para elegir el motor hay que tener en cuenta:

- a) Clase y disponibilidad de combustible
- b) Potencia necesaria para el bombeo
- c) Costo inicial y depreciación
- d) Clase y tipo de transmisión que se necesite
- e) Grado de eficiencia que la planta de bombeo debe tener.

### 7.1- Motores eléctricos

Las ventajas de este tipo de motores, son: su duración, seguridad, facilidad de manejo y bajo costo de mantenimiento.

Los inconvenientes no derivan prácticamente del motor sino de las características del suministro de energía eléctrica: estas sin las características que interrumpen el funcionamiento y variaciones en el voltaje que pueden hacer que los motores se quemen.

También se presenta como desventaja la construcción de líneas eléctricas hasta cada uno de los emplazamientos donde funcionan los motores y los costos derivados de la instalación de transformadores.

Los motores monofásicos no son en general útiles para cargas superiores a los 75 c.v. El motor ideal de agua para riego es el motor de inducción de 220 a 440 voltios, de corriente trifásica.

### 7.2- Motores de combustión interna

Se utilizan dos tipos de combustión interna: 1) encendido por chispa, y 2) encendido por compresión, sistema diesel. Los sistemas de encendido por chispa utilizan nafta, mientras que el diesel utiliza gasoil ò fuel-oil. Para que los motores diesel, cuyo costo inicial es mucho mayor que los de encendido a chispa, sean rentables, es preciso que sean utilizados durante el ciclo agrícola, un número de horas superior a estos. Por regla general, los motores a nafta ò los eléctricos monofásicos se emplean cuando son necesarias potencias inferiores a 7,5 CV. Para potencias entre 7,5 y 40 CV se emplean motores eléctricos trifásicos y de nafta. Para potencias superiores a los 40 CV los motores diesel son los más indicados.

### 8 Costo del bombeo

A continuación damos solo un esquema de los factores que intervienen cuando se hace un cálculo de los costos de bombeo.

#### 1-Costo inicial

Exploración y localización del manto acuífero  
 Perforación o construcción del pozo  
 Pruebas de rendimiento  
 Costo de mano de obra  
 Construcción de su base  
 Costo del motor y su instalación  
 Costo de la caseta para la bomba y el motor

#### 2-Costo fijo

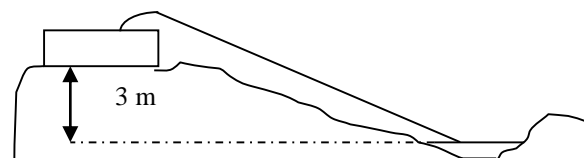
Intereses a pagarse con la inversión  
 Contribuciones e impuestos  
 Seguros  
 Depreciación del pozo y su forro, de la bomba, del motor, del equipo de control y caseta.

#### 3- Costo de operación

Fuerza eléctrica o combustibles y lubricantes  
 Reparaciones (repuestos y mano de obra)  
 Eficiencia total de planta de bombeo  
 Mano de obra

## **EJERCITACIÓN**

- 1) Un tanque australiano de 270 m<sup>3</sup> de capacidad es llenado regularmente por una bomba centrífuga, en visible estado de deterioro, en un lapso de 5 horas. Una cañería d 4" de diámetro y 79.50 m de longitud vincula el tanque con una acequia próxima. Sabiendo que la potencia de la bomba es de 5 CV, las pérdidas de carga en todo el sistema son de 8.8 m. por cada 100m. de cañería y no existe altura de elevación, determinar cuál es el rendimiento actual de la bomba.



- 2) Calcular la potencia necesaria para una bomba cuando con una eficiencia del 70 % se desea llenar un tanque de 40 m<sup>3</sup> en un lapso de 20 minutos, sabiendo que:

