

2 of
89



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**LOCALIZACION, DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE
POZOS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.**

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

ANDRES JUAREZ ORTIZ



FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

Junio 1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

LOCALIZACION, DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE POZOS
PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

I N D I C E	PAG.
I. INTRODUCCION.	1
A. OBJETIVO DE LA TESIS	2
B. CONTENIDO	2
C. ANTECEDENTES	4
II. ASPECTOS GENERALES DEL AGUA DEL SUBSUELO.	7
A. CICLO HIDROLOGICO	9
B. DISTRIBUCION DEL AGUA DEL SUBSUELO	10
C. ACUIFEROS	15
D. FUNCIONES DE LAS CAPAS ACUIFERAS	18
E. LEY DE DARCY	20
F. FLUJO DE AGUA EN LOS ACUIFEROS	22
G. FORMACIONES GEOLOGICAS	32
III. OBJETIVOS Y METODOS DE LA EXPLORACION DEL AGUA DEL SUBSUELO.	38
A. TIPOS DE ESTUDIO DE EXPLORACION	39
B. TECNICAS AUXILIARES EN LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS	44
C. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS NO CONSOLIDADAS	49
D. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS PLUTONICAS Y METAMORFICAS	64
E. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS VOLCANICAS	73
F. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS SEDIMENTARIAS CONSOLIDADAS	78
G. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS KARSTICAS	84

IV. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS DE AGUA POTABLE.	86
A. DISEÑO DE UN POZO	87
B. CONSTRUCCION DE UN POZO	110
V. EQUIPOS DE BOMBEO.	133
A. GENERALIDADES	134
B. MAQUINAS HIDRAULICAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	138
C. MAQUINAS ROTODINAMICAS	151
VI. CONSERVACION DE POZOS.	180
A. CONSERVACION PREVENTIVA	181
B. RAZONES PARA CEMENTAR UN POZO	183
C. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACION VIA CEMENTACION	183
D. PROTECCION ANTICORROSIVA	183
E. SELLADO DE ACUIFEROS SALOBRES	184
F. DESINFECTADO	184
G. REGLAS DE MANTENIMIENTO	185
VII. CONCLUSIONES.	188
BIBLIOGRAFIA.	191

CAPITULO I

INTRODUCCION.

- A. OBJETIVO DE LA TESIS.**
- B. CONTENIDO.**
- C. ANTECEDENTES DEL AGUA SUBTERRANEA.**

A. OBJETIVO DE LA TESIS.

El objetivo de este trabajo, es de servir como manual básico de inroducción, para proporcionar instrucción y guía para aquellas personas quienes han tenido poca o ninguna experiencia en la exploración y explotación de pozos para abastecimiento de agua potable.

Se ha hecho un gran esfuerzo en que el tema fuese lo más sencillo posible, a fin de tener un trabajo útil, tanto para ingeniero, como para el alumno, a quien se le proporciona el material básico para el estudio de esta técnica.

B. CONTENIDO.

En el capítulo II "ASPECTOS GENERALES DEL AGUA POTABLE", se trata las características hidráulicas de las aguas subterráneas, el origen de las mismas, su comportamiento en el subsuelo, las características más importantes y de una manera general la formación del suelo.

Cabe señalar que estos conceptos no son tratados con mucha profundidad, ya que se pretende únicamente con este trabajo ser una - - guía.

En el capítulo III "OBJETIVOS Y METODOS DE LA EXPLORACION DEL AGUA DEL SUBSUELO", se proporciona un especto general de posibilidades para la localización de agua de mantos acuíferos en diferentes formaciones geológicas, señalando las principales características de que componen las formaciones estudiadas.

En el capítulo IV "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS DE AGUA", se menciona de una manera práctica el diseño de pozos de agua potable, - mostrando de igual manera, los métodos de perforación más usados - en estos trabajos.

El capítulo V "EQUIPOS DE BOMBEO", se da una clasificación de las bombas y una breve explicación de su funcionamiento, así como sus principios hidráulicos.

En el capítulo VI "CONSERVACION DE POZOS", se dan las reglas fundamentales para la conservación preventiva de los pozos que abastecen de agua potable y también los que se encuentran en funcionamiento.

Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo y la bibliografía empleada.

C. ANTECEDENTES DEL AGUA SUBTERRANEA.

El agua es un elemento necesario para los procesos de vida, tanto animal como vegetal y ésta misma tiene una influencia tan grande, que es causa muy importante de las modificaciones del paisaje que se tenga en nuestro mundo. Su disponibilidad y lo accesible que se tenga para el hombre, permitirá un desarrollo amplio o limitado en todos los aspectos, tales como sanitarios, industriales, urbanos, etc.

Debido a la explotación industrial desde el siglo pasado, se ha -- utilizado en forma masiva el agua dulce superficial, la que es evi dente y accesible para el hombre.

Dada la explotación exhaustiva de los manantiales, corrientes y al macenamientos superficiales y en otras zonas, las carencias totales de estas fuentes, han incrementado en los últimos años la utilización de las aguas subterráneas para satisfacer las necesidades que se tengan.

Las grandes inversiones que se han realizado para la explotación - del petróleo, han permitido que las técnicas utilizadas se adapten para la perforación de pozos de agua subterránea, por lo que ha da do motivo a que se incremente el uso en muchas partes del mundo. Así mismo el desarrollo de la hidrología ha permitido la localización, estudio y cuantificación de acuíferos y aprovechamientos sub terráneos.

En México; la construcción de captaciones para el aprovechamiento de aguas subterráneas, es necesaria la participación del gobierno para las soluciones municipales y agrícolas, teniendo sólo una pequeña participación el sector industrial y privado, en la perforación y equipamientos de pozos.

El desarrollo de los medio de información y el acceso de los peque

ños núcleos de población a ésta, han creado una gran conciencia en la utilización de aguas desde el punto de vista sanitario y ha evidenciado la necesidad de dar agua a toda nuestra población.

El aprovechamiento de agua subterránea data de tiempos inmemoriales; ya en el Viejo Testamento se encuentran numerosas referencias de ella. Fue utilizada por el hombre antes de siquiera entender su origen, existencia y movimiento dentro del suelo. Los filósofos griegos y romanos dejaron escritas explicaciones del origen de las fuentes y del agua subterránea.

Hasta el siglo XVII se pensaba que el agua que emergía de las fuentes brotantes y corría por los ríos no podía ser derivada únicamente del agua de la lluvia. Se creía que la cantidad era poca y que la tierra era demasiado impermeable para permitir la penetración del agua bastante profundo bajo la superficie. De esta manera, filósofos griegos como Homero, Tales y Platón presentaron hipótesis acerca de la formación de las fuentes debido a la conducción del agua del mar a través de canales subterráneos bajo las montañas, posteriormente purificada y elevada a la superficie.

Aristóteles sugirió que el aire con cierto contenido de humedad, penetraba dentro de las cavernas en donde se condensaba el agua y contribuía al abastecimiento de las fuentes.

Un importante paso hacia adelante fue dado por el arquitecto romano Vitruvius, quien explicó la teoría actualmente aceptada de la infiltración de grandes cantidades de agua de lluvia que se recibe en una cuenca, las cuales se percolan a través del suelo y emergen en las laderas o bases de las montañas en forma de fuentes. Sin embargo, las teorías contrarias a ésta quedaron a través de la Edad Media hasta el Renacimiento. Leonardo da Vinci, en el siglo XV, enfocó la teoría de la infiltración en forma notable, teniendo un claro enfoque del ciclo hidrológico, incluyendo la infiltración del agua de lluvia y su afloramiento en manantiales.

Una definición del ciclo hidrológico clara, fue dada a conocer en la última parte del siglo XVII y por primera vez, las teorías fueron basadas en datos y observaciones cuantitativas. Principalmente tres europeos hicieron conclusiones notables; Pierre Perrault midió el agua de lluvia durante tres años y estimó las cantidades de agua que drenaban a través del río Sena, reportando en 1674 que la precipitación en la cuenca era cercana a seis veces la descarga del río, por tanto desmintió la teoría que decía que el agua de lluvia era escasa. El físico francés Edmé Marriotté confirmó el trabajo de Perrault. La tercera contribución importante fue la del astrónomo inglés Edmun Halley, que reportó medidas de evaporación en el mar, demostrando que ésta es suficiente para abastecer todas las fuentes y corrientes existentes sobre la tierra.

Durante el siglo XVIII, se establecieron los primeros fundamentos geológicos que dan una base firme para la comprensión del movimiento y ocurrencia del agua subterránea. En la primera mitad del siglo XVIII fueron perforados muchos pozos artesianos en Francia, estimulando así el interés en el agua subterránea. El ingeniero hidráulico Henry Darcy estudió el movimiento del agua a través de las arenas en su tratado publicado en el año de 1856. Varias contribuciones importantes fueron hechas ya dentro del siglo XIX por Boussinec, Daubreé, Dupuit y Thiem. En el siglo XX se incrementó el estudio de la hidrología, muchos europeos participaron con la publicación de sus trabajos especiales; R. Dachler, E. Imbeaux, K. Keilhale, W. Kohene, U. Kozeny, E. Prinzy y G. Thiem son los más conocidos actualmente.

Las contribuciones americanas para el conocimiento de la hidrología fueron hechas en un corte intervalo del final del siglo XIX y en la época presente se han hecho tremendos avances.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES DEL

AGUA DEL SUBSUELO

- A. CICLO HIDROLOGICO.
- B. DISTRIBUCION DEL AGUA DEL SUBSUELO.
- C. ACUIFEROS.
- D. FUNCIONES DE LAS CAPAS ACUIFERAS.
- E. LEY DE DARCY.
- F. FLUJO DE AGUA EN LOS ACUIFEROS.
- G. FORMACIONES GEOLOGICAS.

Por agua subterránea, se entiende el agua que ocupa todos los vacíos dentro de un estrato geológico. El agua subterránea comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático.

La mayor cantidad de agua subterránea proviene de aquella infiltrada a través de los diferentes estratos del suelo, aunque una mínima parte de la misma puede tener otros orígenes.

El proceso por medio del cual se incrementa el volumen del agua subterránea se conoce como recarga, la cual ocurre principalmente en época de lluvias.

El agua del subsuelo, al igual que la superficial se mueve por gravedad a través de las formaciones permeables y aflora en la superficie del suelo alimentando a ríos y lagos.

A las formaciones geológicas permeables que contienen agua subterránea se les conoce con el nombre de acuíferos.

Las aguas subterráneas son una importante fuente de abastecimiento en todo el mundo; su uso para riego, industrias, municipios y casas rurales va en aumento.

El uso del agua en los aspectos agrícolas-industriales, refinerías, fábricas de papel, plantas metalúrgicas y productos químicos, han incrementado y acelerado la extracción de agua en los años recientes y las estadísticas indican que continuará en aumento.

El agua subterránea muestra en su utilización algunas razones que la hacen más deseable que la que escurre superficialmente, tales como:

1. Está comúnmente libre de organismos patógenos y no necesita purificación para uso doméstico o industrial.

2. La temperatura es prácticamente constante.
3. La composición química es comúnmente constante.
4. El volumen almacenado del agua subterránea es generalmente mayor que el volumen de aguas superficiales.
5. La contaminación radioquímica y biológica de la mayoría de las aguas subterráneas, es más difícil que la de corrientes y almacenamientos superficiales.
6. El agua subterránea ha sido almacenada por la naturaleza, a través de los años de recarga y se puede obtener en muchas áreas en las cuales no se puede depender del abastecimiento de aguas superficiales.

A. CICLO HIDROLOGICO.

Es el nombre que se le da a la circulación del agua en estado líquido, de vapor o sólido; desde los océanos al aire, del aire a la tierra, sobre la superficie de ésta o bajo el suelo y de nuevo a los océanos.

Este se inicia con la evaporación del agua en los océanos. El vapor de agua se transporta en masas por el aire hasta alcanzar tierra. - bajo ciertas condiciones, el vapor se condensa para formar nubes y éstas transformarse en precipitación. La mayor parte de esta agua es retenida temporalmente en la superficie, otra va hacia la atmósfera por evaporación. Mientras una porción del agua es transpirada por las plantas, otra viaja por la superficie formando canales y ríos. La última porción del agua se infiltra en el suelo para formar parte de las aguas subterráneas, que en nuestro caso será cuestión de estudio.

Con influencia de la gravedad, tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo, se mueven hacia partes más bajas hasta descargar a los océanos nuevamente.

En las figuras (2.1 y 2.2) puede apreciarse el ciclo hidrológico, primero en una forma esquemática y otra una representación cualitativa.

B. DISTRIBUCION DEL AGUA DEL SUBSUELO.

El agua que se encuentra en los intersticios de las rocas se puede dividir en dos zonas, figura (2.3), de aireación y la saturación.

En la zona de aireación, los poros del suelo están parcialmente rellenos de agua y parcialmente rellenos de aire. En la zona de saturación, el agua llena totalmente (para efectos prácticos) los vacíos del suelo. Por lo general la primera zona se encuentra arriba de la segunda. Al lugar geométrico de los puntos de la zona de saturación en que la presión del agua es igual a la presión atmosférica se le llama nivel de aguas freáticas o mejor conocido como nivel freático. (N.F.).

a. ZONA DE AIREACION.

Como habíamos mencionado, la zona de aireación se extiende de la superficie de la tierra al nivel al cual todos los poros o espacios se encuentran saturados de agua. Dado que una mezcla de agua y aire se encuentra en los poros en esta zona, se ha dividido en tres capas más:

1. Capa del agua del suelo.
2. Capa intermedia.
3. Borde capilar.

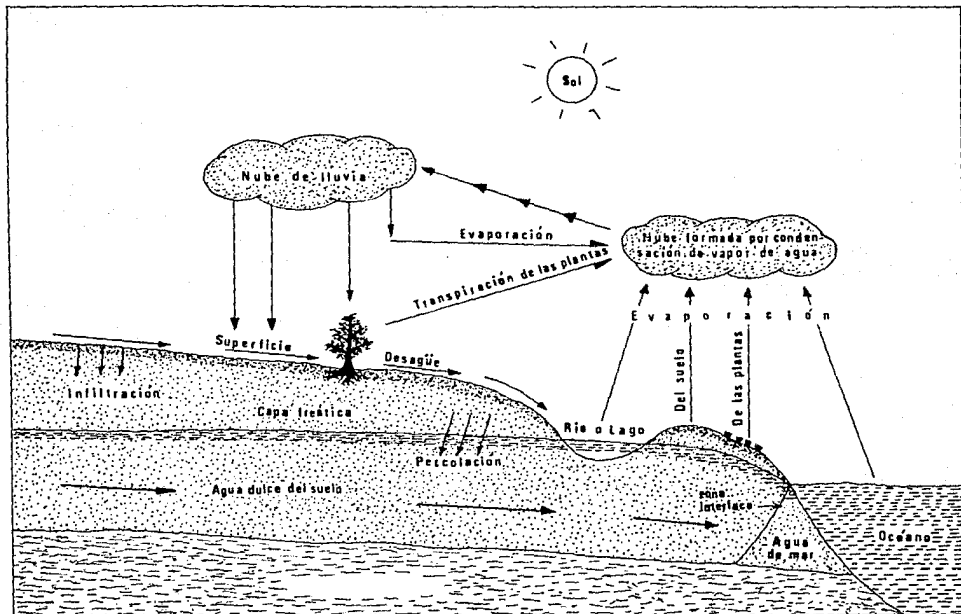
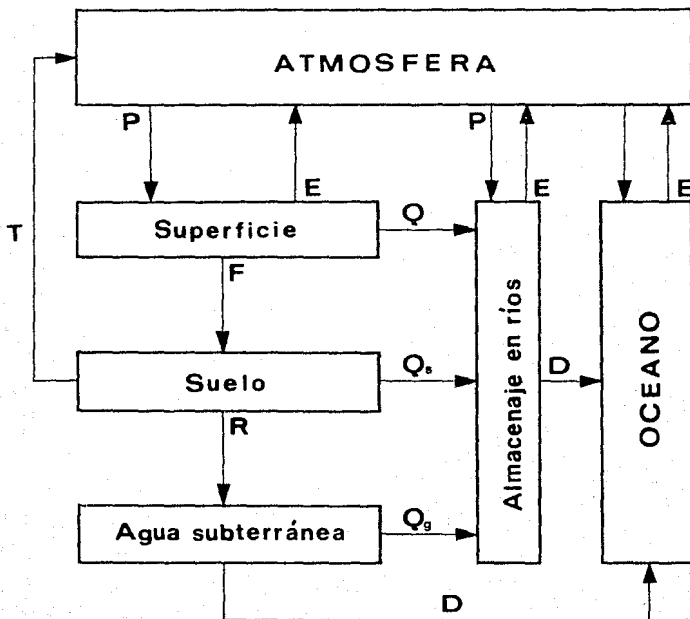


Figura 2.1 Ciclo Hidrológico. Representación Esquemática.



E - EVAPORACION	P - PRECIPITACION	T - TRANSPIRACION
Q - ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	Q _s - ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL	Q _g - ESCURRIMIENTO SUBTERRANEO
F - INFILTRACION	D - DESCARGA A LOS OCEANOS	R - RECARGA

Figura 2.2 Ciclo Hidrológico. Representación Cualitativa.

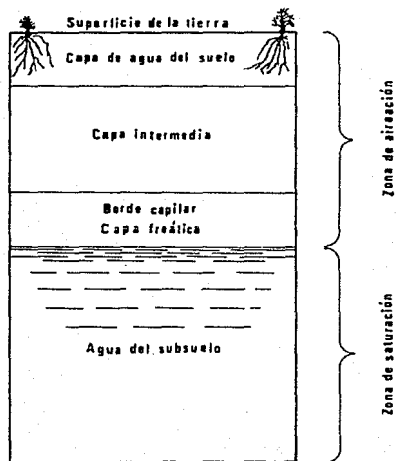


Figura 2.3 Divisiones del agua del subsuelo.

1. CAPA DEL AGUA DEL SUELO.

Se encuentra inmediatamente debajo de la superficie y esta es la región en donde las plantas extraen la humedad necesaria para su desarrollo. El espesor de esta capa varía unos cuantos metros en las tierras compactadas y áreas de cultivo, hasta varios metros en los bosques y tierras que soportan plantas de raíces profundas.

2. CAPA INTERMEDIA.

Se encuentra entre la capa del agua del suelo y el borde capilar. La mayor parte de su agua llega por gravedad hacia abajo o a través de la capa de agua del suelo. El agua de esta capa se le conoce también como agua vadosa.

3. BORDE CAPILAR.

Se encuentra sobre la zona de saturación y su nombre procede del hecho que el agua está suspendida por fuerzas capilares, así que su espesor depende de la textura de la roca o del suelo y puede ser cero cuando los poros son muy grandes.

b. ZONA DE SATURACION.

Es en donde se encuentra el agua subterránea, y como todos los intersticios están llenos, la porosidad es una medida directa del agua por unidad de volumen. Sin embargo, a causa de las fuerzas moleculares en la superficie de los poros, no toda el agua puede ser extraída.

El agua de la zona de saturación se conoce como agua del subsuelo y es la única forma de agua del subsuelo que puede fluir fácilmente hacia un pozo.

C. ACUIFEROS.

Un acuífero es una formación o grupo de formaciones geológicas de las que pueden ser extraídas cantidades significativas de agua.

La recarga de un acuífero puede ser artificial o natural y el líquido puede retornar a la superficie por acción de la gravedad por extracción mediante un pozo. Los acuíferos pueden clasificarse en:

1. Acuíferos libres no confinados.
2. Acuíferos confinados.
3. Acuíferos semiconfinados.

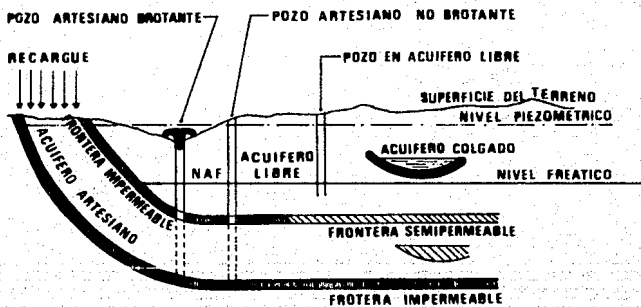


Figura 2.4 Tipos de Acuíferos.

1. ACUIFERO NO CONFINADO.

Un acuífero no confinado o libre es igual que la superficie superior de la zona de saturación, está a la presión atmosférica y a esta superficie se le llama nivel freático como ya antes se había mencionado. Así de esta manera el agua dentro de un pozo realizado en estos acuíferos se elevará hasta el N.F.

2. ACUIFEROS CONFINADOS.

Los acuíferos confinados son también conocidos como artesianos o acuíferos a presión y ocurren en donde el agua se encuentra a presiones mayores que la atmosférica, por ubicarse entre estratos impermeables.

3. ACUIFEROS SEMICONFINADOS.

Son aquellos acuíferos que están confinados por uno o dos estratos semipermeables y que por lo mismo presenta una conexión vertical con otro acuífero de tal forma que al existir un desequilibrio de presiones entre ellos, por recarga o descarga del acuífero, dan lugar a un flujo vertical que aunque pequeño por unidad de área, puede llegar a ser de interés cuando el radio de influencia cubre un área importante; llegando la recarga vertical en algunos casos, a tener el mismo valor de la descarga, llegándose así a la estabilización del cono de abatimiento.

4. COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S).

Se define como el volumen de agua que un acuífero deja o toma, del almacenamiento por área unitaria de la superficie del acuífero por unidad de carga. Si se considera una columna vertical de sección cuadrada de 1 cm x 1 cm. a través del acuífero, el coeficiente de almacenamiento será el volumen de agua en cm³. que se extrae cuando el nivel piezométrico disminuye 1 cm. de carga.

El coeficiente de almacenaje para un acuífero no confinado corresponde a su rendimiento específico (fig. 2.5 b).

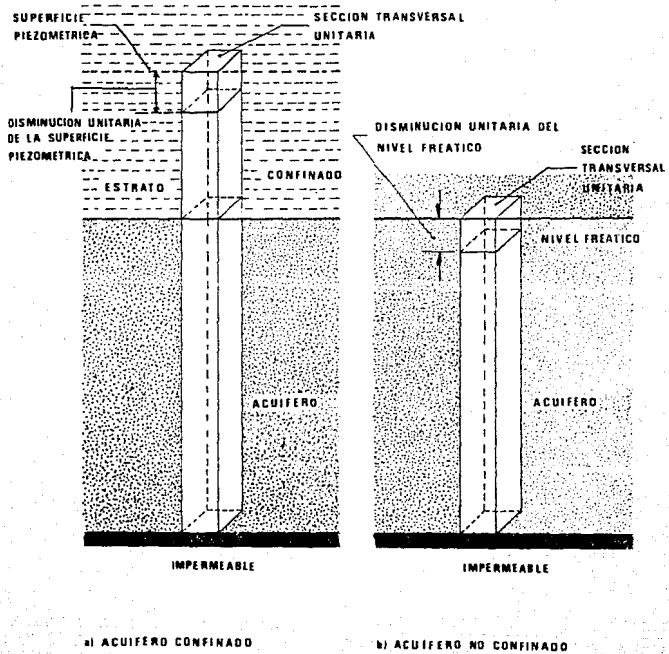


Figura 2.5 Definición del coeficiente de almacenamiento.

D. FUNCIONES DE LAS CAPAS ACUIFERAS.

Las aberturas y los poros en un acuífero pueden considerarse como una red de tubos comunicados en los cuales fluye el agua a velocidades muy pequeñas

Estos tubos sirven para proporcionar almacenamiento y flujo a través del manto acuífero.