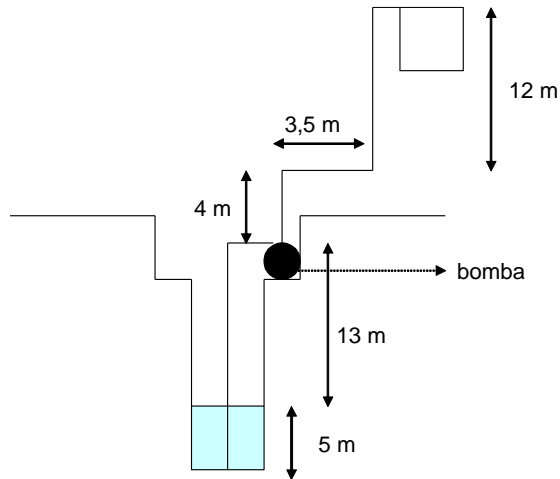
H aspiración: 3 m                      H elevación: 26 m                      Diámetro tubería: 3 “  
 Perdidas de carga generalizada: 2 %                      Longitud de la cañería: 325 m  
 Perdidas de carga localizadas: 20 % (H geométrica + J generalizadas)

- 3) Calcular el caudal en l/s que eroga una cañería de 4" de diámetro cuando interviene en un sistema de aspersión

con las siguientes características:

Potencia: 1875 kgm/s      Altura de aspiración: 25 m      Altura de elevación: 45 m  
 Presión operativa: 2 atm.      Altura de los portarregadores: 0.5 m  
 Pérdidas de carga: 16 % de la altura geométrica      Rendimiento de la bomba: 70 %

- 4) Calcular la altura manométrica total (m) (10 puntos), la potencia hidráulica (CV) (5 puntos) y la potencia al volante del motor (CV) (5 puntos) para las siguientes condiciones de trabajo:  
 Cultivo: arroz      Mes Diciembre       $f=0,031$       pérdidas de carga localizadas: 2 atm       $E_t0: 4,5 \text{ mm/día}$        $K_c$   
 arroz: 1,9       $V = 1,21 \text{ m/s}$       Superficie a regar: 40 ha      Jornada de trabajo: 16 hs  
 Eficiencia de la bomba: 70 %      Eficiencia transmisión motor/bomba: 85 %



- 5) Calcular la Potencia Hidráulica (cv) de una Bomba que satisface las siguientes necesidades  
 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ ; Diferencia de nivel entre el eje de la bomba y el punto de descarga de 5 m; Aspiración desde 5,5 m; Alimentar un sistema de riego conectado por una tubería de 250 m de longitud, 8 pulgadas de diámetro y coeficiente de fricción  $f = 0,022$ .

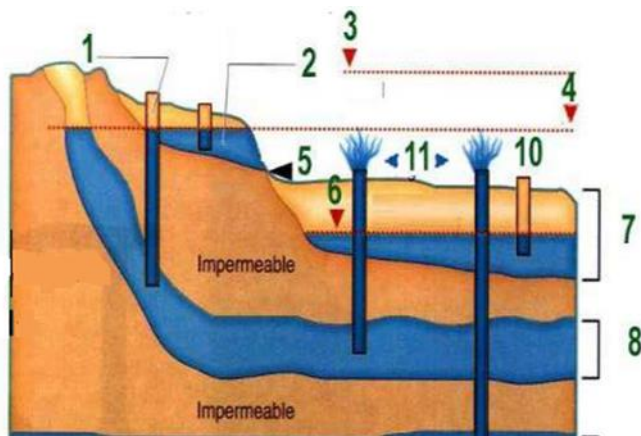
**Revisión de contenidos:**

Una secuencia lógica de trabajos a realizar para acceder al agua subterránea, sería:

- a. perforación – encamisado – engravado - colocación de filtro - desarrollo
- b. perforación - colocación de filtro – engravado – cementación – encamisado
- c. perforación – encamisado – cementación – colocación de filtro – engravado
- d. perforación – desarrollo – engravado - colocación de filtro – encamisado
- e. perforación – cementación – encamisado - colocación de filtro – engravado
- f. perforación - engravado - colocación de filtro – desarrollo – cementación

Indique entre los paréntesis, con el número que le corresponde en la gráfica:

- Pozo Artesiano ( )
- Nivel piezométrico teórico del acuífero confinado ( )
- Acuífero libre ( )
- Acuífero semiconfinado ( )





Pozo normal ( )

1. Completar:

Bomba de eje vertical  
Bomba vertical  
Bomba centrífuga de eje horizontal  
Bomba sumergida