1. FUNCION DEL ALMACENAMIENTO.

Relacionadas con esta función se encuentran la porosidad y el rendimiento específico.

a. POROSIDAD.

La porosidad de una roca o suelo es una medida del contenido de intersticios, se expresa como un porcentaje del espacio vacío al volumen total de la masa y queda definida como:

$$n (\%) = 100 \frac{w}{v} \dots\dots\dots 2.1$$

en donde

- v = Volumen de la masa
- w = Volumen de vacíos
- n = Porosidad del porcentaje

La cantidad de agua que se puede obtener de una formación saturada es menor que la que contiene y por tanto no está representada por la porosidad, sino es una propiedad conocida como rendimiento específico.

b. RENDIMIENTO ESPECIFICO (S_u) Y RETENCION ESPECIFICA (S_r).

Se define como el volumen de agua liberado de un volumen unitario del material de la capa acuífera, cuando se permita fluir por gravedad

Existe un volumen que queda retenido por fuerzas capilares y por -- otras fuerzas de atracción, a este volumen se le conoce como retención específica y se expresa en porcentaje al igual que el rendimiento específico. De esta manera la porosidad puede expresarse como:

$$n = S_y + S_r \dots\dots\dots 2.2$$

C. CONDUCCION.

La propiedad de una capa acuífera relacionada con su función se conoce como permeabilidad, la cual es una medida de la capacidad de un acuífero para conducir agua. Es proporcional a la diferencia de presión y la velocidad del flujo entre dos puntos que están en condiciones de flujo laminar, se expresa mediante la Ley de Darcy.

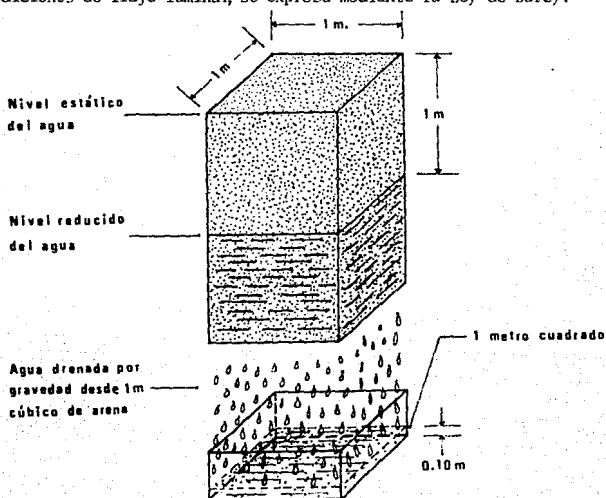


Figura 2.6. Representación visual del rendimiento específico.

E. LEY DE DARCY.

El movimiento del agua subterránea está gobernado por principios - hidráulicos establecidos. El flujo a través de acuíferos, la mayoría de los cuales son medios porosos naturales, puede expresarse - con la ley de Darcy.

La verificación de la Ley de Darcy puede hacerse utilizando un cilindro lleno de arena con un área transversal A , al cual se le colocan tomas piezométricas a una distancia L y se hace pasar - agua originando un gasto (Fig. 2.7).

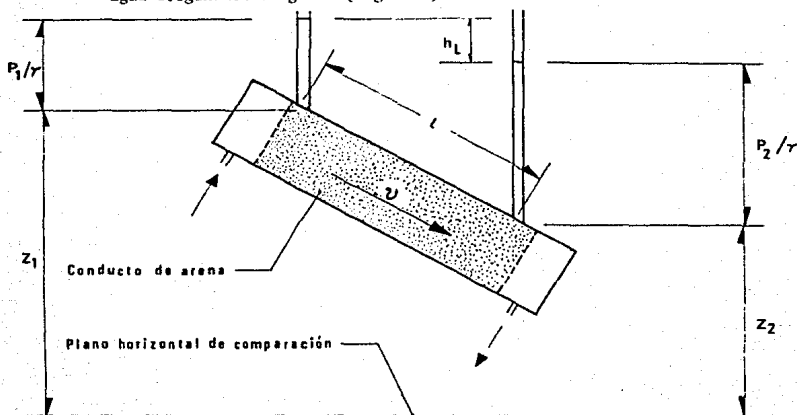


Figura 2.7 Distribución de presiones y pérdidas de carga con un flujo o a través de un conducto de arena.

De ahí que el gasto a través del cilindro de arena sea:

$$Q = \frac{Ak (h_1 - h_2)}{L} \dots\dots\dots 2.3$$

en donde

Q = Gasto en (m³/s)

h_1 = Carga de presión en el punto de entrada a la sección del conducto, considerado en (m) columna de agua.

h_2 = Carga de presión en el punto de salida a la sección del conducto, considerado en (m) columna de agua

L = Longitud de la sección en (m)

k = Constante conocida como permeabilidad en (m/s)

A = Area transversal en (m²)

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre dos succiones se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \dots\dots\dots 2.4$$

$\frac{P}{\gamma}$ = Carga de presión en (m).

$\frac{V^2}{2g}$ = Carga de velocidad en (m).

Z = Carga de posición en (m).

h_L = Pérdidas por carga en (m).

Como la velocidad en un medio poroso es muy pequeña, las cargas de velocidad se pueden anular, así la carga se puede expresar en:

$$h_L = \left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \right) \dots\dots\dots 2.5$$

Darcy encontró que la velocidad era igual a:

$$v = k \frac{h_L}{L} \dots\dots\dots 2.6$$

en donde

$\frac{hL}{L}$ se le conoce como gradiente hidráulico (i).

1. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.

Este coeficiente k de permeabilidad depende de las propiedades del medioporoso y del fluido que circula por él. Esto quiere decir que k puede ser multiplicado por un coeficiente independiente de la propiedad del flujo, es decir que:

$$k = f(\mu, \gamma, d)$$

μ = Viscosidad del agua

γ = Peso específico

d = Diámetro del grano representativo

2. COEFICIENTE DE TRANSMISIBILIDAD.

Considerando una sección transversal vertical de una capa acuífera cuya anchura es igual a la unidad y con espesor total d , gradiente i y el coeficiente de permeabilidad k se tiene que el gasto a través de esta sección transversal es:

$$q = k d i \dots\dots\dots 2.7$$

Al producto kd se le conoce como coeficiente de transmisibilidad T de la capa acuífera.

F. FLUJO DE AGUA EN LOS ACUIFEROS.

1. FLUJO ESTABLECIDO UNIDIRECCIONAL EN ACUIFEROS ARTESIANOS.

Considerando un acuífero artesiano de espesor constante D homogéneo, isótropo y de extensión infinita por un lado y por el otro se

encuentra limitada por una masa de agua, además confinado entre -- dos estratos impermeables (Fig. 2.8).

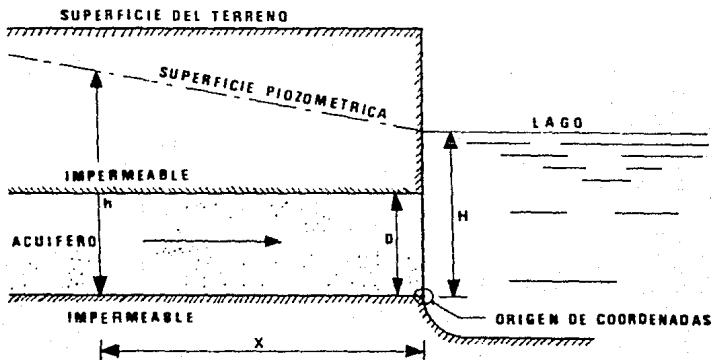


Figura 2.8 Flujo establecido unidireccional en un acuífero artésiano.

Se supone que existe un flujo dentro del acuífero hacia la masa de agua libre.

Por contraste de un flujo unidireccional, la ecuación de Laplace - se reduce en este caso a la expresión:

$$\Delta^2 h = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = 0 \dots\dots\dots 2.8$$

La ecuación es de la forma

$$h = C_1 x + C_2 \dots\dots\dots 2.9$$

Las condiciones de frontera para el caso mostrado en la (Fig. 2.8) son:

$$h = H \quad x = 0$$

de ahí que

$$C_2 = H_2$$

Si q es el gasto por unidad de ancho en el sentido perpendicular al papel la ecuación de Darcy quedaría:

$$q = k i D \dots\dots\dots 2.10$$

q = Gasto por unidad de ancho

i = Gradiente hidráulico igual a cualquier sección vertical

D = Espesor del acuífero

De la ecuación (2.9) tenemos:

$$i = \frac{dh}{dx} = C_1 \dots\dots\dots 2.11$$

por lo que la ecuación (2.10) queda:

$$q = k C_1 D \text{ y } C_1 = \frac{q}{kD} \dots\dots\dots 2.12$$

ahora substituyendo C_1 y C_2 en la ecuación (2.9) resulta:

$$h = \frac{q}{kD} x + H \dots\dots\dots 2.13$$

Ecuación de la superficie piezométrica.

2. FLUJO ESTABLECIDO RADIAL EN POZOS CON PENETRACION TOTAL EN ACUIFEROS ARTESIANOS.

Si consideramos una sección circular (isla) en donde existe un --- acuífero artesiano cuyo espesor es D constante tal y como se puede observar en la Fig. 2.9

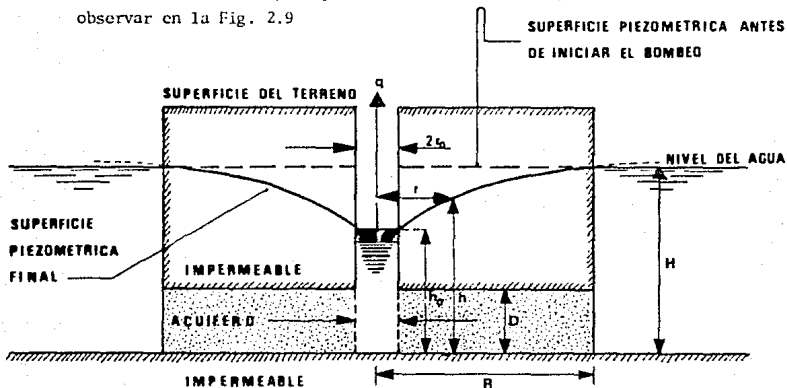


Figura 2.9 Flujo radial establecido hacia un pozo de bombeo con penetración total en un estrato acuífero artesiano.

Considérese que se construye un pozo en el centro de la formación geológica penetrando totalmente el acuífero artesiano, en el cual se bombea un gasto constante q .

Cuando el flujo de agua hacia el pozo se ha establecido y el nivel del mismo permanece constante y la superficie piezométrica original se abate como se muestra en la fig. 2.9, se ha formado el llamado cono de depresión de la superficie piezométrica.

Lo que interesa en este problema es encontrar relación que ligue el gasto que se bombea del pozo con el abatimiento que se produce en la superficie piezométrica. Para poder aplicar así las hipóte--

sis de Dupoit se considera que el flujo hacia el pozo es horizontal en todo el acuífero y el gradiente hidráulico en todo el punto del acuífero está dado por la tangente de la superficie piezométrica en la sección vertical que se considere y su valor

$$i = \frac{dh}{dr}$$

Tomando el eje del pozo como origen el gasto extraído a través de un cilindro de radio r vale:

$$q = k i A = k \frac{dh}{dr} = 2 \pi r D \dots\dots\dots 2.14$$

de donde

$$dh = \frac{q}{2 \pi k D} \frac{dr}{r}$$

integrando

$$h = \frac{q}{2 \pi k D} \ln r + C \dots\dots\dots 2.15$$

en donde C puede ser valuarse considerando la condición de frontera, según la que

$$h = H - \frac{q}{2 \pi k D} \ln \frac{R}{r} \dots\dots\dots 2.16$$

La ecuación 2.16 puede calcular la depresión de la superficie piezométrica en cualquier punto en torno al pozo.

3. FLUJO ESTABLECIDO EN POZOS CON PENETRACION PARCIAL EN ACUIFEROS ARTESIANOS.

Cuando la rejilla del pozo por la cual entra el agua no cubre todo el espesor del estrato, se denomina de penetración parcial, la - - fig. (2.10) muestra el caso.

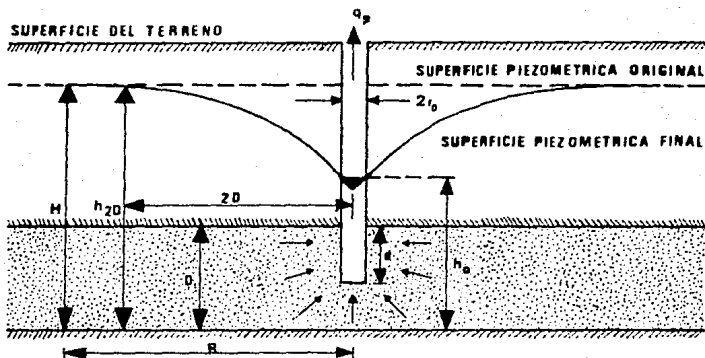


Figura 2.10 Flujo radial establecido hacia un pozo de bombeo con penetración parcial en un estrato acuífero artésiano.

Se puede observar que el flujo radial ya no es completamente horizontal, sino el flujo de agua es como se indica en la fig. 2.10.

Si el gasto que se extrae es el mismo tanto en la penetración parcial como en la total, el abatimiento del agua en el pozo de penetración parcial, será mayor que el que ocurriría en el de penetración total en el mismo pozo.

Tanto teórica como experimentalmente se ha encontrado que a una -- distancia $r \geq D$ a partir del eje del pozo, el efecto de la penetración parcial es apreciable, tanto en las condiciones de flujo -

como en el abatimiento de la superficie piezométrica.

El problema de los pozos parcialmente penetrantes ha sido estudiado por diversos investigadores y la solución que aquí se presenta es la de G. J. de Gleen para un pozo que penetra una distancia "d" la diferencia de niveles piezométricos entre el pozo y un punto situado a la distancia $2D$ de su eje

$$h_{2D} - h_0 = \frac{q_p}{4 \cdot k} \left[\frac{2}{d} \ln \frac{\pi d}{2r_0} + \frac{0.2D}{D} \right] \dots\dots\dots 2.17$$

La ecuación 2.17 es válida cuando se cumplen las condiciones de --

$$d/\varphi \leq 0.75 \text{ y } d/2r_0 \geq 5$$

d = Distancia penetrada

D = Ancho del acuífero

$2r_0$ = Diámetro del pozo

Se puede calcular el abatimiento total que tiene el agua en el pozo respecto al nivel piezométrico original H , que será igual al -- abatimiento dado por la ecuación 2.17 más el abatimiento que se -- tenga a la distancia $2D$ del pozo. Calculado ya este último con las fórmulas del pozo de penetración total, puede escribirse:

$$H - h_0 = (H - h_{2D}) + (h_{2D} - h_0) \dots\dots\dots 2.18$$

De la ecuación 2.16

$$H - h_{2D} = \frac{q_p}{2 \pi k D} \ln \frac{R}{2D} \dots\dots\dots 2.19$$

Sustituyendo 2.19 y 2.17 en la (2.18) se obtiene:

$$H - h_o = \frac{q_p}{2\pi k} \left[\frac{1}{D} \ln \frac{R}{2D} + \frac{1}{d} \ln \frac{d}{2r_o} + \frac{0.10}{D} \right] \dots\dots\dots 2.20$$

Es posible encontrar la relación que existe entre los gastos de dos pozos, uno de penetración parcial y otro total con las ecuaciones - 2.21 y 2.20 (despejando q_p)

$$\text{de ecuación 2.16} \quad q = 2\pi kD \frac{H - h_o}{\ln \frac{R}{r_o}} \dots\dots\dots 2.21$$

$$\frac{q_p}{q} = \frac{\ln \frac{R}{r_o}}{\ln \frac{R}{2D} + \frac{D}{d} \ln \frac{\pi d}{2r_o} + 0.10} \dots\dots\dots 2.22$$

La ecuación 2.22 es de gran importancia, pues se puede encontrar el gasto que se tiene en un pozo parcialmente penetrado en función del que se puede obtener en uno de penetración total que tiene el mismo nivel de agua.

En la figura 2.10 se presenta una gráfica de los resultados de la ecuación 2.22 en función de la relación d/D y para $D/r_o = 5, 20, 100$ y 500 , considerando siempre que la relación $R/r_o = 1,000$.

Es importante notar que la ecuación 2.22 es también aplicable al caso en que la rejilla del pozo esté abierta en la parte inferior del acuífero y ciega en la superior, en vez del caso inverso que se ha dibujado en la fig. 2.9.

VALORES $q_{p/q}$

$\frac{d}{D}$	$\frac{d}{2 r_o} = 5$	$\frac{d}{2 r_o} = 20$	$\frac{d}{2 r_o} = 50$	$\frac{d}{2 r_o} = 100$	$\frac{d}{2 r_o} = 500$
0.05	0.1231	0.0838	0.0692	0.0611	0.0481
0.10	0.236	0.1655	0.1382	0.1299	0.0977
0.15	0.3374	0.2438	0.2061	0.1844	0.1483
0.20	0.4271	0.3181	0.2721	0.2453	0.1997
0.25	0.5065	0.3880	0.3361	0.3053	0.2516
0.30	0.5762	0.4538	0.3979	0.3640	0.3039
0.35	0.6378	0.5153	0.4572	0.4213	0.3564
0.40	0.6921	0.5728	0.5142	0.4772	0.4090
0.45	0.7401	0.6264	0.5686	0.5316	0.4617
0.50	0.7826	0.6763	0.6207	0.5843	0.5143
0.55	0.8202	0.7229	0.6703	0.6353	0.5667
0.60	0.8537	0.7662	0.7176	0.6847	0.6189
0.65	0.8835	0.8065	0.7626	0.7324	0.6708
0.70	0.9101	0.8441	0.8054	0.7784	0.7223
0.75	0.9339	0.8790	0.8461	0.8228	0.7734
0.80	0.9552	0.9115	0.8848	0.8656	0.8240
0.85	0.9743	0.9418	0.9215	0.9067	0.8741
0.90	0.9915	0.9701	0.9564	0.9463	0.9237
0.95	1.00	0.9964	0.9895	0.9844	0.9726
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Figura 2.10 Relación de los gastos de pozos de penetración parcial y total para un mismo abatimiento del agua en su interior para $d/2r_o = 5, 20, 50, 100$ y 500 .

4. FLUJO ESTABLECIDO RADIAL EN POZOS CON PENETRACION TOTAL EN ACUIFEROS LIBRES.

Se trata del caso de un pozo de bombeo que penetra totalmente un acuífero libre o no confinado, dentro del cual se define un nivel freático. Se considera al suelo que forma el acuífero homogéneo, isótropo y con una frontera inferior impermeable y horizontal.

Considérese una vez más una isla de radio R , en cuyo centro está el pozo de bombeo. Fig. (2.11).

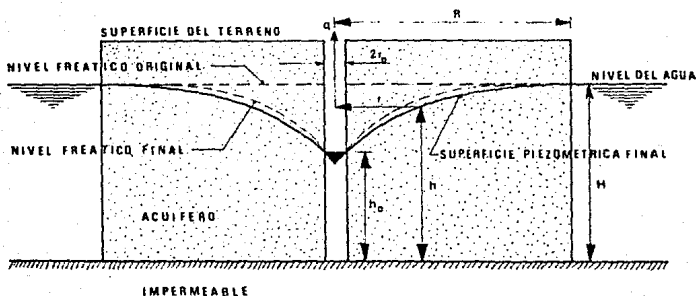


Figura 2.11 Flujo radial establecido hacia un pozo con penetración total en un acuífero libre.

Si se bombea un gasto q constante del pozo hasta llegar a una condición de equilibrio (flujo establecido), puede obtenerse una ecuación que relacione el gasto extraído con el abatimiento del agua en el pozo con base en las hipótesis de Dupuit.

Aplicando la Ley dearcy a un cilindro de radio r y altura h puede escribirse:

$$q = k i A = k \frac{dh}{dr} 2 \pi r h \dots\dots\dots 2.23$$

en donde se obtiene:

$$\frac{dr}{r} = \frac{2 \pi k}{q} h dh \dots\dots\dots 2.24$$

integrando la ecuación y tomando en cuenta que:

$$\begin{aligned} h &= H \quad \text{para } r = R \\ h &= h_0 \quad \text{para } r = r_0 \end{aligned}$$

se tiene:

$$\left[\ln r \right]_{r_0}^R = \frac{2 \pi k}{q} \left[\frac{h^2}{2} \right]_{h_0}^H$$

en donde:

$$q = \pi k \frac{H^2 - h_0^2}{\ln \frac{R}{r_0}} \dots\dots\dots 2.25$$

La ecuación (2.25) proporciona el gasto de bombeo en función de la permeabilidad del acuífero, el radio del pozo, el radio de influencia del pozo y la altura (H) del nivel freático respecto al plano de frontera impermeable y la altura del agua en el pozo en relación al mismo plano de referencia.

G. FORMACIONES GEOLOGICAS.

Por facilidad en geología se han considerado todo tipo de suelo como rocas. Las rocas pueden ser consolidadas, es decir, que se en-

cuentran firmemente unidas por compactación, cimentación u otros -- procesos. Como por ejemplo, tenemos el granito, arenisca y caliza -- y como no consolidadas, la arcilla, arena, grava; es decir, mate--- riales sueltos.

Las formaciones acuíferas pueden estar compuestas de rocas consoli-- dadas y no consolidadas en los que los componentes rocosos deben -- ser suficientemente porosos y permeables.

1. CLASIFICACION DE LAS ROCAS.

Las rocas son los materiales esenciales con lo que está constitui-- da la tierra, la definición de roca que se le da al material suelto es a causa que han sido derivadas de una material que estuvo compac-- tado.

Todas las rocas pueden dividirse en tres grandes grupos basándose -- en su modo de originarse.

- 1.- Rocas ígneas, formadas por la solidificación de un material fun-- dido que se enfría.
2. Rocas sedimentarias, las cuales incluyen rocas formadas en la su-- perficie de la tierra por las acumulaciones de lodo, arena y gra-- va derivados del intemperismo y transporte de rocas preexisten-- tes. Otras rocas sedimentarias como calizas y yeso, están com--- puestas casi en su totalidad de material depositado de solucio-- nes.
3. Rocas metamórficas, formadas a profundidades bajo gran presión y calor por la alteración de rocas ígneas o sedimentarias.

1. ROCAS IGNEAS.

Son aquellas que resultan del enfriamiento y solidificación de los materiales calientes, fundidos, llamados magma; que se originan a --

grandes profundidades dentro de la tierra. Cuando la solidificación tiene lugar a una profundidad considerable, a las rocas se les conoce como intrusivas o plutónicas, mientras que las que se solidifican en la superficie del suelo o cerca de ella se llaman extrusivas o volcánicas.

Las rocas intrusivas, son de textura gruesa y no porosa y no se consideran como capas acuíferas. Sin embargo, se ha encontrado agua en grietas y fracturas de las porciones superiores, atacadas por cambios climatológicos.

Las rocas volcánicas, a causa de un enfriamiento relativamente rápido que tiene lugar en la superficie, usualmente son de textura fina y de apariencia cristalizada. El basalto es de textura fina y de apariencia cristalina, es una de las principales rocas de este tipo y puede ser altamente poroso y permeable como resultado de aberturas comunicantes llamadas vesículas, formadas por el desarrollo de burbujas de gas cuando la lava se enfria.

Los materiales de fragmentación descargados por los volcanes, tales como cenizas y escoria, se conocen como formadores de capas acuíferas excelentes. Sus capacidades para producir agua varían considerablemente, dependiendo de la complejidad de la estratificación, el grado del tamaño y la forma de las partículas.

A continuación se expone una descripción breve de las principales rocas ígneas.

- a) Granito. Los minerales esenciales necesarios para la clasificación del granito, son el feldespato de potasio y el cuarzo, el feldespato de plagioclasa y la mica biotita.

El calor del granito es blanco, gris, rosado o rojo, dependiendo principalmente al color del feldespato.

Usualmente son de textura gruesa y no porosa.

- b) Sienita. Similar a la textura del granito, pero con menos sílice y poco cuarzo.
- c) Diorita. Es poco común, contiene abundantes minerales oscuros, - cuando se presenta cuarzo se conoce como diorita de cuarzo.
- e) Riolita. Es el equivalente extrusivo del granito, sus granos más sobresalientes son el cuarzo y es de varios colores y se presenta muy a menudo.
- f) Gabro. Sus principales minerales son la piroxena y el feldespato plagioclasa, pero también puede contener hornblenda y olivino - que lo hace ser una roca ígnea básica típica.
- g) Basalto. Es el más abundante. Cuando sus vesículas están rellenas por minerales como cuarzo o calcita se conocen como amígdalas.

2. ROCAS SEDIMENTARIAS.

Son los depósitos del material derivado de la acción del clima y la erosión por otras rocas. Aun cuando son aproximadamente el 5% de la corteza terrestre, constituyen un 95% estimado del agua del subsuelo.

Las rocas sedimentarias pueden ser consolidadas o no consolidadas - según cierto número de factores tales como: roca que les da origen, forma de desgaste por la acción del tiempo, medios de transporte; - forma del depósito, y el grado de acumulación, compactación y cementación.

Generalmente, las rocas más duras producen sedimentos de textura -- más gruesa, tal como la erosión por desintegración mecánica, provocada por fracturas de una roca debido a variaciones de temperatura,

en cambio la descomposición química produce texturas más finas.

La mejor distribución y acumulación es la que propicia el agua al llevar materiales directamente en la tierra.

Los constituyentes químicos de las rocas originales y el medio ambiente explican la cementación de las rocas no consolidadas para transformarse en consolidadas duras. De igual manera estos factores influyen en la capacidad de contener agua de las rocas sedimentarias.

Los sedimentos desintegrados de arcilla, son usualmente de grano fino y constituyen acuíferos pobres, mientras que los sedimentos formados de granito y otras rocas cristalinas forman buenas capas acuíferas de arena y grava. Cuando la circulación de agua produce que las partículas se redondeen, se tienen formaciones excelentes.

La arena, grava y las mezclas de estos materiales, constituyen las mejores formaciones que contienen agua. Varían en tamaño de partícula y en el grado de distribución y redondez de éstas. consecuentemente varía su capacidad para contener agua.

Otras capas acuíferas sedimentarias no consolidadas son depósitos marinos, aluviales o de corrientes; los depósitos por acarreo glaciares y por efectos del viento. Las capacidades de almacenar agua en estas formaciones también varía según sea la finura.

La caliza y la dolomita son ejemplares de rocas sedimentarias consolidadas, conocidas por su función como estratos acuíferos. Las fracturas o grietas causados por movimientos de la tierra, y ayudadas por efecto del flujo haciendo canales de disolución, forman aberturas comunicantes por las cuales circula el líquido y pueden ser considerables cuando se han formado canales de disolución.

La arenisca, usualmente formada por la compactación de la arena depositada por los ríos cerca de las playas existentes, es otra forma de roca sedimentaria consolidada que se comporta como capa acuífera. Las capacidades de producción de agua de las areniscas varían según los grados de cementación y fracturación.

Las arcillas y otros barros similares compactos y cementados, usualmente no se consideran capas acuíferas.

3. ROCAS METAMORFICAS.

Es el nombre que se da a las rocas de todos los tipos, ígneas o sedimentarias que se han aflorado por calor y presión, tales como - - cuarzita, esquisitos, pizarra, mica, etc. Generalmente estas formaciones resultan ser pobres y se obtiene agua solamente de grietas o fracturas.

CAPITULO III.

OBJETIVOS Y METODOS DE LA EXPLORACION DEL AGUA DEL SUBSUELO.

- A. TIPOS DE ESTUDIO DE EXPLORACION.
- B. TECNICAS AUXILIARES EN LOS ESTUDIOS
HIDROGEOLOGICOS.
- C. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS
NO CONSOLIDADAS.
- D. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS
PLUTONICAS Y METAMORFICAS.
- E. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS
VOLCANICAS.
- F. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS
SEDIMENTARIAS CONSOLIDADAS.
- G. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS
KARSTICAS.

La exploración de aguas subterráneas, es el contenido de operaciones o trabajos que permiten la localización de acuíferos o embalses subterráneos de los cuales se puede obtener agua en cantidad y calidad adecuada para el fin que se pretenda.

La expresión "explotación" de aguas subterráneas se refiere al conjunto de operaciones o trabajos que permiten el aprovechamiento de las aguas contenidas en los acuíferos. Cuando esta explotación es planificada racionalmente y controlada, conduce a un buen aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

A diferencia de los recursos superficiales en donde las etapas de investigación, estudio previo, anteproyecto, proyecto, construcción y explotación suelen ser sucesivas; y están por lo general netamente separados, en cambio la exploración en los embalses subterráneos pocas veces es aceptablemente completa, hasta que no se observa su reacción durante un cierto tiempo y con una explotación controlada. Por lo general, las tareas de exploración del subsuelo suelen ser más complejas y costosas que las que exige la realización de un proyecto de aguas superficiales, pero en cambio, la inversión para su explotación resulta ser más reducida.

Con lo anterior no se puede decir que siempre son mejores las soluciones de aguas subterráneas, pues existen muchos factores físicos, económicos, políticos y legales, los cuales hay que estudiar para encontrar la solución más oportuna. Otro punto interesante a considerar, es que no hay una frontera definida de las exploraciones de aguas subterráneas y su explotación, sino que es necesario que exista una continuidad entre la etapa de exploración y la de la explotación.

A. TIPOS DE ESTUDIO DE EXPLORACION.

Es muy difícil decir qué tipo de estudio se debe tener, pues éstos

varían de acuerdo al objetivo que persigue la exploración, ya que no es igual suministrar agua potable a una ciudad de 50,000 habitantes, que si se trata de hacer un primer reconocimiento en los embalses subterráneos de un país en vias de desarrollo, cuya área es de un millón de kilómetros cuadrados.

Como se puede observar, no existe una clasificación general para los estudios de exploración, pues no hay que olvidar que entre la exploración y la explotación de aguas subterráneas no hay una separación definitiva. No obstante ésto, se han distinguido tres tipos de estudios:

1. Preliminares y de reconocimiento.
2. Generales.
3. Detallados.

1. PRELIMINARES Y DE RECONOCIMIENTO.

El objetivo fundamental suele ser localizar las zonas de mayor interés (embalses subterráneos más importantes) y dar una primera estimación de sus dimensiones, parámetros hidrológicos de las zonas de descarga y recarga y de la cantidad de volumen del agua.

2. ESTUDIOS HIDROLOGICOS GENERALES.

Este tipo de estudio cuenta como objetivo principal, el tener una cuantificación lo más aproximada de los embalses subterráneos localizados en los estudios preliminares.

En esta etapa es muy importante realizar una investigación de la cantidad de pozos, sondeos mecánicos, ensaye de bombeo y análisis químicos y muchas veces algún pozo experimental.

3. ESTUDIO DE DETALLE.

Su objetivo es reconocer la cantidad de aguas subterráneas capaz de solucionar una demanda concreta de abastecimiento en una zona

urbana. Este tipo de estudio suele ser tanto de exploración como de explotación y en éstos los datos hidrológicos anteriormente obtenidos son muy importantes.

B. TECNICAS AUXILIARES EN LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS.

La hidrología subterránea es una ciencia interdisciplinaria y por tanto tiene que hacer uso de múltiples técnicas y métodos de otras áreas de las que puede no ser muy afin y por tanto deberán ser tratadas por otros especialistas.

1. Recopilación de datos. En esta parte se tiene mucho interés en los estudios preliminares o de reconocimiento. Muchas veces son difíciles de conseguir, pero ésto no sólo ahorra mucho dinero y tiempo, sino que es la única forma de obtener datos históricos sobre los niveles piezométricos o de la cantidad del agua que contenga un manto subterráneo.
2. Demanda del agua. Por lo general el objetivo principal de los estudios hidrogeológicos es la necesidad de atender la demanda actual o futura de agua a una población. Aún cuando el técnico en aguas subterráneas no tenga que realizar detalladamente este estudio, debe tener un sentido de magnitud y de la exactitud -- con que son proporcionados los datos.

1. METODOS GEOLOGICOS.

Los mapas topográficos, geológicos y las fotografías aéreas son -- los factores principales para el estudio de las aguas subterráneas y en cuanto a los estudios preliminares no se cuenta con datos hidrológicos. Son éstos el único apoyo para hacer las deducciones hidrogeológicas.

En muchas ocasiones un hidrólogo debe manejar cuidadosamente los datos proporcionados por los mapas, de tal manera se asegura que --

tendrá que hacer varias hipótesis para elegir la más provechosa o la más verdadera posible.

a. DATOS GEOLOGICOS.

Principalmente se basan en la cartografía geológica de la superficie, lo que provoca registrar en un plano la litología o estratigrafía y las características estructurales de los afloramientos, aún cuando también es muy importante observar las fotografías aéreas,

En esta parte del estudio entra paralelamente los sondeos mecánicos y la investigación geofísica, que trabajándolos conjuntamente nos darán la profundidad y la historia geológica de los materiales.

2. ESTUDIOS CLIMATOLOGICOS.

La precipitación y la evapotranspiración son los factores cuantitativamente más importantes en el balance hidráulico de una región cualquiera. Es indudable que no es lo mismo estudiar una región con una precipitación media anual de 200 mm que una con 1500 mm. Sin embargo, como norma general, no debe dedicarse mucho tiempo a su estudio en los trabajos de exploración.

Se recuerda que los cálculos de evapotranspiración pueden hacerse por distintos métodos, pero ninguno de ellos tiene gran garantía cuando se extrapola a regiones y cultivos distintos de aquellos en los que fue deducido. Estos métodos pueden considerarse más adecuados para calcular las dotaciones de riego que la evapotranspiración real de una región amplia.

3. METODOS DE HIDROLOGIA DE LA SUPERFICIE.

La información de la ubicación y el gasto de los manantiales es muy importante, pues resume en muchos aspectos las condiciones hidrogeológicas de la zona. Por ello es un tema al que se debe conceder desde el principio, la debida importancia. Los aforos periódicos

cos deben iniciarse lo antes posible en el caso de que no existan.

A efectos de los estudios de reconocimiento y preliminares, el estudio de los ríos y lagos tiene también un gran interés, pues en general son líneas de drenaje de los acuíferos más someros. Las excepciones a esta generalización son las siguientes:

- a. Lagos colgados.
- b. Lagos y ríos alimentados por acuíferos confinados.
- c. Tramos de ríos que no reciben descarga alguna.
- d. Ríos influentes.

Cuando en una región se observan diferencias de nivel importante entre lagos próximos y la naturaleza geológica de los terrenos que son poco permeables, es muy probable que los lagos estén "colgados".

Los ríos o lagos alimentados por acuíferos confinados y no por un acuífero somero, pueden darse en regiones en la que la geología -- tenga estructuras adecuadas para ello (fallas, zonas de fracturas, afloramientos de acuíferos confinados, etc.) pero en general será preciso hacer un estudio detallado para comprobar esta hipótesis.

Los tramos en que los ríos no reciben ninguna descarga ni escurrimientos subterráneos corresponden por lo general, a su tránsito a través de formaciones impermeables.

4. TRABAJOS HIDROQUÍMICOS.

La calidad del agua suele ser tan importante como su cantidad. Por ello desde el comienzo de los trabajos debe programarse adecuadamente la toma y análisis sistemático de muestras de agua que permitan conocer su variación en el espacio y en el tiempo. El número de muestras a tomar, depende tanto del tiempo y el dinero que se disponga, como de la complejidad que presenta el problema y de los datos que se encuentren en estudios o trabajos anteriores.

5. TRABAJOS HIDROGEOLOGICOS.

a. OBTENCION DE DATOS BASICOS.

Instalación de red de observación. Los datos básicos sobre parámetros geométricos e hidrológicos de un embalse subterráneo y su funcionamiento se obtienen fundamentalmente mediante una red de pozos de observación y/o piezométricos.

Los pozos de observación y los piezométricos pueden proporcionarnos los datos siguientes:

- a. Espesor total o parcial de los acuíferos.
- b. El valor aproximado de su permeabilidad o transmisibilidad y su coeficiente de almacenamiento.
- c. La obtención de muestras de agua para verificar su calidad.

Los sondeos mecánicos para reconocimiento hidrogeológico y los pozos experimentales, suelen ser las operaciones más caras de los estudios generales o detallados; en los estudios preliminares raramente se realizarán sondeos. Esta toma de datos suele denominarse -- "Inventario de pozos y sondeos" o "Inventario de datos hidrogeológicos".

Una vez terminado el inventario será necesario completar con datos geológicos e hidrogeológicos mediante la realización de sondeos mecánicos en donde por norma general se deberán instalar piezómetros y la construcción de pozos experimentales. Dado el alto costo que requiere la realización de esta operación, es muy importante que la vigilancia sea continua y directa y cuando se tengan dificultades presupuestarias es conveniente reducir el número de pozos que dejar de llevar un buen control de su realización. No debe olvidarse que frecuentemente el número de pozos puede reducirse o incluso anularse, si se pueden realizar ensayos de bombeos en pozos ya existentes o disponer de datos fiables de ensayos de bombeo previamente realizados.

Los sondeos de pequeño diámetro (4 a 10 cms) normalmente se realizan a rotación, salvo en zonas de aluviones o gravas que frecuentemente se hacen a percusión o con sistemas mixtos. En este tipo de sondeo por lo general no puede realizarse un ensaye de bombeo representativo, si bien podían obtenerse datos interesantes en un ensayo de extracción de agua con aire comprimido, con el cual podría conocerse la permeabilidad del terreno atravesado. Sirven bien estos sondeos para conocer la geología de la zona para medir los niveles piezométricos y para obtener muestras de agua.

Con objeto de poder realizar pruebas de bombeo más o menos largas, es preciso ir a sondeos de mayor diámetro por lo general de 150 a 300 mm. en los que se pueda introducir una bomba y el diámetro de ésta estará relacionado con el caudal máximo que se desea ensayar.

La profundidad del pozo o sondeo se verá sujeto a razones económicas o geológicas. También el diámetro con que se quiera llegar al fondo influye, pues a mayor diámetro por lo general se puede alcanzar menor profundidad. En este caso el hidrólogo deberá conocer su capacidad o programa de profundidades y diámetros de la máquina que pueda disponer.

Habitualmente los sondeos de investigación y los pozos experimentales exigen un trabajo más lento y cuidadoso que los pozos de explotación o producción. El programa inicial deberá ser flexible y con frecuencia es modificado según se van presentando problemas a resolver.

Al decidir los emplazamientos para los sondeos de pozos a realizar no deben tenerse únicamente en cuenta los aspectos hidrogeológicos. Por ejemplo, si se trata de sondeos con máquinas de porte mediano o grande, es muy importante tener en cuenta la existencia de una carretera de acceso al emplazamiento y su transitabilidad en los periodos de lluvias. El acondicionamiento de la construcción de nuevos caminos de acceso puede suponer un porcentaje del precio

del pozo.

Cuando se trabaja a rotación, la disponibilidad de aguas en zonas próximas puede ser un factor muy importante, especialmente si los terrenos a atravesar son muy permeables.

b. OPERACION DE LA RED DE OBSERVACION.

Una vez determinada la red de observación es necesario comenzar -- la toma sistemática de datos. Estos son fundamentalmente las medidas de niveles piezométricos y las observaciones de calidad físico-química. A veces será conveniente instalar limnigrafos en algunos puntos característicos que permitan interpolar con mayor garantía los datos aislados.

Ya antes de determinar los estudios de reconocimiento, conviene -- señalar unos cuantos pozos piezométricos representativos de los -- principales acuíferos en los que se comience inmediatamente la medida de niveles, de este modo al realizar el estudio hidrogeológico general se puede disponer, con frecuencia, de uno o dos años de medidas.

Casi siempre es preciso efectuar una nivelación de los pozos o piezómetros de la red. Su grado de precisión dependerá del tipo de estudio y del orden de magnitud del gradiente de la superficie piezométrica. En los estudios de reconocimiento suele ser suficiente -- una nivelación barométrica o simplemente si se dispone de un plano topográfico con curvas de nivel de 10 en 10 o en 5 en 5 m.

En los estudios de detalle suele ser preciso efectuar la nivelación con nivel topográfico, lo cual fácilmente permite errores inferiores al cm. En los estudios generales será conveniente la nivelación topográfica, aún cuando no sea necesario tanta precisión como en los estudios de detalle.

Como una primera aproximación se sugiere que en los estudios de re

conocimiento , el orden de precisión debe ser de un metro, en los estudios generales un decímetro y en los de detalle un centímetro.

Como punto importante, la red de observación debe ser proporcional a las necesidades requeridas, ya que el exceso de estudios suele ser contraproducente como su escasez.

6. SISTEMAS HIDROGEOLOGICA.

Los métodos descritos anteriormente constituyen los instrumentos - que pueden servir para definir los embalses subterráneos de la zona y sus posibilidades de explotación para atender la demanda considerada, naturalmente la exactitud dependerá considerablemente -- del tipo de estudio que se esté realizando, pero frecuentemente se rá muy útil seguir el esquema que se presenta a continuación.

a. ESTIMACION DE LAS CARACTERISTICAS GEOMETRICAS E HIDROLOGICAS -- (TYS).

Se basará en mapas litológicos-estructurales definidos por la geología y la geofísica y en los datos puntuales de las medidas de -- permeabilidad efectuadas en los piezómetros o de los ensayos de -- bombeo efectuados en los pozos.

La mejor forma de expresar la síntesis suele ser en mapas en los que se representan mediante líneas, aquellas zonas que tienen las mismas características. Entre estos tipos pueden mencionarse los - siguientes:

- a. Líneas isopiezas.
- b. Líneas de igual profundidad de la zona saturada bajo la superficie.
- c. Líneas de igual capacidad específica en los pozos o líneas de igual transmisibilidad.
- d. Líneas con igual coeficiente de almacenamiento o porosidad eficaz.

La estimación de las reservas de agua que contiene el embalse subterráneo es útil a efectos de conocer su capacidad de regulación - ante las variaciones en la recarga o descarga.

En muchos casos el estudio de los datos del gasto específico de -- los pozos puede tener un gran interés puesto que existe una cierta relación entre la transmisibilidad y la capacidad específica. Esta relación no es sencilla, ya que puede estar notablemente influenciada por la penetración parcial del pozo, por las pérdidas en el pozo y por las condiciones del contorno del acuífero. No obstante a sus limitaciones sus análisis tienen una valor práctico, pues -- proporciona:

- a. Una primera orientación sobre valores de la transmisibilidad -- que puede ser suficiente para iniciar el ajuste de un modelo ma temático o análogo.
- b. Una excelente orientación sobre la probabilidad de obtener un - determinado gasto en una zona.

7. ESTIMACION DE LA DINAMICA O FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE SUBTERRA- NEO.

Debe considerarse en primer lugar su funcionamiento natural, es de cir, sin intervención del hombre; y después las variaciones que ha introducido.

La estimación de la recarga natural se hará con base en los datos de precipitaciones y evapotranspiración, tomando en cuenta las características geológicas y topográficas de la zona. Este procedimiento sirve solamente como una primera estimación.

Quando se dispone además de datos de caudales de los ríos y fuentes y/o de las oscilaciones de los niveles de los piezómetros, es posible realizar estimaciones con menor margen de error. Es importante tener en cuenta que en los estudios preliminares o en los ge

nerales con frecuencia no se podrán definir cifras sobre los recursos disponibles (con o sin consumo de las reservas) con un intervalo de error que sea inferior al 50% de la cifra media dada.

No obstante esa aparente inexactitud, en la mayor parte de los casos ese intervalo es sobradamente suficiente para tener decisiones perfectamente coherentes, desde el punto de política hidráulica y frecuentemente con una garantía igual o superior a las decisiones basadas en los datos de hidrología.

Al estudiar las características estáticas o las dinámicas de los acuíferos hay que incluir siempre los datos y/o las hipótesis sobre las características físico-químicas del agua que tengan interés para los usos a que se va a destinar el agua captada.

C. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS NO CONSOLIDADAS.

Por lo general, las rocas sedimentarias no consolidadas han constituido para los hidrogeólogos, el ejemplo más típico de formaciones geológicas permeables.

En muchas regiones del mundo, este tipo de acuíferos proporcionan en la actualidad el mayor volumen de agua subterránea bombeada. Y de esto se deducen cinco razones que explican el interés de los acuíferos formados por rocas no consolidadas en los trabajos de exploración de aguas subterráneas.

1. Estos depósitos son fáciles de excavar o perforar de modo que la exploración es rápida y barata.
2. Es frecuente encontrar a estos depósitos al fondo de los valles donde los niveles piezométricos son mucho más próximos a la superficie y, consecuentemente, la elevación de bombeo es pequeña.

3. Estos depósitos tienen una ubicación muy favorable para su recarga con lagos y ríos.
4. Los sedimentos no consolidados suelen tener una mayor porosidad eficaz que otros materiales.
5. Quizá, la razón más importante es que su permeabilidad suele -- ser mucho más elevada que la de las demás formaciones geológicas con la excepción de algunas rocas volcánicas recientes y de algunas calizas cavernosas.

1. CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS DE LOS DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS.

Los depósitos que se consideran son los que a través de los diversos procesos de diagénesis dan lugar al extenso complejo de las rocas sedimentarias no consolidadas.

Ahora bien, así como se clasifican las rocas con base a su naturaleza litológica (lutitas, areniscas y rocas carbonatadas), aquí se van a clasificar los materiales desde un punto de vista genético, es decir, atendiendo primordialmente al agente o agentes externos que originaron dichos depósitos (ríos, glaciares, vientos) o al ambiente sedimentario (fosas tectónicas, llanuras costeras) en que se depositaron.

a. DEPOSITOS DE ORIGEN PLUVIAL.

Estos depósitos son de origen reciente (cuaternario), suelen tener especial interés, pues están conectados a los ríos que los han -- originado. Los materiales depositados están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, cuya composición mineralógica depende en gran parte de la roca que proceden.

Los recursos de agua son simultáneamente un agente de erosión, de transporte y de sedimentación. El predominio de una u otra característica depende esencialmente del suministro de detritus que alcan

zan el cauce del río y de la velocidad de sus aguas que a su vez, es función de su caudal y de su sección longitudinal y transversal.

Un mismo río erosiona en una zonas y deposita materiales en otras; dentro de una misma zona puede erosionar o sedimentar, según su caudal, en la figura 3.1 se representan los depósitos típicos de un río en su tramo medio o bajo, donde existe una llanura de inundación. Los depósitos en el propio cauce del río son más gruesos, arenas y gravas principalmente sobre la llanura de inundación; el agua suele circular con mucha menor velocidad y los depósitos suelen ser de arenas finas, limos y arcillas; ésto último ocurre predominantemente cuando la llanura de inundación está separada por diques naturales. En las llanuras de inundación es frecuente que el río cambie de sitio y tome meandros que pueden dar origen a pequeñas lagunas temporales, en las que se depositan limos y arcillas.

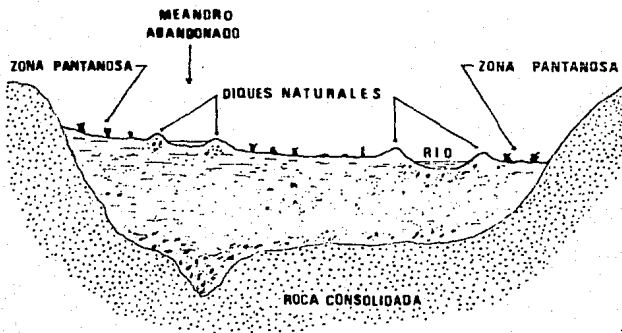


Figura 3.1 Perfil hipotético de los depósitos aluviales de la llanura de inundación de un río.

Estos cambios casi siempre han dado lugar a sucesivos encajonamientos de los ríos, que han quedado señalados por las terrazas típicas de la mayor parte de los valles fluviales. Estas terrazas pueden estar aisladas unas de otras o bien, encajadas cuando el proceso erosivo siguiente no fue suficientemente activo para erosionar los aluviones correspondientes a la terraza anterior. Esta última situación, que es la menos frecuente, origina un mayor espesor de zona saturada y por lo tanto suele ser más favorable para la ubicación de pozos.

No obstante las grandes variaciones laterales en la distribución de gravas, arenas, limos y arcillas suelen ser una constante que en los aluviones del fondo de los valles predominan las gravas y arenas permeables.

Los ríos en su desembocadura en los lagos o mares tranquilos dan lugar a formaciones deltáicas. Los deltas planean una serie de variados problemas hidrológicos (explotación de aguas subterráneas, drenajes, etc.).

En lo que se refiere a su extensión superficial y a su espesor, -- las características geométricas de los depósitos de origen fluvial pueden ser muy variadas: desde prácticamente nulas en los cursos altos de los ríos, hasta espesores del orden de 100 m. en su desembocadura y superficies de centenares o miles de km². en las zonas deltáicas.

Para un criterio general se ha tomado espesores típicos de los depósitos de ríos del cuaternario reciente, están comprendidos entre 8 y 45 m. de los cuales, normalmente, al menos un par de metros de la zona próxima a su base suelen ser de gravas y arenas gruesas.

b. DEPOSITOS EN LOS VALLES DE ORIGEN TECTONICO.

Desde un punto de vista geológico, muchos de los grandes valles o amplias depresiones del mundo corresponden a las fosas tectónicas,

es decir, a zonas de la corteza terrestre que están o han estado en un proceso más o menos de hundimiento a lo largo de los años. Las dimensiones de estas fosas son muy variadas y contienen enormes cantidades de materiales sueltos, por lo general muy porosos o más o menos permeables, que suelen tener grandes reservas de agua dulce que por lo general están todavía poco explotados.

No obstante, cuando predominan los materiales finos poco permeables, la explotación puede resultar técnicamente inviable.

El espesor de los materiales contenidos en los valles de origen tectónico suele ser considerable. Casi siempre es superior a varios centenares de metros. Por ejemplo, el valle central de California alcanza más de 8 kms. de espesor.

Desde un punto de vista hidrogeológico casi siempre sólo tienen interés los primeros centenares de metros, pues en las zonas más profundas las aguas suelen estar excesivamente cargadas de sales y, además, la porosidad y permeabilidad suelen disminuir apreciablemente.

c. DEPOSITOS DE ORIGEN EOLICO.

Los representantes más típicos de estos depósitos son los loess y las dunas. Algunas regiones del mundo como las Pampas, China Oriental y Ucrania, están prácticamente cubiertas por estos materiales. Para nuestro estudio, la representación de estos depósitos carecen de interés.

En general, los loess no pueden ser considerados como acuíferos, pero pueden constituir una interesante roca-almacén y también puede tener una elevada capacidad de filtración.

d. DEPOSITOS DE LAS LLANURAS COSTERAS.

Existen costas que terminan en acantilados o zonas de relieve bas-

tante accidentado. Pero hay otras en que la zona costera está constituida por una extensa llanura a lo largo de muchos kilómetros y cuya profundidad tierra adentro también alcanza unos cuantos kilómetros; un ejemplo es el Golfo de México.

Como fácilmente se comprende, en los sedimentos de las llanuras -- costeras se mezclan los materiales de origen continental y los de origen marino. En general, predominan los materiales más finos a medida que aumente la distancia del "hinterland".

Los materiales permeables de origen continental suelen ser gravas y arenas fluviales o dunas calizas; los de origen marino, arenas y gravas de playas más o menos cementadas y no pocas veces calizas.

Entre los materiales poco permeables suelen predominar los fangos de estuario o las mangas de origen típicamente marino.

2. PERMEABILIDAD.

Para este estudio no se trata de repetir lo que ya antes se vió, -- sino dar algunas orientaciones sobre los valores de permeabilidad que suelen tener distintos materiales.

En la tabla 3.1 se dan algunos valores de la porosidad total y de la permeabilidad para diferentes materiales. En la figura 3.2 se da una clasificación geológica muy simple; en la figura 3.3 de -- acuerdo con su composición granulométrica. Este tipo de informa--- ción utilizada con buen criterio puede dar excelentes orientaciones prácticas. En cambio, pocas veces será posible intentar un estudio detallado basado en el análisis de las curvas granulométricas. Esto es por dos razones; la primera es que pocas veces en la etapa de exploración puede disponerse de muestras de confianza, ya sea por la forma que fueron obtenidas o por ser poco representativas del conjunto acuífero, la segunda es que estos métodos están -- experimentándose en donde los resultados obtenidos no pueden ser -- extrapolados a otras regiones.

TIPO DE DEPOSITO	DIAMETRO MEDIANO (mm)	POROSIDAD TOTAL %	PERMEABILIDAD (m/día)
Arélicas			
Marina	0.0005	48	1.10-
Limosa (5 muestras)	0.002-0.004	40-44	2.10- 1.10-
Kaolinita	--	59	2.10-
Oligocénica	--	55	1.10-
Limos			
Arenoso	0.06	59	5.10-
Arcilloso	0.04	54	6.10-
Loess	0.02	50	2.10-
Niocénico	0.05	54	5.10-
Aluviones	0.02	50	2.10-
Aluviones	--	48	5.10-
Arenas			
Aluviones	0.5	41	2
Aluviones	0.3	45	0.5
Aluviones	0.2	50	20
Marina	0.5	41	50
Dunas	--	56	20
Cretáceo	--	--	25
(25 muestras)			
Gravas			
Morrena terminal	--	--	2

Tabla 5.1 Porosidad y permeabilidad de depósitos no consolidados.

PERMEABILIDAD EN (m/día)

CLASIFICACION GEOLOGICA	GRAVAS LIMPIAS	GRAVAS Y ARENAS, O ARENAS GRUESAS	ARENAS FINAS O CON MEZCLA DE LIMOS	LIMOS O ARCILLAS ARENOSAS	ARCILLAS COMPACTAS
CLASIFICACION HIDROGEOLOGICA	BUEN ACUIFERO		ACUIFERO POBRE	ACUITARDOS	PRACTICAMENTE IMPERMEABLE

Figura 3.2 Clasificación aproximada de las rocas sedimentarias no consolidadas en relación a su permeabilidad.

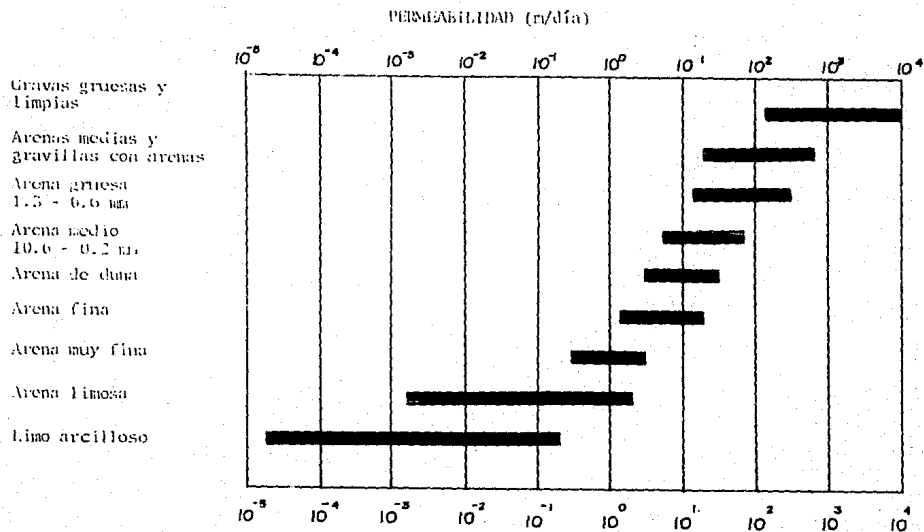


Figura 3.5. Relación entre la composición granulométrica y la permeabilidad.

Los aluviones de origen pluvial suelen presentar casi siempre zonas de materiales aceptablemente permeables. Las zonas de gravas y arenas gruesas, con frecuencia están en la parte baja y bien pueden tener permeabilidad entre 1 y 100 m/día; cuando se trata de gravas limpias la permeabilidad puede dar varios miles de metros/día. Los limos más o menos arcillosos o arenosos que se depositan en las zonas colindantes al cauce durante inundaciones, son mucho menos permeables. En los arroyos de pequeña cuenca, la permeabilidad de sus depósitos guarda estrecha relación con la litología y tipo de erosión de la cuenca.

El gasto específico de los pozos depende fundamentalmente de la permeabilidad y del espesor de la zona saturada. En un principio puede considerarse que sea posible conseguir gastos de 1 a 2 lts/seg. en casi todos los aluviones en ríos permanentes.

En los depósitos de los valles de origen tectónico, la permeabilidad en conjunto suele ser más reducida que en los aluviones. Las zonas permeables suelen estar formadas por gravas palcocauces o por conglomerados que han sido fosilizados por depósitos posteriores. En conjunto, estos materiales gruesos suelen ser más abundantes en las zonas próximas a los bordes de la fosa tectónica. En las zonas centrales de las grandes fosas tectónicas pueden predominar de modo casi absoluto los materiales finos o las rocas evaporitas (yeso y sales), de esta manera las posibilidades de que un pozo atraviese una zona permeable son muy remotas.

No obstante, hay que tener en cuenta que las cuencas sedimentarias antiguas, su zona más baja con frecuencia ha emigrado a lo largo de su historia geológica y bajo una zona superficial de materiales finos, puede haber otra de materiales más gruesos y más permeables.

Las variaciones en la permeabilidad de los depósitos costeros no consolidados son relativamente análogos a las variaciones descritas en los valles de origen tectónico.

3. CALIDAD QUÍMICA.

Las características físicas y químicas de las aguas subterráneas - dependen de varios factores. Los tres principales son: ambiente -- climático, ambiente geológico y acción del hombre o contaminación.

En las rocas sedimentarias no consolidadas sus características litológicas dependen esencialmente de la roca madre de la que proceden. En las zonas permeables de las rocas no consolidadas suelen predominar rocas poco solubles de tipo sílico y por consiguiente - en su paso por estos materiales el agua no suele aumentar mucho su contenido en sales totales disueltas. Cuando las aguas atraviesan zonas de mayor o menor contenido de limos y arcillas, se suelen -- producir fenómenos de absorción.

Es muy raro que las aguas de los pozos ubicados en estos materia-- les exijan tratamiento bacteriológico, ya que suele ser suficiente un recorrido de unos pocos metros o decenas de metros para que que den retenidos todos los organismos patógenos, por las zonas de are nas finas o limos que en mayor o menor proporción casi siempre - - existen.

Si se observa contaminación bacteriológica en aguas procedentes de estos acuíferos, se trata normalmente de una contaminación superfi cial, debido casi siempre a una deficiente construcción del pozo.

En los sistemas acuífero río, la acción del hombre puede dar lugar a cambios en las características iniciales del agua de los pozos. Si el bombeo es intensivo tanto los componentes químicos como la - temperatura de las aguas del pozo, serán cada vez más similares a las del río. Este fenómeno puede ser perjudicial cuando las aguas se utilizan especialmente para intercambio de calor para la refrig-- eración o el aire acondicionado de fabricas y edificios.

En las fosas tectónicas es frecuente que las aguas subterráneas -- más profundas sean salinas. La salinidad se suele deber a la exis--

tencia de aguas congénitas marinas o de cuencas desérticas, o bien a la disolución de las rocas evaporitas que puedan existir dentro de los propios acuíferos.

4. PECULIARIDADES DE LOS METODOS DE EXPLORACION.

a. METODOS GEOLOGICOS.

La obtención de gastos de unos pocos litros por segundo en un valle aluvial no suele plantear muchos problemas. Pero cuando el agua necesaria supera, por ejemplo, 30 metros cúbicos por segundo y por pozo, o cuando se requiera que el agua no lleve arena en sus pensión y que el descenso dinámico sea el mínimo posible, suele ser conveniente la realización de un estudio geológico detallado.

Por lo general lo esencial es localizar y dimensionar aquellas zonas saturadas con mayor transmisibilidad. Por ejemplo, en los valles aluviales convendría deducir en la medida posible, si existe bajo la llanura de inundación un surco erosivo. En dicho surco además de tener el máximo espesor de aluviones, es probable que éstas sean gravas y arenas con escasa proporción de limos y arcillas. -- Por lo general es muy difícil o existen pocos indicios externos para localizar el surco. En la figura 3.4 puede verse la situación de los depósitos cuaternarios correspondientes a tres terrazas en un valle.

El lugar más adecuado para ubicar un pozo es el E, ya que ese punto además de tener el máximo espesor de aluviones está próximo al río. En el punto A la terraza tiene poco espesor de gravas y está más alta que el río. Por lo tanto es de esperarse poca transmisibilidad en las gravas y una zona saturada cuyo espesor será pequeño y disminuirá en época de estiaje. En el emplazamiento B podría ser que las condiciones mejoran por su espesor en gravas y por las filtraciones de un canal. Los puntos C, D y E tienen un nivel saturado que viene marcado prácticamente por el nivel del río, el punto D tiene menor transmisibilidad que el C, pero su mayor proximidad

al río es posible que para un bombeo prolongado sus descensos (a un gasto igual) fuesen menores que en C.

En la figura 3.5 se presenta un perfil hidrogeológico de la confluencia de un río y una rivera. La existencia de los dos surcos se ha podido deducir mediante el estudio del conjunto de la zona y el inventario de pozos y sondeos. Un simple estudio de cartografía de superficie no hubiera permitido deducir la existencia de estos surcos y los pozos situados con un estudio elemental, se hubiese ubicado probablemente en la zona central, que es la que reúne peores condiciones.

En los rellenos de fosas tectónicas, por lo general, es muy difícil prever la ubicación de un pozo. Las zonas de gravas y arenas suelen corresponder a los cauces de antiguos ríos. Por ello puede fácilmente suceder que pozos situados a distancias relativamente cortas, existen terrenos con permeabilidad considerablemente diferentes. De todas formas el estudio de variaciones superficiales puede llevar a conclusiones sobre las zonas en donde predominan partículas gruesas.

En las zonas costeras la complicación sedimentaria suele ser análoga o superior a la de los valles tectónicos. Pocas veces, si no existen datos previos, será posible dar indicaciones útiles para la ubicación de un pozo, por el simple estudio geológico de superficie.

b. METODOS GEOFISICOS.

Los métodos geofísicos de superficie, especialmente la resistividad eléctrica y la sísmica, muchas veces son adecuados para determinar el espesor y la naturaleza de los valles fluviales. Su interés dependerá del contraste entre las correspondientes características físicas de los aluviones y de la roca del lecho. Por ejemplo, si existen limos y arcillas en contacto con margas o arenas y gravas en contacto con areniscas, es probable que la diferencia de

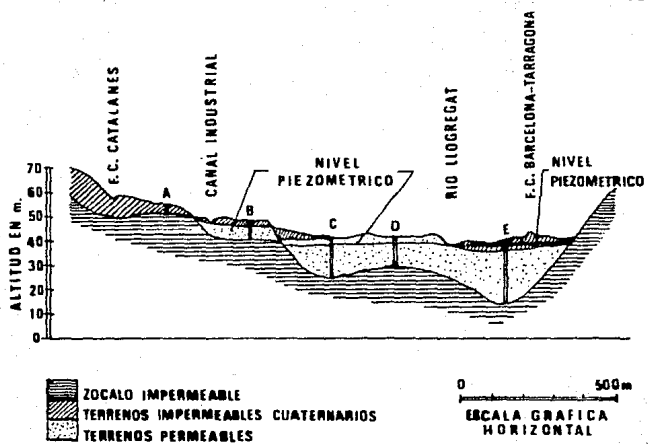


Figura 3.4 Perfil hidrogeológico esquemático de un río.

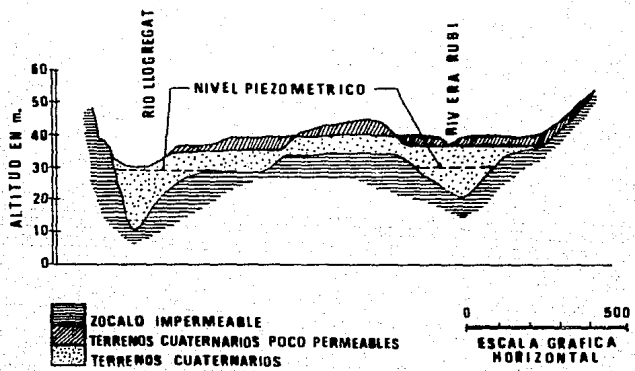


Figura 3.5 Perfil hidrogeológico de la confluencia de un río y una rivera.

resistividad eléctrica no sea suficiente para identificar la superficie de contacto, sin embargo, la diferencia de velocidades en la transmisión de ondas sísmicas, permite conocer esa separación. - - Cuando sea posible será conveniente utilizar ambos métodos.

En los depósitos de origen tectónico o en las llanuras costeras, - la utilidad de la geofísica de superficie para determinar acuíferos profundos será muy limitada. En cambio unida a un análisis de las muestras y a la geología de superficie, pueden aportar datos - de gran valor y deberán ser realizados siempre que sea posible.

c. SONDEOS MECANICOS Y POZOS EXPERIMENTALES.

La toma de muestras en los sondeos o pozos realizados a rotación - con circulación directa no es fácil. En los sondeos a percusión o por circulación inversa, es más fácil obtener muestras cuya granulometría sea verdaderamente representativa de la del acuífero. La obtención de muestras que sean verdaderamente representativas de - la composición granulométrica, es muy importante para poder definir de modo adecuado las características de la rejilla y del eventual filtro de grava.

En cambio, el aislamiento entre los distintos acuíferos que pueden ser atravesados por sondeos para un pozo no suele plantear especiales problemas, ya que las capas confinantes o semiconfinantes que los separán están formadas por limos y arcillas poco consolidadas, que al cabo de poco tiempo se suelen colapsar contra las paredes de tubo e impedir que se produzca una circulación entre diversos acuíferos por el exterior del pozo. Esta circulación podrá establecerse por el interior solamente si la entubación está ranurada o perforada en frente de más de una capa acuífera.

Con gran frecuencia en las zonas de depósitos no consolidados, - - existirán numerosos pozos realizados desde épocas más o menos remotas. Por este motivo antes de realizar ningún nuevo pozo o sondeo será de gran utilidad hacer un inventario lo más completo posible

de los pozos más importantes o característicos de la zona a estudiar.

D. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS PLUTONICAS Y METAMORFICAS.

Aproximadamente una quinta parte de las tierras emergidas están -- formadas por rocas metamórficas. En las zonas septentrionales del Hemisferio Norte, parte de estas rocas están ocultas bajo una cubierta tenue de materiales sueltos de origen glaciario, pero en las demás regiones sus afloramientos sólo desaparecen bajo las reducidas franjas que constituyen aluviones de los ríos.

Tanto las rocas intrusivas como las metamórficas son muy poco permeables y tienen capacidad reducida como embalses subterráneos. -- Sin embargo, en regiones en donde no existen otros acuíferos mejores, su estudio puede tener un notable interés, especialmente para atender el abastecimiento de aguas de núcleos urbanos o industriales de dimensiones más bien reducidas o para regadíos de pequeña o muy pequeña superficie.

1. TIPOS DE ROCAS Y CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE INTERES HIDROGEOLOGICO.

Las rocas plutónicas y las rocas metamórficas constituyen el conjunto más importante de las rocas de la corteza terrestre, (5 a 20 kms. de espesor según las zonas), aún cuando sólo el 20% afloran -- del total de las tierras emergidas.

A continuación se describen los grupos de rocas más importantes -- que se requieren en este estudio.

a. ROCAS PLUTONICAS.

Son las que se han formado en el interior de la corteza terrestre,

bien por el enfriamiento lento de un magma fundido, o bien por los lentos procesos del ultramorfismo que transforma lentamente las rocas originales del tipo que sean, en rocas plutónicas. Las tres rocas más comunes son el granito, la sienita y la dionita; y los minerales más frecuentes son el cuarzo, los feldespatos, las micas, los piroxenos y los antibioles.

b. ROCAS FILONIANAS.

Las rocas filonianas se caracterizan por aparecer frecuentemente en forma de filona o diques intercalando o cortando otras formaciones rocosas. Sus minerales suelen presentar unos cristales de gran tamaño y otras mucho más pequeños. Los tipos de minerales que aparecen en estas rocas suelen ser los mismos que en las rocas plutónicas y los tipos más corrientes son las pegmatitas y los pórfidos de todos tipos.

c. ROCAS METAMORFICAS.

El variado conjunto de las rocas metamórficas que van desde las magnetitas o gneiss hasta los mármoles o pizarras, se han originado mediante un complejo conjunto de transformaciones de otras rocas sedimentarias e ígneas, debido fundamentalmente, a cambios de temperatura y presión.

d. IMPORTANCIA DEL TIPO LITOLÓGICO DE ROCA.

La importancia del tipo litológico de la roca en la permeabilidad y en la porosidad, no suele ser tan grande como podría esperarse. Puede decirse que todas las rocas plutónicas y metamórficas tienen propiedades hidrogeológicas bastante análogas. Las diferencias que se pudiesen apreciar son por meteorización y fracturación.

e. METEORIZACION.

Todas las rocas de la zona más externa de la corteza terrestre, están sometidas a la acción de los agentes atmosféricos. Estos originan una serie de procesos físicos o químicos en las rocas o en sus

minerales, que hacen que aquellos se transformen en fragmentos de menor tamaño.

La meteorización química de feldespatos, piróxenos y antioles -- conduce siempre a un aumento en la porosidad y frecuentemente, también a la permeabilidad.

F. FRACTURACION.

La fracturación de las rocas intrusivas y metamórficas aumenta su porosidad y, especialmente, su permeabilidad.

La abertura o separación de las diaclasas puede variar desde unos pocos milímetros en las zonas poco profundas, hasta estar prácticamente cerradas en profundidad. Las fracturas de fallas pueden alcanzar grandes profundidades.

Las zonas de fractura no siempre deben considerarse como lugares -- más permeables, ya que puede ocurrir que la zona rota se meteorice más rápidamente o sea una vía fácil para la emanación de fluidos -- profundos.

Según la naturaleza de las rocas y el clima, puede dar lugar a la formación de productos que rellenen las fisuras, llegando a constituir una pantalla impermeable.

2. POROSIDAD.

No existen demasiados datos precisos sobre la porosidad total o -- eficaz en este tipo de formaciones geológicas. Son frecuentes los datos sobre porosidad total obtenida en laboratorios mediante ensayos en muestras o probetas de reducido tamaño. Este tipo de porosidad medida en laboratorio, a veces denominado primario, es poco -- significativo para la búsqueda de agua subterránea, ya que lo que realmente interesa no es la porosidad total, sino la efectiva y no la de una pequeña muestra sino la del conjunto del acuífero. Hay --

tres factores principales que pueden aumentar significativamente - la porosidad:

- a. Meteorización.
- b. Fracturación.
- c. Disolución.

El más importante de estos tres puntos suele ser la meteorización, que puede multiplicar por 10 o por 20 veces la porosidad primaria. En la Figura 3.6 se reproduce una gráfica de porosidad total y - efectiva. Sin embargo, debemos tener en cuenta que se puede encontrar una gran diferencia entre los datos obtenidos en laboratorio y los obtenidos en el campo mediante ensayos de bombeo.

En la Tabla 3.2 se anotan los valores de la porosidad y permeabilidad de rocas plutónicas y metamórficas.

Los efectos de la disolución de los minerales de las rocas ígneas y metamórficas no parece ser un factor importante para dar lugar a un aumento de porosidad incluso en aquellas rocas como el mármol que contienen minerales carbonatados, aún cuando en el mármol pueden originarse las cavidades típicas de un karst y la permeabilidad puede aumentar localmente mucho, es poco probable que la porosidad de grandes masas de rocas marmóreas sea superior a un 2.5%, ya que la disolución se produce muy localizada, casi siempre a lo largo de las fracturas.

3. PERMEABILIDAD.

La permeabilidad de las rocas ígneas y metamórficas suele ser extraordinariamente reducida tal y como se muestra en la Tabla 3.2. La permeabilidad secundaria puede ser aumentada por los mismos puntos vistos en la porosidad.

La permeabilidad de las rocas puede variar mucho, desde ser prácticamente nula en un bloque sin fracturas, hasta varios cientos de -

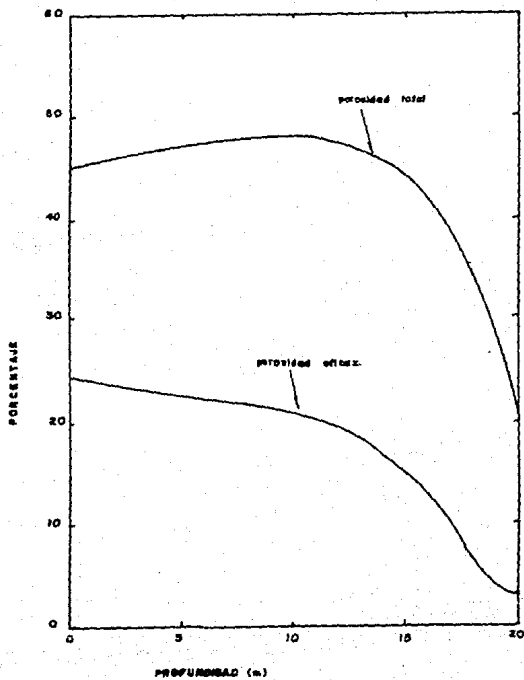


Figura 3.6 Porosidad eficaz y total de las rocas metamórficas altamente meteorizadas.

TIPO DE ROCA	POROSIDAD %		PERMEABILIDAD
	TOTAL	EFFECTIVA	DARCYS
Diabasa	0.1		--
Granito	0.3		--
Mármol	0.3		--
	0.6		
Micaesquisto	--		2.1 . 10 -
Cuarcita	--		1.9 . 10 -
Pizarra	--		1.3 . 10 -
Pizarra	3.4		--
Gneiss	0.1		--
Micaesquisto cuarcífero meteorizado	48	20.6 0.61	3.3 . 10 - 0.97
Metasedimentos fracturados	2.4 (estimado)	--	3.1 . 10 -
Metabasalto		2.0	1.9
Esquistos		3.00	1.4
Mármol		0.4	18
Granito meteorizado		1	1-2
Gneiss meteorizado y/o descomprimido	2 a 0.1		0.3 a 0.01

Tabla 3.2 Porosidad y permeabilidad de rocas plutónicas y metamórficas.

m/día en una grieta abierta y limpia.

4. SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUAS.

En las rocas metamórficas, las captaciones de agua pueden hacerse mediante pozos o galerías, o mediante el sistema mixto de pozos -- con galerías que parten del fondo del pozo. El sistema de galerías es muy utilizado por asegurar una mayor área de captación, cortando lo mayor posible las fisuras en las rocas y así aumentar las posibilidades de encontrar agua.

En muchos lugares se han encontrado excavaciones de pozos normalmente dirigidos y en el fondo de ellos se han hecho barrenaciones en forma horizontal para poder encontrar grietas o bien perforaciones orientadas normalmente a los planos de diaclasas o fracturas más importantes.

5. PARTICULARIDADES DE LOS METODOS DE EXPLORACION.

Como ya se dijo antes, existen pocas probabilidades de encontrar el lugar adecuado para situar un pozo.

En los siguientes párrafos se expondrán algunos criterios, que en muchas ocasiones, permitirán disminuir la probabilidad tan elevada de fallo.

a. METODO GEOLOGICO.

La cartografía detallada de los tipos litológicos de roca, tienen fundamentalmente interés en cuanto sirve para localizar fallas o fracturas, pues se ha visto que en general no puede afirmar que un tipo determinado de roca tenga más probabilidades que otra de dar agua; quizá la única excepción son los mármoles, si sus fracturas han sido ensanchadas por procesos de disolución.

También puede tener interés la localización de los diques de rocas filonianas, pues si sus propiedades mecánicas o su resistencia a -

la meteorización son diferentes a la de las rocas encajantes, suelen constituir zonas de drenaje o pantallas impermeables.

El estudio de la fracturación de las rocas, suele tener un mayor interés. Conviene localizar primero las principales fallas, después los tipos de diaclasas, su orientación y distribución estadística. Cuando los afloramientos rocosos son limpios y se puede disponer de fotografías aéreas, el estudio puede realizarse con relativa rapidez. Por el contrario, si las formaciones cuaternarias -- (aluviones, coluviones, zonas cubiertas de suelo vegetal) son importantes, es muy difícil, casi imposible, hacer un estudio de la distribución de las diaclasas.

En casi todos los casos, pero esencialmente en el caso de existir pocos afloramientos rocosos limpios, el análisis geomorfológico de la zona puede proporcionar orientaciones muy útiles. La forma de la red hidrográfica viene, en ocasiones, determinado por la situación de las zonas de fractura más fácilmente erosionables. En general, tienen más probabilidades de encontrar agua los pozos situados en el fondo de los valles anchos que los situados próximos a las cumbres de las montañas o laderas.

b. METODOS GEOFISICOS.

Los dos métodos más comunmente utilizados en este tipo de terrenos son la prospección geoelectrica y la prospección sísmica. El uso del primer método se basa en el hecho de que las rocas suaves presentan una resistividad mucho mayor que las rocas meteorizadas o muy fracturadas, ya que en estos casos aumenta su contenido de agua y también la prospección de materiales arcillosos.

La utilización de la prospección sísmica se basa en que en la zona superior o descomprimida de los macizos rocosos, la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas disminuye notablemente.

6. INVENTARIO DE POZOS Y MANANTIALES.

El inventario de pozos y fuentes, realizado con un buen criterio, será muchas veces el mejor procedimiento para acertar en la ubicación y características de los nuevos pozos y captaciones.

Dado el gasto relativamente bajo de la mayoría de los pozos, sus - utilizadores pocas veces son industrias o empresas de abastecimiento urbano, sino que predominan los pozos para uso doméstico o ganadero o de pequeñas explotaciones agrícolas. Este hecho suele conducir a que sea más complejo y difícil obtener datos de buena calidad sobre las características constructivas del pozo, los gastos, el cambio de nivel. Cuando existan minas en la zona, no debe olvidarse indagar sobre los problemas de entrada de aguas que ha tenido o tiene la explotación de la mina.

Por lo general las fuentes suelen ser de pequeño gasto y llegan a desaparecer durante las sequías. Su ubicación suele estar ligada a la existencia de diques o zonas fracturadas y muchas veces son - - aguas termales o minerales.

La interpretación de los ensayos de bombeo o de los datos de gastos específicos, tanto los que se obtengan en el inventario, como los que se hagan expofeso, deben hacerse con cuidado, pues a veces no serán aplicables los criterios generales de la hidráulica - de pozos, sino que habrá que tener en cuenta las condiciones de -- acuífero libre.

Una característica muy común de los pozos que obtienen el agua de macizos rocosos fracturados es que su caudal disminuye rápidamente con el tiempo.

Normalmente la causa es la reducida capacidad de almacenamiento de las fisuras. Por ello debe procurarse cuando sea posible, ubicar - los pozos en zonas meteorizadas ya próximas a ríos o lagos; no hay que olvidar que la capacidad de las rocas fisuradas suele ser me--

nor que la de los materiales granulados.

E. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS VOLCANICAS.

Rocas volcánicas son las que se han originado por la solidificación de un magma fundido sobre o cerca de la superficie de la tierra.

En los pozos en rocas pueden a veces dar caudales espectaculares con descensos mínimos, pero en la misma formación y a escasa distancia pueden ser prácticamente estériles. En este aspecto las rocas volcánicas pueden ser similares a las calizas. Esta irregularidad suele conducir a que estos acuíferos sean poco explotados cuando existen otros acuíferos, aluviales; por ejemplo, en los que la posibilidad de que un pozo sea estéril es menor.

1. CLASIFICACION Y DISPOSICION ESTRUCTURAL DE LAS FORMACIONES VOLCANICAS DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDROGEOLOGICO.

a. CLASIFICACION

Análogamente que en el caso de las rocas plutónicas, no existe un criterio uniforme para la clasificación de las rocas volcánicas. Las clasificaciones elementales o de campo se basan en la textura de las rocas, en su color y en su composición mineralógica.

La textura típica de las rocas volcánicas es la porfídica. La pasta de unión de los macrocristales, como consecuencia lógica de su rápido enfriamiento. Los colores claros como el caso de las rocas de textura granuda o fanerítica, son típicos de las rocas ácidas y las oscuras de las básicas. Los minerales que las componen son casi los mismos que las rocas intrusivas. El basalto es la roca volcánica más extendida y también la que tiene propiedades hidrogeológicas más interesantes.

b. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LOS EMBALSES SUBTERRANEOS DE LAS FORMACIONES VOLCANICAS.

Una importante característica hidrogeológica de las formaciones volcánicas, es la frecuente presencia de barreras impermeables o poco permeables con disposición bien sea casi paralela al buzamiento de las coladas bien sea casi vertical al mismo buzamiento. Estas barreras pueden dar origen a una cierta compartimentación de una misma formación geológica en un conjunto de unidades hidrogeológicas, más o menos aisladas desde un punto de vista hidráulico.

En los conos volcánicos o en sus zonas próximas, los mantos de productos piroclásticos poco permeables (tobas litificadas o cenizas principalmente) que quedan interpuestas entre coladas de lava más permeables, suelen actuar a modo de barreras casi horizontales. -- Aunque no existan dichos mantos de productos piroclásticos interpuestos entre las lavas, si transcurre suficiente tiempo entre la efusión de dos coladas superpuestas, la meteorización suele originar un suelo arcilloso, sobre la colada inferior, que la separará hidráulicamente de la superior.

No hay que olvidar tampoco que, con relativa frecuencia, las coladas de lava o los mantos de piroclásticos cubren formaciones aluviales muy permeables depositadas en los valles preexistentes. Estas formaciones aluviales suelen constituir una especie de drenaje de la formación volcánica que las contiene y dan origen a acuíferos semiconfinados.

Evidentemente, como cualquier otro tipo de embalse subterráneo, -- una falla o fractura que enfrente una zona permeable con otra impermeable también dará origen a una barrera impermeable.

2. POROSIDAD.

La porosidad de las rocas volcánicas varía mucho según su origen. En las zonas en las que la solidificación ha sido relativamente --

tranquila, como las chimeneas, lagos de lava, la porosidad es similar a la de las rocas metamórficas no fracturadas. Sin embargo, -- cuando estos materiales discurren sobre la superficie en forma de coladas o dan lugar a piroclastos suelen presentar una porosidad -- muy superior. La diferencia tan notable se debe al diverso proceso de solidificación. En este caso, el enfriamiento mucho más rápido, impide la desgasificación lenta que se produce en las chimeneas, y las burbujas gaseosas aprisionadas originan una textura vesicular que en algunos casos puede tener una porosidad muy alta, llegando a tener como en el caso de la piedra pómez una densidad menor que el agua. El enfriamiento rápido da lugar también a la formación de grietas de contracción que originan las formas columnares tan típicas de muchos basaltos y fanolitas. Cuando la colada de lava avanza en contacto con la atmósfera, su capa superior y su capa inferior, en contacto con el terreno más frío, se solidifican mientras que la lava de la zona intermedia continua fluida. En su avance, -- la colada rompe esas costras superior e inferior, las arrastra y -- las mezcla, produciendo confusas masas de bloques vesiculares de -- alta porosidad, englobadas en rocas más densas con porosidad reducida.

El enfriamiento rápido de la lava en contacto con el suelo puede -- hacer que se formen puentes de lava. En este caso muchos huecos e -- irregularidades del terreno cubierto por la colada, no quedan re-- llenos de lava. Las coladas tienden a discurrir por el fondo de -- los valles y por ello, con frecuencia, cubren depósitos aluviales que también aumentan la porosidad del conjunto.

3. PERMEABILIDAD.

Sobre la variación en la permeabilidad de las rocas volcánicas puede decirse algo muy análogo a lo que se acaba de exponer respecto a su porosidad. Hay que tener presente, sin embargo, que una elevada porosidad no es sinónimo de una elevada permeabilidad, bien sea por el tamaño reducido de los poros (cenizas volcánicas) o por su desconexión (estructura vesicular de la piedra pómez). En la expl

ración de aguas subterráneas en coladas volcánicas conviene investigar la posibilidad existente de aluviones cubiertos por lavas o piroclastos y la de niveles de escoria recientes. En ambos casos, pero especialmente en el segundo, los pozos pueden proporcionarnos gastos muy importantes. Otro factor que aumenta la permeabilidad son las diaclasas o grietas de enfriamiento.

La permeabilidad de las formaciones volcánicas, en su conjunto es casi siempre anisótropo (Figura 3.7). Cuando no hay diques, la permeabilidad máxima suele ser en la dirección del movimiento de la lava y la mínima en dirección perpendicular a la colada. La intrusión de diques puede hacer que la mínima permeabilidad del conjunto en la dirección normal a los diques, desarrollando mucho la permeabilidad vertical paralela a los mismos.

4. PECULIARIDADES DE LOS METODOS DE EXPLORACION.

a. METODOS GEOLOGICOS.

La reconstrucción de la historia geológica de las regiones volcánicas mediante los métodos geológicos clásicos, muchas veces aportará datos del máximo interés para la localización de los acuíferos. Por ejemplo, la deducción de la existencia de valles con depósitos aluviales fosilizados por las coladas permitirán localizar estos depósitos aluviales que muchas veces serán excelentes acuíferos, - otras veces las coladas han cerrado un valle y han dado origen a un lago temporal, en el que han depositado fundamentalmente materiales finos que darán lugar a capas confinantes de los eventuales materiales acuíferos inferiores. La identificación de los paleosuelos también marcará muchas veces la situación de una zona confinante encima o debajo de la cual, posiblemente, se encuentre una zona saturada y permeable. El interés en la distinción entre las rocas ácidas por lo general poco permeables es evidente.

La fotogeología puede ser un poderoso auxiliar para localizar la posición de los filones o diques más o menos verticales que sepa--

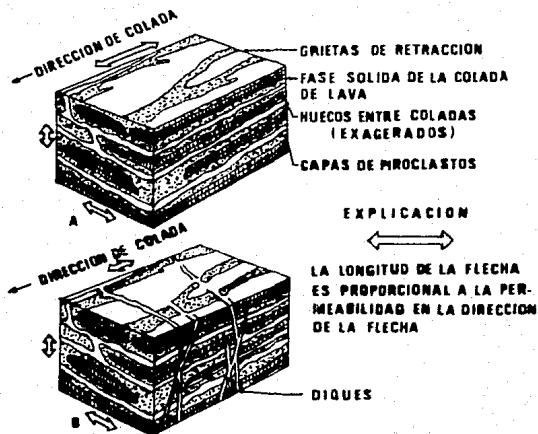


Figura 3.7 A. Características de una formación volcánica sin diques cuya permeabilidad es mayor en la dirección del flujo de la lava.

B. Modificación en esa misma formación, por la intrusión de un conjunto de diques.

ran con mayor o menor estanqueidad distintas unidades hidrogeológicas dentro de la misma colada.

b. METODOS GEOFISICOS.

Los métodos geofísicos en general tienen poca utilidad para distinguir las zonas más permeables o porosas dentro del conjunto de una formación volcánica, debido al escaso contraste de las propiedades elásticas, resistivas o magnéticas de las diversas zonas de una colada. La prospección geoelectrica (resistividad) en las zonas costeras pueden ser útil para localizar la zona de interfaces agua dulce-agua marina.

c. METODOS HIDROLOGICOS.

Al estudiar los datos de aforo en las regiones volcánicas, hay que tener en cuenta que, en ocasiones, funcionan como un karst muy desarrollado y que los cursos de agua permanentes pueden ser prácticamente inexistentes debido a la elevada capacidad de infiltración de estas formaciones.

Como en las zonas kársticas, muchas veces los ríos sólo son perennes cuando drenan zonas saturadas. El estudio del régimen de descarga de los manantiales o galerías de captación o del flujo de base de los ríos puede permitir en ocasiones, obtener una estimación de la permeabilidad de los acuíferos. En las zonas de diques es posible que en algunas zonas el río drene un acuífero y aguas abajo alimente a otro acuífero.

F. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ROCAS SEDIMENTARIAS CONSOLIDADAS.

Se entiende como roca sedimentaria consolidada aquellas que se han formado por la litificación o diagénesis de depósitos sedimentarios de origen detrítico o químico.

Algunos embalses subterráneos más extensos del mundo están formados por rocas sedimentarias consolidadas. El artesianismo atrajo desde hace muchos siglos el interés popular y científico y contribuyó en el desarrollo de la geohidrología. A nivel mundial, los acuíferos de las rocas sedimentarias consolidadas están menos explotadas que los de materiales sedimentarios no consolidados, debido probablemente a la menor seguridad de obtener el caudal buscado y al mayor costo de los pozos realizados en materiales consolidados.

1. CLASIFICACION Y DISPOSICION ESTRUCTURAL DESDE EL PUNTO DE VISTA
HIDROGEOLOGICO.

Las rocas sedimentarias y las rocas metamórficas derivadas de ---- ellas, sólo forman el 5% de los 15 primeros kilómetros de la corteza terrestre, sin embargo, sus afloramientos cubren el 75% de las tierras emergidas. Según el origen predominante de sus materiales, las rocas sedimentarias se dividen en dos grandes grupos: rocas detríticas y rocas de precipitación química. En la Tabla 3.3 se resume una clasificación elemental del conjunto de las rocas sedimentarias.

Las rocas detríticas de grano más fino son las que afloran con más frecuencia y constituyen aproximadamente la mitad de las rocas sedimentarias.

Los conglomerados y las areniscas constituyen el segundo grupo más importante de las rocas sedimentarias y ocupan aproximadamente, -- una tercera parte de los afloramientos sedimentarios. Por lo general entre sus componentes detríticos predomina el cuarzo. Las areniscas y conglomerados pueden dar lugar a acuíferos más importantes.

Las rocas carbonatadas (calizas y dolomitas) son el tercer grupo más importante de las rocas sedimentarias y ocupan aproximadamente una quinta parte de los afloramientos sedimentarios.

ORIGEN	COMPOSICION MINERAL PREDOMINANTE	TAMAÑO DE LAS PARTICULAS	NOMBRE DE LA ROCA
Detrítico	Fragmentos de rocas más antiguas sedimentarias o metamórficas	Mayor que 2 mm	Conglomerados, calizas
		Entre 2 y 0.06 mm	Areniscas
Químico inorgánico	Yeso y/o sal común Dolomita	Menor que 0.06 mm	Arcillitas y lutitas
			Microscópicas, excepto en los casos de cristalización
Bioquímico	Calcita	Muy variado	Calizas, margas
	Restos vegetales y calcita		Carbón, calizas orgánicas

Tabla 3.3 Clasificación elemental de las rocas sedimentarias consolidadas.

El resto de las rocas sedimentarias (yeso, diatomitas) apenas ocupan un 2% de los afloramientos y tienen un interés menor.

2. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LOS EMBALSES SUBTERRANEOS.

En una primera aproximación, las dimensiones de un embalse subterráneo albergado en una capa de areniscas, vienen definidas por las superficies topográficas del techo y el muro de la capa de areniscas. Si la capa aflora en la superficie, el límite superior al embalse es obviamente el de la zona saturada. Este límite oscilará de acuerdo con la recarga y descarga del embalse.

Cuando en vez de tratarse de una capa más o menos uniforme, se trata de paleocanales o zonas detríticas de grano más grueso, su localización en profundidad puede ser muy difícil, a no ser que se disponga de un buen inventario de los sondeos y los pozos existentes y que éstos sean suficientemente numerosos (ver Figura 3.8).

El esquema expuesto no constituye, por lo general si no una primera aproximación, ya que rara vez se puede hablar de un embalse subterráneo con unos límites perfectamente definidos. Los cambios laterales de facies hacen que la permeabilidad varíe progresivamente dentro de una misma capa, así a medida que el flujo sedimentario se aleja de su zona de origen, los conglomerados pasan a areniscas y éstas a limos o arcillas.

En general no debe hablarse de rocas impermeables o confinantes, sino de rocas permeables o semiconfinantes o de acuitardos. Estas rocas no son capaces de dar un caudal interesante mediante un pozo construido en ellas, pero su autofiltración de un acuífero próximo puede jugar un papel decisivo cuando se trata de plantear una explotación intensiva y prolongada, pues su capacidad de almacenamiento puede ser muy grande.

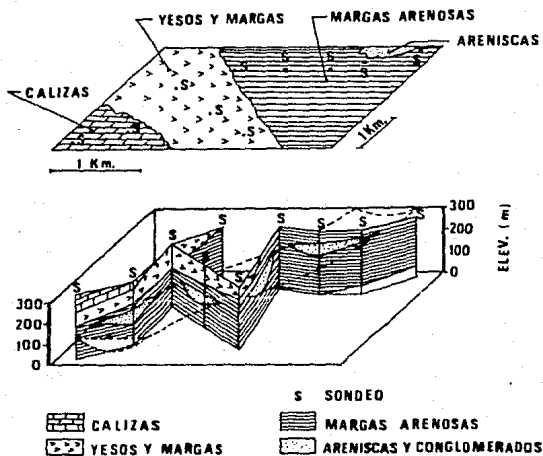


Figura 3.8 Localización de un paleocanal en una cuenca sedimentaria continental mediante la interpretación conjunta de datos de la geología de la superficie y del inventario de pozos y sondeos.

3. POROSIDAD.

a. ROCAS DETRITICAS DE GRANO FINO.

La porosidad total es una función del ámbito sedimentario original y de los procesos posteriores, las lutitas que no han sido cubiertas por fuertes espesores de sedimentos, pueden tener porosidad -- comprendidas entre 0.10 y 0.25 pero si han sido fuertemente compactadas por las rocas superiores y además han sido cementadas en mayor o menor proporción de la porosidad puede descender a una 0.02 a 0.01

Un aspecto muy importante a considerar en estas formaciones es su capacidad como roca-almacén o acuitardo, aún cuando no sean acuíferos. En otras palabras, el agua que contienen sus poros puede ser drenada por las capas más permeables. El agua congénita o de formación de estas rocas es desalojada muy lentamente, debido a su compactación geológica, pero el proceso es tan lento que no puede valorarse como recurso de agua subterránea en una planificación hidráulica normal.

b. ARENISCAS Y CONGLOMERADOS.

La porosidad depende en primer lugar de los mismos factores que la porosidad de los materiales sueltos que formaron el depósito inicial, es decir, de la composición granulométrica de la forma de -- las partículas, de su redondez y de su empaquetado u ordenación. La porosidad de las areniscas y conglomerados disminuye en relación con la de los sedimentos originales debido a los procesos de contaminación y compactación.

4. PERMEABILIDAD.

a. ROCAS DE GRANO FINO.

La permeabilidad de estas rocas apenas fue investigada hasta fechas relativamente recientes. Desde un punto de vista de la geohidrología, estos materiales fueron considerados clásicamente como impermeables. Sin embargo, las valoraciones de ensayos de bombeo

y análisis de embalses subterráneos, han puesto de manifiesto la posibilidad de que la permeabilidad de estos materiales sea suficiente para poder aprovecharse.

b. ARENISCAS Y CONGLOMERADOS.

La permeabilidad de las areniscas y conglomerados depende no sólo del tamaño de los poros o intersticios, sino también de que estos poros no hayan quedado incomunicados entre sí debido al proceso de cementación. El caudal que pueden proporcionar los pozos de las areniscas es todavía más variado que su permeabilidad y a que influyen otros muchos factores principalmente el espesor de la zona saturada, las características del pozo y su posterior desarrollo.

5. SISTEMA DE CAPTACION DE AGUAS.

En las rocas sedimentarias de grano fino, sólo se construirán, por lo general, pozos domésticos y estos pozos casi siempre será excavados y poco profundos.

En las areniscas y conglomerados los pozos pueden alcanzar grandes profundidades. En el caso de las areniscas puede estar indicado el desarrollo del pozo mediante explosivos o fracturación hidráulica y en el caso de las areniscas de cemento o granos alcalinos, la acidificación con ácido clorhídrico puede dar resultados muy satisfactorios.

G. EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN ZONAS KARSTICAS.

El término karst es sinónimo de aquellas formaciones geológicas constituidas por rocas sedimentarias consolidadas y cuyos poros o fisuras han sido ensanchados por la acción disolvente de las aguas subterráneas, hasta formar grandes conductos y cuevas que dan lugar a unas características geomorfológicas típicas.

Las rocas en las que la acción disolvente del agua produce estos efectos, son las calizas, las dolomitas, los yesos y casi todas -- las rocas evaporitas. Desde un punto de vista hidrogeológico el interés está en las rocas calizas y dolomitas.

1. CLASIFICACION Y DISPOSICION ESTRUCTURAL DE LAS ROCAS KARSTICAS.

Son aquellas rocas kársticas las que dan lugar a un relieve especial debido a su solubilidad relativamente grande en el agua. Pueden situarse en dos grupos:

- a. Rocas evaporitas (yeso y sal común fundamentalmente).
- b. Rocas carbonatadas (caliza y dolomita principalmente).

El yeso y la cal son rocas menos abundantes en la corteza terrestre que las calizas y las dolomitas. Por otra parte, su menor resistencia mecánica y su mayor solubilidad, hacen que muchos rasgos morfológicos del karst tengan una vida geológicamente efímera y alcanzen menos dimensiones y extensiones que en el karst de las calizas y de las dolomitas. Si a ésto se añade que las aguas subterráneas de las rocas evaporitas suelen tener un contenido de sales -- excesivamente elevado para que sean aprovechables para el hombre.

Las rocas evaporitas son predominantemente de origen químico, las calizas y dolomitas pueden ser de origen químico, bioquímico o detrítico. En la composición predominan los minerales tales como calcita, dolomita, arcilla y el cuarzo.

CAPITULO IV

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS DE AGUA

A. DISEÑO DE UN POZO.

B. CONSTRUCCION DE UN POZO.

A. DISEÑO DE UN POZO.

Como una captación comprende desde una excavación simple bajo el nivel freático hasta la construcción de pozos, utilizando las técnicas más modernas y avanzadas, este capítulo será una guía práctica para resolver algunas situaciones que se presenten en el abastecimiento de agua por medio de pozos.

La vida útil de los pozos y el mantenimiento de los mismos, están muy ligados a su construcción. De ahí la importancia que tiene establecer un procedimiento que permita acumular la mayor información posible al respecto. Por lo que es necesario hacer las siguientes consideraciones para poder diseñar y seleccionar las especificaciones correctas para la construcción y terminación de cada pozo, por lo que se deberá de contar, cuando sea posible, con la siguiente información:

1. Propósito del pozo.
2. Capacidad esperada.
3. Características de la formación geológica.
4. Características del acuífero.
5. Métodos de construcción.

1. PROPOSITO DEL POZO.

Se deberá saber su finalidad más importante entre las siguientes:

- a. Irrigación
- b. Abrevadero
- c. Municipal
- d. Industrial
- e. Doméstico
- f. Recarga del acuífero
- g. Drenaje

2. CAPACIDAD DEL POZO.

Se deberá conocer el gasto (lt/seg) que llene los requerimientos - en cada caso, aún cuando cabe aclarar que no todo el tiempo se pueden satisfacer las necesidades que se tengan con un solo pozo y un solo acuífero.

3. CARACTERISTICAS DE LA FORMACION GEOLOGICA POR PERFORAR.

Es necesario tener cuando menos datos de campo que permitan evaluar las formaciones y los materiales que se esperan atravesar. Si es posible, cuando se tenga en forma aproximada la geología del sitio, es conveniente detallar las formaciones perforadas, su estructura, la presencia de fallas, intrusiones, alternancia y contactos. Con lo que se contará con una información muy valiosa.

4. CARACTERISTICAS DE LA ZONA PRODUCTORA.

Para este caso se deberá obtener toda la información regional existente y que puede influir en el comportamiento del acuífero, así también aquella propia del acuífero mismo y en el caso más óptimo, la información puntual que se tenga del sitio donde se pretende construir el pozo. Esta información deberá completarse con todos aquellos datos adicionales, de campo y de laboratorio, que sea posible obtener y generar. Así como finalmente hacer la interpretación apoyándonos en todos los datos obtenidos y en la experiencia local, si es que se tiene.

En forma general podemos enumerar la información más importante, - que de ser posible, deberá obtenerse.

- a. Información de pozos cercanos.
- b. Información de materiales atravesados en esos pozos durante su construcción.
- c. Información de los gastos de aforo y explotación.
- d. Información de sus niveles estáticos y dinámicos.
- e. Los registros eléctricos o sondeos geofísicos.

f. La granulometría de la zonas productoras y sus características geológicas.

5. METODOS DE CONSTRUCCION.

La selección del método adecuado para la construcción de un pozo, generalmente está en función de las características geológicas, de las formaciones por atravesar, de la profundidad por alcanzar, y del diámetro de perforación; además de los problemas que se esperan encontrar durante la perforación. Todo esto está íntimamente ligado con el costo de la captación.

Se deberá hacer una serie de consideraciones en las que indudablemente pesará la experiencia que se tenga, para evitar el incremento de problemas y las consecuentes pérdidas de tiempo y hasta de herramientas de perforación.

Los diferentes métodos permitirán rendimientos de perforación muy diversos, es conveniente recalcar que siempre será una mejor opción, aquella que permite el avance más rápido de los trabajos.

Los métodos de construcción que actualmente se están utilizando y que se deben considerar, son los siguientes:

1. Percusión. Se lleva a cabo con una perforadora y herramienta de pulseta, donde es necesario conocer su capacidad y las herramientas con que se cuenta. Este método es generalmente tardado.
2. Rotación. Se utiliza una máquina con mesa rotatoria, en cuyo caso el sistema por utilizar, dependerá del fluido de perforación que probablemente pueda y vaya a ser utilizado, tal como el agua, lodo, aire, y espumantes. Se debe definir si el sistema rotatorio es para perforación directa o inversa y se debe conocer la capacidad del equipo.

3. Combinado. Con el martillo neumático y máquina rotatoria, se deberá tener el dato de los volúmenes de aire que se utilizarán - como fluido y el rango de presiones disponibles. Este método es una variante del anterior y en suelos compactos es muy rápido.

Con los datos anteriores, servirá para llegar a la selección de un sistema de perforación y a un diseño para la construcción del pozo, que prácticamente puede considerarse definitivo, en aquellos - casos en los que se cuente con amplia información. Sin embargo, - dicho diseño podrá ser modificado según los datos que se recopilen durante su construcción.

Con el diseño se definen los siguientes datos:

1. Diámetro y profundidad probable de la explotación.
2. Registro eléctrico.
3. Selección de ademe y contra ademe.
4. La cementación del pozo.
5. El tipo del cedazo.
6. La verticalidad permisible en su construcción.
7. El desarrollo del pozo.
8. El aforo del pozo.

De la correcta selección de los conceptos anotados anteriormente, depende el mayor o menor éxito en el aprovechamiento del acuífero y debemos hacer notar que en gran parte de los pozos por perforar no es posible contar con toda la información necesaria, por lo que en algunos casos, se tendrá la necesidad de hacer cambios de procedimiento o diseño durante el desarrollo de los trabajos.

6. ADEMES.

El ademe se instala en un pozo, para prevenir se colapsen las paredes del pozo y para prever, junto con la cementación, el aislamiento de determinadas formaciones atravesadas, para evitar la entrada

de agua de éstas al pozo, o desde el pozo a las formaciones, también sirve de camisa protectora para las columnas de las bombas, - instalación de cables o de cualquier mecanismo dentro del pozo.

Debe ser lo suficientemente fuerte para resistir las presiones - - ejercidas por el material que rodea al pozo. Además deberá resistir la corrosión de los componentes del suelo y agua.

El material que más se utiliza para el ademado de pozos, es el acero, pero se ha estado utilizando plásticos hasta de 10" de diámetro o de asbesto cemento que cubren de corrosiones y se han utilizado hasta de 14" de diámetro.

También existen ademes de acero inoxidable, aleaciones de níquel, bronce, aluminio, que pueden ser utilizados para casos en donde el suelo o las condiciones de calidad del agua dicten su utilización.

a. SELECCION DEL TAMAÑO ADECUADO.

A la fecha no existen especificaciones que regulen los tamaños y - calidades de acero, por lo que debemos atenernos a las que da cada fabricante en forma individual y a los tamaños y espesores que fabrican normalmente para el mercado.

Se debe aclarar la diferencia que existe entre la denominación de tubo y de ademe. Se puede aclarar que el tubo se fabrica cilíndricamente y el ademe a base de placas roladas.

Los tamaños actualmente disponibles y que en forma general satisfacen las necesidades para la construcción de pozos, van desde 4" -- hasta 36" de diámetro y generalmente en rango cada 2", el espesor varía desde 3/16" hasta 5/16" normalmente.

Cuando va a ser utilizado el pozo para bombeo, deberá ser instalado el ademe de tal manera que quede prácticamente vertical y ali-

neado.

A continuación se presenta una tabla de ademe recomendable, según el gasto que deberá entregar la bomba por instalar, permitiendo colocar el equipo con cierta holgura y además permite la entrada del agua con pocas pérdidas.

GASTO (L.P.S.)	ADEME RECOMENDADO (pigs.)	
menos de 3"	4"	D.I.
de 3 a 6	6"	D.I.
de 4 a 12	6" a 8"	D.I.
de 10 a 25	8" a 10"	D.I.
de 20 a 40	10" a 12"	D.I.
de 40 a 80	12" a 16"	D.E.
de 80 a 120	16" a 20"	D.E.
de 120 a 200	20" a 24"	D.E.
de 200 o más	24" o más	D.E.

Tabla 4,0 Tabla de ademe recomendado según el gasto de extracción
D.I. diámetro interior D.E. diámetro exterior.

b. DISEÑO DEL ADEME.

Para el diseño del ademe, se debe considerar que el caso más severo, se presenta cuando el ademe trabaja a tubo vacío y carga exterior, lo cual causa mayor diferencial de presiones. Los esfuerzos de tensión en la tubería reducen la resistencia al colapso.

La disminución de la resistencia al colapso de una tubería sujeta a tensión, puede conocerse calculando el esfuerzo unitario de tensión en el tubo y dividiendo entre el límite elástico mínimo aparente del material, lo que da un porcentaje del esfuerzo de fluencia:

$$R_y = \frac{F_x}{F_y} \dots\dots\dots 4.1$$

en donde

F_t = esfuerzo unitario de tensión.

F_y = límite elástico.

R_y = porcentaje de esfuerzo de fluencia.

como el esfuerzo unitario es

$$F_t = P_t / A$$

entonces

$$R_y = P_t / F_y A \dots\dots\dots 4.2$$

en donde

P_t = peso total suspendido. (kg)

A = área de sección. (cm²)

Durante el diseño por colapso, R_y puede ser calculado para un ademe dividiendo el peso suspendido del ademe entre su sección transversal y su esfuerzo mínimo de deformación permanente.

Con el valor de R_y calculado, se utiliza la tabla anexa (tabla 4.1) para encontrar el porcentaje de colapso que resulta de la tensión aplicada. El factor así obtenido es multiplicado por la capacidad al colapso del ademe. Para encontrar el valor que disminuye la resistencia al colapso, hay que encontrar el punto neutro de la tubería por el efecto de flotación, a partir del cual se produce la disminución de la resistencia al colapso del ademe.

$$NP = D_t (1 - P_m / 65.4) \dots\dots\dots 4.3$$

en donde

- NP = Profundidad del punto neutro (pies).
 Dz = Profundidad de colocación del ademe (pies).
 ρ_m = Densidad del lodo (lb/gal).

65.4 = Es el peso de acero lb/gal basado en la densidad -
 de 489.5 lb/pie³ del acero.

La carga al colapso en la columna del ademe a cualquier punto P_{cx} es calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{cx} = (P_o + D_x G_o) - (P_i + D_x G_i) \dots\dots\dots 4.4$$

P_{cx} = Presión de colapso a la profundidad de interés ---
 (p.s.i.).

P_o = Presión superficial externa (p.s.i.).

D_x = Profundidad a la que se está calculando el colapso
 (p.s.i.).

G_o = Gradiente de presión ejercido por el fluido afuera
 de la tubería (p.s.i. / Ft).

P_i = Presión interna superficial (p.s.i.).

G_i = Gradiente de presión ejercida por el fluido dentro
 de la tubería (p.s.i. / Ft).

La recomendación es que, cuando se diseña el ademe por colapso, se toma el tubo vacío y las presiones externas e internas se encuentran en equilibrio, por lo que la ecuación (5.4) se reduce a:

$$P_{cy} = D_x G_o \dots\dots\dots 4.5$$

Esta ecuación determina la carga por colapso en cualquier punto de la tubería, un factor de seguridad de diseño de 1.125 para ademe bajo la cementación y de 1.0 fuera de ésta, produce diseños satisfactorios.

i. TENSION.

La tensión permisible es:

$$C_t = \frac{AF_y}{1.33} \dots\dots\dots 4.6$$

C_t = Resistencia de la sección del tubo (lb).

A = Sección transversal del tubo.

F_y = Límite elástico mínimo permanente (p.s.i.)

Tabla 4.1 Efecto de la tensión en la resistencia al colapso.

R_y	Porcentaje de la presión total de colapso	R_y	Porcentaje de la presión total de colapso
0.010	99.5	0.330	79.2
0.020	99.0	0.340	78.4
0.030	98.4	0.350	77.7
0.040	97.9	0.360	76.9
0.050	97.3	0.370	76.1
0.060	96.8	0.380	75.4
0.070	97.2	0.390	74.6
0.080	95.6	0.400	73.7
0.090	95.1	0.410	72.9
0.100	94.5	0.420	72.0
0.110	93.9	0.430	71.2
0.120	93.3	0.440	70.3
0.130	92.7	0.450	69.5
0.140	92.1	0.460	68.6
0.150	91.5	0.470	67.8
0.160	90.9	0.480	66.9
0.170	90.3	0.490	65.9
0.180	89.6	0.500	65.0
0.190	89.0	0.510	64.1
0.200	88.4	0.520	63.1
0.210	87.7	0.530	62.1
0.220	87.1	0.540	61.2
0.230	86.7	0.550	60.2
0.240	85.6	0.560	59.2
0.250	85.0	0.570	58.1
0.260	84.3	0.580	57.1
0.270	83.6	0.590	56.1
0.280	82.8	0.600	55.0
0.290	82.1	0.610	54.0
0.300	81.3	0.620	52.9
0.310	80.6	0.630	51.9
0.320	79.9	0.640	50.9

A continuación daremos algunas recomendaciones prácticas que permiten revisar el diseño en una forma rápida, pero no hay que olvidar que por lo general se diseña de acuerdo con la experiencia y práctica obtenida en cada zona.

El espesor recomendado para tubería de ademe, para varios diámetros, y que puede considerarse una buena solución se muestra a continuación.

Diámetro de tubería	Espesor de pared
6"	de 3/16" a 1/4"
8"	de 3/16" a 1/4"
10"	de 1/4" a 5/16"
12"	de 1/4" a 5/16"
16" en adelante	de 5/16" a 3/8"

La NwwA (Asociación Nacional de Perforadores de Pozos en U.S.A.) - da la siguiente tabla (Tabla 4.2) para revisar la resistencia al colapso del ademe.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de U.S.A. (E.P.A.), recomienda que el espesor mínimo de ademes de acero, sea de 1/4" para que tenga una duración adecuada en condiciones normales de corrosión.

La relación más importante que debe observarse en los pozos, es el diámetro de la perforación con respecto al ademe por colocar, esto depende de la formación que se atraviese. En formaciones geológicas recientes que sean relativamente suaves y poco consolidadas, la regla es construir grandes agujeros para un determinado tamaño de ademe. En estratos más antiguos, donde las formaciones son duras y las paredes no son fáciles de destruir, se puede usar satisfactoriamente tamaños más pequeños en la perforación. Cuando se esperan problemas durante el entubado, es aconsejable usar tubos de

ademe pesado para vencer las fricciones en las paredes.

En sitios en donde existe estratificación alternada de materiales de mayor dureza, es necesario ampliar el diámetro de la perforación por las desviaciones que se presentan en los cambios de forma, así mismo se debe utilizar esta solución en donde se atraviesan fallas geológicas que dan lugar a muchas alteraciones o desviaciones.

Tomando en cuenta lo anterior, en los pozos por construir se recomiendan los siguientes diámetros, cuando hay que colocar filtros de gravas.

Perforación (diámetro)	Ademado (diámetro)
36"	24"
30" a 36"	20" a 24"
24" a 30"	14" a 20"
20" a 22"	12" a 14"
17 1/2" a 20"	10" a 12"
10"	6"
8 3/4"	4"

Tubería	Unidad	Cal. 12	Cal. 10	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"
8"	lb/pulg ²	127	275	646	1532	2992	5170
10"	"	65	141	1531	784	1532	2647
12"	"	38	81	191	454	887	1532
14"	"	24	51	121	286	558	965
16"	"	16	34	81	191	374	646
18"	"		24	57	134	263	454
20"	"		17	44	98	192	359
22"	"			31	74	144	249
24"	"			24	57	111	191
26"	"			19	45	87	151
28"	"			24	57	111	191
30"	"				29	57	98
32"	"				24	47	81
34"	"				20	39	67
36"	"				17	33	57

Tabla 4.2 Resistencia al colapso por vaciado rápido de la tubería de acero mientras permanece el nivel estático exterior en lb/pulg.2

7. CEDAZOS.

En los materiales poco consolidados y en ciertas condiciones en materiales consolidados, en la zona bajo el nivel freático, deberá proveerse de cedazos o ademes con determinadas aberturas que permitan el paso del agua dentro del pozo, al mismo tiempo que impidan o reduzcan al mínimo la entrada de los materiales finos durante el bombeo.

Lo anterior se logra con la combinación de material granular introducido entre el ademe y la pared del pozo y con aberturas apropiadas del ademe, de tal manera que sólo se permita la entrada del agua, sin llevar una excesiva pérdida de carga.

a. TIPOS DE CEDAZOS.

Existen dos tipos de cedazos; secciones perforadas o troqueladas de ademe y secciones tubulares especialmente diseñadas y construidas con alambres, para tener una gran área de infiltración y conocidas comúnmente como rejillas. En México se ha estado empezando a utilizar el cedazo tipo rejilla y se obtiene fabricándolo con alambre trapezoidal y galvanizado para aumentar su resistencia a la oxidación y en diámetros de 6" hasta 14".

b. SELECCION DEL DIAMETRO Y LA ABERTURA ADECUADA.

La selección del diámetro está en la función del tamaño de la bomba que va a colocarse. Se puede considerar que la solución ideal en este caso, es el utilizar una rejilla y ademe 1.5 veces mayor que el tamaño de los tazones de la bomba.

Así mismo la selección de la abertura está en función del gasto que se pretende obtener del acuífero y que puede ser estimado con bastante precisión.

Cuando el acuífero presenta materiales sueltos (gravas, arenas o limos) con una granulometría homogénea (coeficiente de uniformidad

menor a 3.0) y tiene un tamaño efectivo menor de 0.25 mm, debe colocarse un filtro.

El coeficiente de uniformidad, es la relación entre el tamaño de la malla que retiene el 40% de los materiales del acuífero y el tamaño efectivo d_{90} , (d_{40}/d_{90}). El tamaño de la malla que retiene el 90% de los materiales del acuífero, es el tamaño efectivo (d_{90}).

c. SELECCION DEL TAMAÑO DE LA ABERTURA.

El tamaño de la abertura deberá ser fijado de acuerdo con el siguiente criterio que está basado en el material de la formación que deberá ser retenido.

1. Cuando el coeficiente de uniformidad de la formación es mayor que seis y el ademe se coloca en una zona de formaciones relativamente compactas que no presentan mucha tendencia a disgregarse, la abertura deberá ser aquella que retenga el 30% de la muestra de la formación.
2. Cuando el coeficiente de uniformidad de la formación es mayor que seis y el ademe se coloca en una zona de formación suelta, la abertura deberá ser aquella que retenga el 50% de la muestra de la formación.
3. Cuando el coeficiente de uniformidad de la formación es de tres o más y la formación es inestable, la abertura deberá ser de un tamaño tal que retenga el 60% de la muestra de la formación.
4. Cuando la formación atravesada presenta una granulometría poco uniforme, se deberá seleccionar la abertura con base en el material más fino.
5. Si el agua de la formación es corrosiva o se tiene poca seguridad en las muestras obtenidas, se deberá escoger una abertura un 10% de la que se obtenga siguiendo el criterio marcado.

8. FILTROS DE AGUA.

a. SELECCION DEL TAMAÑO Y GRANULOMETRIA ADECUADA.

Un filtro artificial consiste en un material granular de una determinada medida de graduación que se instala en el espacio anular entre el cedazo y la formación. El filtro que tiene generalmente un mejor coeficiente de uniformidad que el material de la formación y un tamaño efectivo mayor, lo que permite el uso de la mayor abertura por ranura y en consecuencia de una gran área de infiltración, con una baja velocidad de entrada y una reducida pérdida de carga.

Un filtro debe tener una permeabilidad considerablemente más alta que la formación, de tal manera que pueda considerarse como un aumento del diámetro efectivo.

Los factores anteriores tienden a aumentar la eficiencia y la capacidad específica del pozo y reducir además el excesivo acarreo de arenas y finos dentro del pozo.

Existen varios criterios para la selección del filtro de grava, cuyo uso da generalmente resultados adecuados. Sin embargo, cualquier filtro así seleccionado puede ser mejorado, mediante la observación de los resultados obtenidos.

Un criterio general para seleccionar el material y la granulometría del filtro, es el siguiente:

1. La grava debe consistir en un material limpio, granular, redondeado, de preferencia con una gravedad específica mayor de 2.5 (no se deberá tener más de 1% del material con un peso específico menor que 2.25).
2. La grava deberá contener cuando mucho el 2% de material delgado y/o laminado, deberá estar libre de arcilla, mica o material orgánico.

3. El tamaño del filtro por utilizar, es determinando, multiplicando por cuatro, el tamaño de la malla que retiene el 50% de la formación más fina atravesada, el punto así obtenido es el tamaño correspondiente al 50% del material por usarse.
4. La curva granulométrica deberá ser gradual y continua y el coeficiente de uniformidad del filtro, no deberá ser mayor de 2.5, el 90% del material deberá ser retenido por la abertura del co-dazo.
5. El espesor de la capa filtrante debe ser 4" como mínimo y 8" como máximo con la finalidad de no incrementar en exceso las pérdidas de carga del agua al circular por el macizo de grava.

9. CEMENTACION DE POZOS.

Durante la construcción de pozos, generalmente es necesario asegurar el trabajo que se está realizando, por lo que cuando la formación es poco estable, generalmente se instalará una tubería cementada como contraademe del pozo.

En ocasiones el tramo cementado es prácticamente superficial, pero en otras, el material poco consolidado presenta espesores importantes y es necesario alcanzar mayores profundidades con el contraademe para impedir caídos dentro del pozo, que alcancen la superficie y causen fallamientos o pérdidas de soporte en la zona en donde se apoya el equipo de perforación.

Dependiendo del propósito del pozo, en ocasiones el contraademe se diseña para aislar el pozo, impidiendo así la entrada de agua superficial y evitar contaminación; de esta manera presenta una doble protección estructural y sanitaria.

La cementación del espacio anular entre la tubería metálica y las paredes del pozo, debe realizarse en tal forma, que se logre una -

buena adherencia de la lechada de cemento a la superficie metálica y a la formación atravesada, creando además un sello impermeable - que impida cualquier flujo a través del espacio anular, sobre todo a lo largo en la zonas de contacto. Además, durante el proceso de la lechada y su fraguado, no debe existir intercambio químico con las formaciones y fluidos existentes.

a. OPERACION DE PENETRACION.

Para lograr una buena colocación del cemento mediante bombeo, desde la superficie no se mezclan agregados, sino sólo agua-cemento, formulando una lechada debidamente controlada en función de la formación y los fluidos presentes.

El espacio anular por cementar, debe permitir el flujo de la lechada hasta la superficie, con el fin de que no queden cavidades.

Cuando un espacio anular está limitado, es conveniente el uso de - separadores metálicos colocados en el ademe con el fin de mantener el ademe centrado y permitir el flujo en todo el espacio anular y no tener la posibilidad de puentes y taponamientos que dejen zonas sin cementar.

La operación de cementación debe efectuarse en forma continua, desde el fondo hasta la superficie, para lo cual existen varios procedimientos que aseguran la colocación de una masa homogénea y continua.

1. El método más simple es cuando se cementan ademes con espacios anulares grandes y poco profundos. Es colocar la tubería de inyección hasta el final del pozo a través del espacio anular, la var con agua hasta que se extraiga cualquier material acumulado. Una vez que se encuentra libre el espacio anular, se procede a inyectar la lechada, cuidando que la tubería no se apoye al fondo, para evitar taponamientos. Conforme va subiendo la le

chada, deberá irse extrayendo la tubería de inyección, para que fluya la lechada correctamente.

La punta de descarga de la lechada, debe permanecer siempre por debajo del nivel que va tomando la lechada, para evitar que queden espacios de aire.

2. El mejor método de cementación, es la colocación de la lechada mediante el uso de zapatas de cementación con válvulas colocadas en el fondo del ademe, donde se inserta la tubería de inyección y se desplaza mediante bombeo; primero un fluido separador del lodo o agua del pozo y de la lechada e inmediatamente después del separador, se inyecta la lechada hasta que fluye en la superficie.

En este caso hay que tomar en cuenta el posible efecto de flotación del ademe, causado por la diferencia de pesos de la lechada que está siendo desplazada hacia la superficie y el peso propio del ademe metálico y del que se queda dentro de éste. En caso de que la diferencia sea positiva, se necesitará equilibrar esa fuerza con el anclaje pertinente.

Otro sistema que es el más conveniente y más utilizado para cementar pozos de agua, es el de colocar el volumen de lechada dentro del ademe, utilizando tapones de madera que tienen el diámetro prácticamente igual que el de la tubería interior del ademe; para poder efectuar este procedimiento, el ademe debe estar separado del fondo del pozo, de tal manera que el primer tapón separador de madera, salga y caiga al pozo fuera del extremo del ademe, sin obstruir el flujo libre de la lechada.

b. CALCULO DE LECHADA AGUA-CEMENTO.

Conociendo el volumen absoluto de los materiales que se utilizan para la cementación, puede diseñarse la densidad de la lechada y

y obtener el volumen con el agua de mezcla requerida para obtener la densidad necesaria.

La tabla 4.3 que a continuación se tiene, presenta las características de los materiales más utilizados para la cementación de ademes para pozos de aguas subterráneas.

Para fines prácticos, aditivos como acelerantes, retardadores, --- etc., no modifican los volúmenes y las densidades obtenidas con -- los datos de la tabla 4.3, si se utilizan materiales ligeros como perlita, cementos puzolánicos o materiales para evitar pérdidas de circulación, deberán hacerse las consideraciones necesarias durante el cálculo de volumen de lechada y densidad. Nuevamente es conveniente comentar que en raras ocasiones se utilizan estos materiales en la cementación de pozos de aguas.

MATERIAL.		PESO	VOLUMEN ABSOLUTO	% PESO	VOLUMEN NECESARIO	MEZCLA PESO	/ SACO VOLUMEN
CIMENTO	1 SACO	50.0 kg.	15.9 lts.	40.0	25.0 lts.	73.0 kg.	38.9 lts.
BENTONITA	1.0 kg.	1.0 kg.	0.43 lts.	530.0	5.3 lts.	6.3	5.75 lts.
BENTONITA	2% / SACO	1.0 kg.	0.43 lts.		5.3 lts.	6.3	5.75 lts.
BENTONITA	4% / SACO	2.0 kg.	0.86 lts.		10.6 lts.	12.6	11.46 lts.
BENTONITA	6% / SACO	3.0 kg.	1.29 lts.		15.9 lts.	18.9	17.15 lts.
BENTONITA	8% / SACO	4.0 kg.	1.72 lts.		21.2 lts.	25.2	22.92 lts.
BENTONITA	10% / SACO	5.0 kg.	2.15 lts.		26.5 lts.	31.5	28.65 lts.
BENTONITA	12% / SACO	6.0 kg.	2.58 lts.		31.8 lts.	37.8	34.38 lts.
BENTONITA	16% / SACO	8.0 kg.		530.0	42.4 lts.	50.4	45.84 lts.
ARENA SILICA	1.0 kg.	1.0 kg.	0.385 lts.	5	0.05 lts.	1.05	0.455 lts.
BARINA SILICA	1.0 kg.	1.0 kg.	0.385 lts.	35	0.35 lts.	1.35	0.755 lts.

Tabla 4.3 Volúmenes absolutos de materiales cementantes y volúmenes necesarios de agua de mezcla.

i. EJEMPLOS DE CALCULO DE LECHADAS.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo utilizando los valores de volumen absoluto de los materiales cementados de la tabla 4.3

	Peso	Volumen Absoluto	Volumen Agua	Mezcla Peso	1 Saco Volumen
Cemento	50 kg.	15.9 lts	23.0 lts	73,0 kg.	38.9 lts
Bentonita (4%)	2 kg.	0.86 lts	10.6 lts	12.6 kg.	11.46 lts
Total:	52 kg.	17.76 lts	33.6 lts	85.6 kg.	50.36 lts

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{85.6 \text{ kg}}{50.36 \text{ lts}} = 1.7 \text{ kg/lt}$$

Volumen de lechada / saco de cemento = 50.36 lts/saco.

Volumen de agua necesario para la mezcla = 33.6 lts/saco

La cementación amplificada en la que se utiliza un porcentaje de bentonita, permite obtener una lechada con menor densidad, más fluida, con mayor penetración y adherencia a la formación; además de que una vez que alcanza su fraguado total, resulta más impermeable el anillo cementado, ya que no permite fracturamiento por contracción.

Continuando con este ejemplo, consideraremos un pozo con las siguientes características:

- Diámetro de perforación 609.6 mm (24")
- Diámetro exterior del ademe 508.0 mm (20")
- Long. ademe por cementar 60.0 mm

El volumen del espacio anular será:

$$V_a = \pi (D_1^2 - D_2^2) / 4$$

$$V_a = 3.1416 (0.6096^2 - 0.508^2) / 4$$

$$V_a = 0.089 \text{ m}^3/\text{m} = 89 \text{ lts/m.}$$

Dependiendo de la formación que se trate, siempre se tiene un calibre del pozo, mayor que el diámetro nominal; para este ejemplo consideraremos un 20% de huecos en función del diámetro.

Volumen ajustado del espacio anular.

$$V_a \times 1.20 = 89 \text{ lts/m.} \times 1.20 = 106.8 \text{ lts/m.}$$

Volumen total por cementar Long. total 60 m.

$$V_{ta} = 106.8 \text{ lts/m} \times 60 \text{ m.} = 6,408.0 \text{ lts.}$$

La mezcla considerada de cemento con un 4% de bentonita da 50.36 -- lts. de lechada / saco.

por tanto:

$$\text{sacos necesarios} = 6,408.9 \text{ lts} / 50.36 \text{ lts/saco} = 127.0 \text{ sacos de cem.}$$

Como cada saco de cemento contiene 50 kgs., se necesitarán 6.35 -- ton.

La bentonita necesaria será de $6.35 \times 0.04 = 0.254$ ton., que son 25 sacos de bentonita.

El agua necesaria será:

33.6 lts por cada saco de cemento

$$127 \text{ sacos} \times 33.6 \text{ lts/saco} = 4,267.2 \text{ lts. de agua} = 4.26 \text{ m}^3.$$

En resumen, para la cementación de un pozo cuyo ademe tiene 20" de diámetro, una perforación de 24" de diámetro y una longitud de 60 m., se necesita el siguiente material:

- 6.35 ton. de cemento ---- 127 sacos
- 2.50 kg. de bentonita --- 25 sacos
- 4,300 litros de agua dulce.

B. CONSTRUCCION DE UN POZO.

Existen cuatro operaciones básicas comprendidas en la construcción de los pozos tubulares. Estas son: la operación de perforación, la instalación del entubado, el refuerzo de éste cuando sea necesario y la instalación de la rejilla.

1. PERFORABILIDAD DE LAS ROCAS.

De acuerdo al origen de las rocas se tendrá una mayor o menor dificultad de perforación para atravesar las diferentes formaciones.

A continuación se hace una descripción breve de los problemas que se presentan cuando se atraviesan diferentes tipos de rocas.

a. ROCAS IGNEAS.

Las rocas ígneas, por su dureza, son particularmente difíciles de perforar, especialmente en donde se encuentran en estado poco indurizado, lo que provoca una vida muy corta de las brocas y velocidades de penetración muy bajas.

En general, puede decirse que las rocas ígneas ácidas altas en contenido de cuarzo son muy duras, quebradizas y abrasivas. Las básicas que contienen menos cuarzo y más minerales ferromagnesianos, son menos abrasivas, pero debido a la textura de los minerales ferromagnesianos tienden a ser rocas más difíciles de perforar a pesar

de ser menos duras. A lo anterior hay que agregar el hecho de que generalmente se presentan intercalaciones de tobas arenosas y clásicas volcánicas sueltas entre las coladas basálticas, que complican el problema de la dureza con el de caídos en el pozo que puede provocar atrapamientos.

Así mismo, en ocasiones el fracturamiento y buzamiento de las coladas y las fallas que se presentan, provocan problemas de desviación y reducen el rendimiento de perforación, complicando en algunos casos lo anterior con grandes pérdidas de circulación de los fluidos de perforación.

b. ROCAS SEDIMENTARIAS.

Por la naturaleza de este tipo de rocas, hacen que se tenga una gran variedad entre ellas mismas, teniendo así su rango de perforabilidad muy grande; pudiéndose encontrar rocas muy difíciles de perforar o encontrarse lutitas, cuya dificultad de perforación no estriba en su dureza o abrasividad, sino en la expansión que presentan al hidratarse.

En otros casos, el problema que presentan es la falta de cementante como es el caso de algunos rellenos del cuaternario que presentan una gran inestabilidad, provocando caídos y cavernas que pueden ser importantes y que deben ser controladas durante el proceso constructivo.

Además de los problemas propios de su origen, las rocas sedimentarias como las calizas, arenisacas y lutitas, se presentan alternativas con diferente grado de fracturamiento y fallamiento.

c. ROCAS METAMORFICAS.

En el caso de las rocas metamórficas, como el de las rocas ígneas, su dureza y sus características de perforabilidad están directamente relacionadas con su composición mineral, el tamaño de los cris-

tales y el grado y el tipo de alteración, así como la orientación de los esfuerzos a que fueron sometidos, ya que sus minerales se orientan en una dirección preferencial que puede resultar no favorable a la perforación.

Como se ve en todos los tipos de rocas, los factores más importantes a considerar durante la perforación y que complican el proceso de construcción, son los siguientes:

- a. Estructura.
- b. Fracturamiento
- c. Fallas
- d. Estratificación
- e. Espesor de los estratos
- f. Alternancia de los estratos
- g. Intrusiones
- h. Tipo de foliación
- i. Grado de intemperismo
- j. Tipo de intemperismo (físico o químico)

2. PERFORACION A PERCUSION.

Este método es la acción perforadora que realiza accionando el trépano al cual se le ha agregado peso a través de un barretón y se maneja mediante el cable conectado a unas tijeras de perforación que permiten el golpe libre y constante del fondo del pozo, disgregando los materiales y poniéndolos en suspensión en un lodo que se agrega al fondo, para poder extraer los cortes posteriores, mediante el uso de una cuchara para limpieza.

a. SARTA DE PERFORACION.

La sarta de perforación está formada por las siguientes herramientas:

Trépano o broca. Es la herramienta de ataque y está diseñada con

niendo un filo de penetración o por dos en forma de cruz que fracturan y disgregan la formación, un cuerpo que transmite el peso necesario para el impacto y que mediante los cambios de sección en la geometría de su cuerpo produce una agitación mecánica del lodo que se adiciona o que se forma al ir perforando, logrando en esta forma para poner en suspensión en el lodo, gran parte de los cortes.

Las funciones principales de la broca son: el triturado, el mezclado del corte en el lodo y el rimado del agujero el diámetro necesario, hasta alcanzar la profundidad deseada, Las brocas utilizadas son la regular o tipo californiano (de dos aguas) y la de cruz (de cuatro aguas).

1. Barretón. Sobre la broca va conectado el barretón, que es la pieza que adicionada a la broca, proporciona el peso adecuado para dar el impacto deseado y que además sirve de guía y estabilizador de la broca. Es una pieza cilíndrica de acero que exige un gran cuidado de sus cuerdas y del apriete en sus conexiones.
2. Tijera o percusor. Es la herramienta conectada a la parte superior del barretón, tiene dos funciones esenciales; en forma similar a los eslabones de cadena permite el juego entre la herramienta de perforación y el cable, reduciendo el chicoteo del mismo, además sirve como elemento de seguridad, ya que en caso de derrumbe de la formación y de haberse atrapado la herramienta, permitirá el golpeteo hacia arriba para desatascarla.
3. Sóquet. Es la pieza que sirve para unir el cable a la sarta de perforación y que además transmite una acción de rotación que permite el cambio del frente de ataque de los filos de la broca.

La colocación de las herramientas se inicia con la del cable del sóquet, la limpieza de las juntas, la conexión del sóquet y las tijeras.

teras, la unión de éstas con el barretón y finalmente se coloca la broca integrando así la sarta de perforación.

b. CABLE.

Un elemento de mayor importancia, es el cable del que depende la sarta de perforación, además de que transmite la fuerza tensora -- que permite elevar y soltar la herramienta para lograr el impacto necesario; está sometido por lo tanto, a un esfuerzo continuo y -- violentas sacudidas.

Al tensar la herramienta, sufre un desgaste continuo por la fricción de las partes que contiene el lodo, así como la producida por el roce con las paredes de la perforación al chicotear el cable y por el rozamiento al enrollarlo y subir y bajar la sarta. También sufre desgaste por la tensión que se produce en los cambios de dirección, en los contactos en las poleas, etc. De esta manera, para poder soportar todos estos esfuerzos, el cable debe reunir varias características como son: la suficiente capacidad a la tensión -- (adecuada al peso de la herramienta que moverá), resistencia al -- desgaste por la fricción y flexibilidad (que le permita observar -- al impacto, vibraciones y tensiones).

Los cables más adecuados para adaptarse al funcionamiento descrito, son los preformados con alambres con calidad de acero de arado, torcido izquierdo, para que al aflojar y ponerse en tensión, -- el descableado lo haga girar de izquierda a derecha o sea en el -- sentido de apriete de las rocas que unen los componentes de la sarta, con alma de cúaño (tipo seale) y generalmente con el arreglo 6 x 19 (torones, alambres).

c. BARRENAS.

La broca tiene cuatro funciones importantes que realizar.

1. Penetración

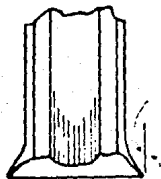


FIG 1

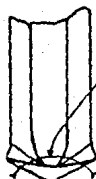


FIG 2

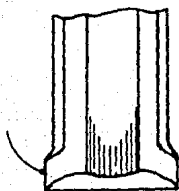


FIG. 3

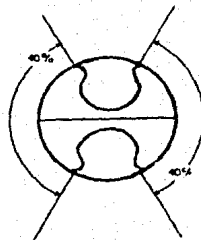


FIG 4

FILOS DE BARRENAS

Figura 4.1 (A) Filos de barrenas.

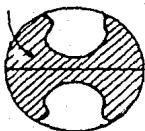


FIG. 5

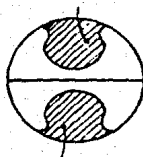


FIG. 6

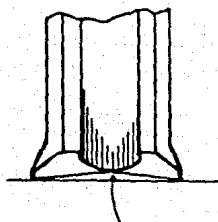


FIG. 7

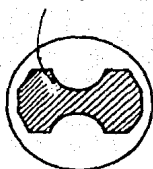


FIG. 8

FILOS DE BARRENAS

Figura 4.1 (B) Filos de barrenas.

2. Fracturamiento
3. Rimado
4. Mezclado

Las características de la formación geológica por perforar, determinará cuál de las cuatro funciones es más importante.

Se consideran ocho factores importantes para el diseño de una broca, para adecuarla a la formación por perforar y asegurar la penetración más efectiva posible.

- a. Angulo de limpieza
- b. Angulo de penetración
- c. Superficie de desgaste
- d. Filo de rimado
- e. Area de trituración
- f. Area de circulación o paso de agua
- g. Perfil del filo de penetración
- h. Sección transversal

La figura 4.1 muestra cada uno de los anteriores puntos.

d. PERFORACION.

Al inicio de la perforación y en el caso de atravesar materiales sueltos, se utiliza un tubo de acero con longitud suficiente para que impida la formación de cavernas en la superficie. El tubo deberá ser siempre de mayor longitud que la caída que se le da a la herramienta, como una medida de seguridad para que no se atore o tope con el tubo durante el pulseteo.

Después de perforar entre 50 y 60 cms., se verifica la caída de las herramientas y se debe girar la herramienta en caso de ser necesario, de tal forma que gire libremente y permita que el agujero vaya siendo cortado en todo el perímetro.

Al iniciar sobre roca, la broca se coloca a 2" arriba del pozo, -- acelerando a media velocidad y conectando gradualmente el embrague hasta que la herramienta comience a levantarse y bajar por la acción del caballete. El inicio del pozo de facilita cuando se excava un agujero de un metro de profundidad bajo la herramienta para que sirva de gufa.

Conforme se está perforando en el fondo de la excavación, se agrega un poco de agua hasta que se ha perforado entre un metro y 1.5 metros, donde se procede a extraer la broca y limpiar los cortes - hasta el fondo alcanzado.

Si el material no está mezclado con el agua formando una pasta ligera y por el contrario, se tiene en el fondo un lodo muy espeso - cuando se atraviesan materiales suaves, es una indicación de que - se ha trabajado con la línea de perforación muy suelta, en cuyo caso si se agrega un poco de agua, se sube la broca y se agita hasta tener una mezcla más ligera, después de ésto se coloca más agua antes de proseguir la perforación.

Se debe trabajar siempre con la línea suficientemente tensa, de -- tal forma que la herramienta estire el cable para alcanzar a gol--pear al fondo, agregando agua suficiente, de tal manera que se obtenga una buena mezcla con el corte. Si la formación se endurece - es posible soltar más cable y se obtienen buenos resultados. Es -- buena recomendación mantener tensionada la herramienta en materia--les suaves y un poco suelta en materiales duros.

El cuchareo es indispensable para la perforación, aunque es un - - tiempo en el que no se avanza dentro de la formación, por lo que - es importante hacerlo en la forma más eficiente y rápida, de tal - manera que se redizca el tiempo de cuchareo y se incremente el - - tiempo del equipo perforado.

No se debe suspender el pulseteo, sino hasta que se vaya a cucha--

rear cinco minutos antes de suspender el movimiento de perforación se arroja un poco de agua (16 lts.) para adelgazar la mezcla, de tal forma que la cuchara al cubetear, alcance a penetrar hasta el fondo y regrese totalmente llana. Si no se hace ésto, es muy probable que se duplicará el tiempo de cuchareo.

La cantidad de agua que se agrega al pozo y el periodo de tiempo para agregar más agua, tiene un gran efecto en el rendimiento. Demasiada agua tiende a arrastrar todo el material pesado hacia el fondo y la broca tendrá que remolerlo antes de proseguir cortando nuevamente el fondo del pozo. La falta de suficiente agua, causa una consistencia muy espesa de lodo, que disminuye la velocidad de caída de las herramientas y retrasa la perforación.

Puede decirse que no es necesario extraer todo el lodo del pozo, sino el más espeso y pesado al fondo del agujero, manteniéndose en esta forma el pozo mejor balanceado y con una determinada presión en las paredes cercanas al fondo.

Después de cucharear y dejar libre el pozo, generalmente quedan de 30 a 50 cms. de mezcla, por lo que se debe agregar un poco de agua cuidando que al ser arrojada por el centro del agujero para que no arrastre el material suelto y pesado hacia el fondo, así mismo es necesario agregar cantidades pequeñas de agua cuando el lodo se espese y cuando se incremente la profundidad. En otras palabras, se debe empezar la perforación agregando muy poca agua y deberá agregarse conforme se incrementa la profundidad con el fin de mantener una consistencia uniforme de la mezcla, dentro de un punto tal, que los materiales pesados no se depositen en el fondo, pero que además no se retrase la caída de la herramienta.

3. PERFORACION A ROTACION DIRECTA.

Existen varios sistemas de perforación a rotación directa, pero en forma general, estos procedimientos consisten en la perforación de suelos aluviales y una gran diversidad de rocas, mediante la --

aplicación de una fuerza a una herramienta de corte (broca o barro) que penetra a rotación, utilizando diferentes fluidos de perforación para el desalajo del corte de la formación y mantener limpio el fondo del pozo.

Utilizando este procedimiento, es posible perforar a diferentes diámetros y profundidades, dependiendo éste de la capacidad del equipo, de las herramientas que se utilizan y en forma muy importante, de las características geológicas de las formaciones por atravesar.

Para alcanzar los diferentes diámetros, generalmente se realiza una exploración en el sitio del pozo a un diámetro relativamente pequeño entre 8 1/2" y 12 1/4", hasta alcanzar la profundidad deseada.

Una vez ampliado el pozo al diámetro solicitado, se procede a su ademado, colocando los correspondientes tramos de tubo y cedazos para que posteriormente sea colocado un filtro de grava-arena con la granulometría adecuada a la formación del acuífero atravesado. Finalmente se prosigue con la limpieza, desarrollo y el aforo del pozo construido, para conocer su comportamiento y curvas características.

a. EQUIPOS DE PERFORACION A ROTACION.

Las perforadores rotatorias que se utilizan para la construcción de pozos de aguas, son portátiles y pueden ser autopropulsoras o montadas sobre una o varias plataformas o estructuras y estar totalmente integradas o complementarse con equipos auxiliares.

Componentes principales:

1. Sistema de nivelación
2. Torre de perforación
3. a. Estructura y corona

b. Sistema de levante

3. Unidad de fuerza
4. Sistemas de embrague
5. Transmisión (es)
6. Caja de velocidades
7. Mesa rotatoria
8. Flecha de perforación
9. Cabeza giratoria
10. Malacates.
11. Cables y polipastos
12. Bombas de lodos
13. Sistemas auxiliares
14. Compresor

Todos los equipos cuentan con sistemas de nivelación manuales (de tornillos) o hidráulicos, de tal forma que permitan su correcta -- colocación con rapidéz y den la seguridad requerida en sus apoyos.

La torre de perforación y el chasis sobre el que se colocan los diferentes componentes, son los elementos básicos de la perforadora. Al ser la torre (estructura y corona) y el chasis los que prácticamente conforman el equipo, la capacidad y resistencia de estos elementos será lo que defina y limite el equipo de perforación, de -- ahí la gran importancia que revisen estos elementos.

La penetración cuenta con unidad de fuerza que puede estar integrada con uno o dos motores. Cuando el equipo es autopropulsado, en - ocasiones el motor del camión es utilizado para proporcionar la -- energía necesaria a parte o total de los componentes. En otras ocasiones el motor del camión es independiente de la perforadora y en este caso se cuenta con otro motor o motores para la operación.

Las actividades y sistemas mecánicos principales son:

1. De levante de la herramienta.- Permite colocar en posición los

implementos y tuberías de perforación.

2. Sistema de rotación. Necesaria para la acción perforadora y el sistema de circulación de lodos.
3. Sistema de levante. Sostiene la flecha y sarta durante la perforación.

Lo anterior se complementa con los cables y polipastos que facilitan el manejo y transmiten los esfuerzos, así como los sistemas de embrague, transmisión y controles correspondientes.

4. Sistema de rotación. En este sistema, su capacidad está dada por la de la fuerza rotatoria, la que tiene dos parámetros importantes, su tamaño y rango de velocidades.

El sistema de rotación está integrado por la mesa rotatoria, la flecha de perforación, los sistemas de transmisión y embrague, así como la toma de fuerza del motor y caja de velocidades,

5. Sistema de circulación de los lodos o fluidos. Con una o varias bombas duplex del tipo de desplazamiento positivo, dan gastos y presiones necesarias de trabajo. Estas bombas pueden estar integradas al equipo o pueden ser equipo portátil auxiliar, independiente del mismo.

El sistema de circulación se complementa con la manguera de succión, mangueras, tuberías, conexiones y sistemas de válvulas de descarga que permiten circular el lodo desde las fosas para integrarle la bentonita y otros aditivos, o bombearlo desde ellas hasta el fondo del pozo a través de la tubería que corre a lo largo y unida a la torre de la manguera flexible, que hace la conexión desde la torre al cabezal giratorio permitiendo la circulación del lodo durante el desplazamiento de la flecha de perforación, desde su posición extrema superior hasta la inferior en mesa rotatoria.

A continuación se muestran los esquemas de tres plantas de perforadoras rotatorias.

b. METODO DE PERFORACION A ROTACION DIRECTA.

La acción perforadora es debida a la aplicación de un peso suficiente en el fondo del pozo, para romper la estructura de la roca, mediante la utilización de la barrena auxiliada por el movimiento de rotación transmitiendo ésta por la sarta de perforación que es manejada desde la superficie por una flecha (kelly) y una mesa rotatoria, todo sostenido a través de cables por malacates o por sistemas de transmisión a base de cadenas o una combinación de ambos.

La broca, al girar, corta y desmenuza el material conforme penetra en la formación y una vez realizada esta operación se limpia el fondo del pozo y desalojan los cortes mediante la circulación del fluido de perforación que se alimenta a través de la herramienta y que sólo al descargar a través de la broca, golpea el fondo del pozo limpiándolo de las partículas quebradas y ayudando en algunos casos de rocas suaves. El fluido prosigue desplazándose hacia afuera del pozo con determinada velocidad, acarreando los cortes a la superficie para extraerlos mientras la tubería y broca prosiguen su accionar profundizando el pozo. El fluido descarga finalmente en la superficie donde se separan los cortes mediante su decantación en las fosas construidas para tal efecto por vibración.

Los factores que afectan el rendimiento de la perforación son:

1. Tipo de barrena
2. Peso sobre barrena
3. Velocidad de rotación
4. Limpieza del acuífero
5. Propiedad del lodo

Los factores propios de la formación que afectan la velocidad de perforación como el tipo y la dureza de la roca, la presión de po-

ro, etc., no pueden ser cambiados, pero es muy importante que sean conocidos por el perforista.

De utilizar el tipo de broca y considerando que sea el más adecuado, el rendimiento varía en función del peso que se le aplique, ya que a mayor peso aplicado corresponde un mayor avance, siempre y cuando el sistema de circulación extraiga los cortes del fondo del pozo conforme se vayan produciendo. En formaciones suaves se produce una gran cantidad de cortes, por lo que se debe contar con un sistema de limpieza del agujero y de extracción muy eficiente, ya que éste es el factor limitante del rendimiento. En formaciones duras, como la formación de cortes es mucho menor, es más importante el corte del material, por lo que se debe contar con un peso adecuado para transmitirlo a la barrena y sobrepasar la resistencia a la compresión de la roca, para lograr los cortes.

Una alta velocidad de rotación permite avanzar rápidamente en formaciones suaves y poco consolidadas, pero en formaciones duras y compactas el limitante del avance es el peso que se aplica a la formación y no a la rotación, por lo que en este caso se da mayor atención a la transmisión del peso.

i. FLUIDOS DE PERFORACION.

Las principales funciones de los fluidos de penetración son:

Enfriamiento de brocas. Es una función muy simple y esencial; prácticamente cualquier fluido que puede ser bombeado, cumplirá esta función.

Remover el corte del barreno. Al perforar un material o formación, los cortes producidos por la broca deben extraerse continuamente del barreno. En algunos casos ocurren caídos de la pared del pozo; éstos también deberán ser removidos.

La capacidad de un fluido de perforación para remover el corte dependerá de los siguientes factores:

1. Peso específico de la roca que se está cortando.
2. Tamaño del corte obtenido.
3. Densidad del fluido utilizado.
4. Velocidad del fluido.
5. Velocidad de retorno del fluido de perforación en el espacio -- anular.

Prevención de derrumbes. Dando una suficiente presión hidrostática diferencial dentro del agujero, se pueden mantener formaciones poco consolidadas en su lugar. La columna del fluido en un pozo, -- ejerce una determinada presión en cualquier dirección, en un punto que se encuentre en una profundidad determinada.

En la práctica, en la mayoría de los casos los fluidos empiezan a perder agua hacia la formación atravesada, por lo que cuando esta pérdida de agua es grande, es necesario mejorar sus características, tratando de evitar que el agua filtrada altere la formación -- para así evitar problemas de taponamiento de formaciones permeables y el atascamiento de la herramienta por una pegada diferencial, al adherirse la sarta de perforación al lodo que se deposita en las paredes del pozo. Lo que provoca la retención de la sarta -- por la pequeña fuerza de adherencia entre la tubería y el lodo, pero multiplicada por un área de contacto muy grande, lo que da por resultado una pegadura que presente gran dificultad para rescatar la herramienta.

i.i. BARRENAS.

Son las herramientas que propiamente efectúan la perforación y están constituidas por unos conos dentados que son los elementos cortadores, los cuales están montados sobre conjuntos distribuidos -- geoméricamente e integrados en una sola pieza que tiene una cone-

xión en el extremo superior, para permitir su inición a los lastra -
barrenas de la sarta de perforación.

Cuando se atraviesan rocas duras o muy duras, deberá utilizarse --
brocas de dientes cortos y para el caso de materiales suaves, los
dientes deberán ser largos y espaciados. El número de dientes au--
menta de acuerdo a la dureza y su tamaño disminuye conforme se va
incrementando la dureza hasta llegar al uso de las brocas de boto-
nes de carbono de tugsteno que presentan pequeñas puntas de ataque
de mayor resistencia y que pueden transmitir grandes pesos y es---
fuerzos a la roca para sobrepasar su resistencia a la compresión y
lograr rendimientos adecuados.

c. PERFORACION A ROTACION CON AIRE.

El proceso constructivo que se utiliza es prácticamente el mismo -
que el descrito en los sistemas rotatorios de circulación directa
y el único cambio que se tiene es la utilización del aire como - -
fluido de perforación.

El procedimiento de perforación con aire contempla la utilización
de una torre de perforación con su rotatoria, la sarta completa, -
llaves y cuñas para su manejo y por supuesto la broca adecuada.

En lugar de utilizar una bomba para el manejo de los lodos, se de-
be contar con un compresor, mangueras con conexiones de alta pre--
sión y una bomba de pistones que permita incluir agua-espumante --
del aire utilizado durante el proceso.

Las funciones del aire como fluido de penetración, son las siguien-
tes:

1. Lubricación de las herramientas.
2. Enfriamiento de la broca.

3. Limpieza del fondo del pozo.
4. Extracción de los cortes del barreno.

d. PERFORACION A ROTACION INVERSA.

Los principios en que se basa este método son los mismos que los del método directo y los propios de los fluidos que se utilizan para la perforación en general.

Con este procedimiento, es posible utilizar como fluido agua, lodo o una combinación de éstos con aire, conforme sea necesario y de acuerdo a la formación que se vaya a perforar generalmente se usa agua como fluido de perforación.

El método consiste en una inversión del sistema de flujo, es decir el fluido es alimentado directamente de las fosas al pozo entre las paredes de la formación y la tubería y el retorno se hace a través del interior de la tubería. Para iniciar este sistema se utiliza una bomba de vacío.

Los principales componentes del sistema son los siguientes:

1. Bomba
2. Tubería de perforación
3. Cabezal giratorio

Este procedimiento es muy adecuado por atravesar aluviones o materiales totalmente sueltos y la única desventaja que se tiene es la de que como se perfora directamente a diámetros grandes, la torsión que se genera es muy grande, obligando de esta manera a manejarse a velocidades muy bajas y además no es posible agregar peso a la sarta, la operación es muy lenta sobre todo a su inicio.

Este procedimiento es posible utilizarlo convenientemente en perforaciones de diámetros grandes, en las que utilizar el método de circulación directa se alcanzan velocidades de retorno muy pequeñas e

insuficientes para elevar los cortes hasta sacarlos a la superficie, sobre todo al tratarse de gravillas y gravas.

Este método, poco utilizado a la fecha, permite utilizar el sistema de perforación inversa con las herramientas y máquinas tradicionales de perforación directa.

e. DESARROLLO DE POZOS.

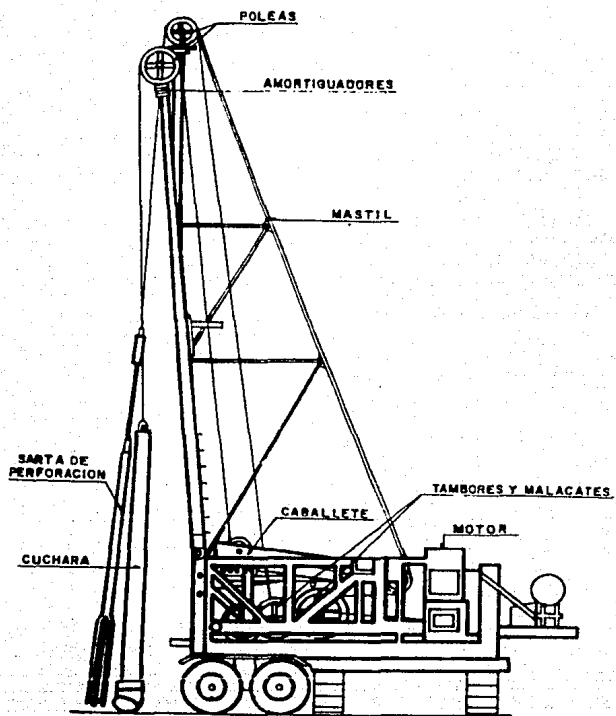
Esta es una de las actividades más importantes para la terminación de un pozo para la extracción de agua.

De un adecuado desarrollo puede depender el buen funcionamiento -- del pozo construido y en un momento dado el no efectuar un buen desarrollo, puede provocar que aunque se atravesase un buen acuífero, no se alcance su capacidad específica real.

Con el desarrollo se elimina cualquier gel y enjarre que se haya adherido en las paredes del pozo y los finos que hayan penetrado la formación, disminuyendo la permeabilidad de algunos acuíferos importantes y se extraen los finos que están cerca o en contacto con el material filtrante, formando un filtro natural con una permeabilidad mayor a la de la formación, además se reacomoda el material del filtro y de la formación adyacente estabilizándolo, evitando en esta forma el paso de finos y contribuyendo a tener un pozo más eficiente, con mejor vida.

Los procedimientos de limpieza y desarrollo de pozos más utilizados, son los siguientes:

1. Pistoneo y cuchareo.
2. Lavado pistoneo y cuchareo.
3. Lavado mediante inyección de chorros de agua a través de la rejilla.
4. Con aire mediante el uso de la doble tubería (air litt).
5. Desarrollo con bombeo.



PERFORADORA DE PERCUSION

Figura 4.2 Perforadora de percusión.

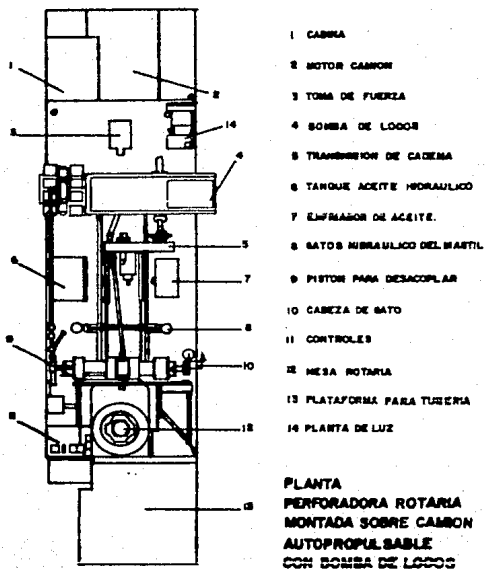


Figura 4.3 (a) Planta perforadora rotatoria.

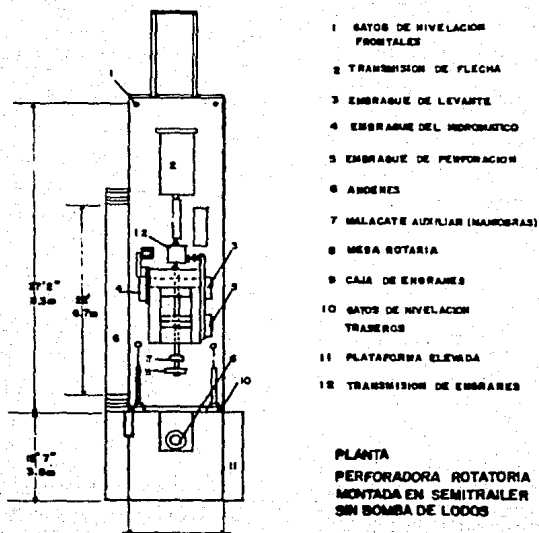


Figura 4.3 (b) Planta perforadora rotatoria.

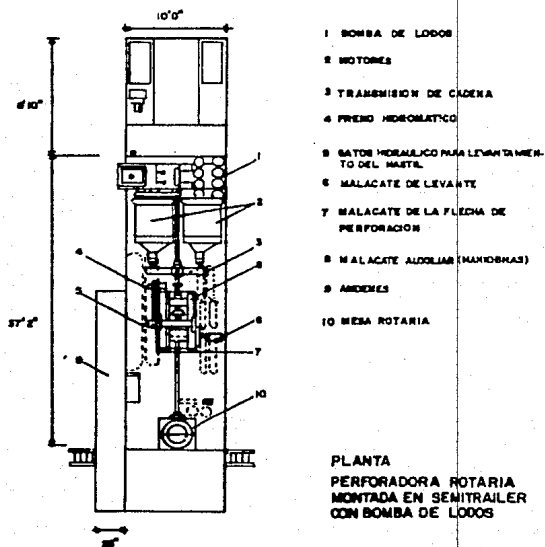


Figura 4.3 (c) Planta perforadora rotatoria.

CAPITULO V

EQUIPO DE BOMBEO.

A. GENERALIDADES.

**B. MAQUINAS HIDRAULICAS DE
DESPLAZAMIENTO POSITIVO.**

C. MAQUINAS ROTODINAMICAS.

A. GENERALIDADES.

Las bombas, con sus diferentes tipos de diseño, pueden ser utilizadas para el bombeo de pozos profundos o pequeños, siendo capaces de operar tanto fluidos corrosivos como totalmente contaminados o bien en la explotación de un pozo de agua potable. Por lo que su variedad de aplicaciones y su correcta selección para un trabajo determinado dependen de las condiciones de servicio y de los niveles de bombeo.

La perforación y la terminación de un pozo, sólo constituyen una parte de la solución al problema de la obtención de agua en cantidades suficientes para poder usarla. Normalmente los pozos pequeños logran abastecer a una casa o a un grupo de casas y otros consumidores de escasas necesidades, pero generalmente el agua es usada a alturas mayores que la del pozo, por lo que debe encontrarse algún medio de elevarla desde la fuente y llevarla a través de una tubería, hasta alcanzar el nivel deseado y la velocidad adecuada. Existe una excepción a esta aseveración general y es el antes mencionado "pozo artesiano", pero aún cuando tiene una descarga a una presión mayor a la atmosférica casi siempre queda limitado para alcanzar grandes alturas.

Las bombas no desarrollan energía por sí solas; debe proveerse de alguna fuente externa de energía para accionarse y lograr llevar el fluido al lugar que se requiera, y puede ser la fuerza desde la más simple que es usar una palanca accionada manualmente o una fuerza provocada por viento, motor eléctrico, gasolina, diesel, etc.

La acción de la mayoría de las bombas se puede dividir en dos partes fundamentalmente prácticas.

1. Elevación del agua desde en cierto nivel bajo, hasta la toma de la bomba.

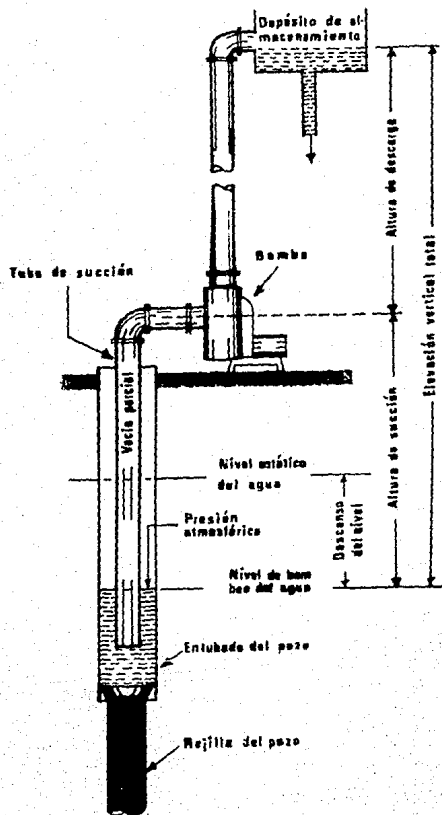


Figura 5.1 Principios de bombeo de un pozo.

2. La presión adecuada la cual se aplica al agua dentro de la bomba para llevarla.

El bombeo en las aguas subterráneas se hace necesario y muchas veces indispensable el uso de las bombas verticales tipo turbina y cuando la fuente de bombeo es menor de tres metros, son utilizadas las bombas horizontales.

1. ALTURA DE SUCCION.

El nivel que se eleva de agua dentro de un conducto, por tener presión menor que la atmósfera a partir de la fuente de abasto o volumen por bombear se le denomina altura de succión, tal y como lo muestra la Figura 5.1

2. NIVEL DE BOMBEO.

Es el nivel en que se encuentra el espejo de agua del volumen que será bombeado.

3. NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA.

Es el nivel del agua dentro de la tubería de succión a causa del vacío parcial, producido por la bomba al dejar de funcionar.

4. ALTURA DE DESCARGA.

Es la altura a la cual se requiere llevar al fluido a partir de la bomba; esta altura dependerá de la necesidad que se tenga para elevar el agua y quedará restringido con la capacidad de la bomba.

5. CARGA TOTAL.

Teóricamente al crear una presión igual a cero, o bien crear un vacío total en la tubería de succión, podría elevar el agua (10.33m) a nivel del mar. Sin embargo, en la práctica no sucede, ya que las bombas no son 100% eficientes y otros factores tales como la temperatura del agua y la fricción, reducen alturas de succión.

Ahora bien, no solamente existen pérdidas en la parte de succión - sino también en la de sección de descarga, válvulas, cambios de di reccción, salida, rejillas, etc. Sin embargo, estas pérdidas no son tema de este trabajo. Con lo anterior se puede llegar a la siguiente expresión:

$$H_t = H_{sd} - H_{ss} + E_{h_{ts}} + E_{h_{td}} \dots\dots\dots 5.1$$

en donde:

H_t	= Carga total	[L]
H_{sd}	= Carga en tubería de descarga	[L]
H_{ss}	= Carga en tubería de succión	[L]
$E_{h_{tsd}}$	= Pérdidas de carga en tubería de succión y descarga	[L]

Por otra parte las bombas se clasifican según la altura de succión límite en:

- Tipo superficial.
- Bombas de pozos pequeños.
- Bomba de pozo profundo.

a. TIPO SUPERFICIAL.

Son aquellas que se instalan en la superficie del suelo, sobre él están limitadas a elevar el agua por succión de 25 pies aproximadamente bajo el suelo.

b. BOMBAS DE POZOS PROFUNDOS.

son las que se instalan dentro del pozo y se emplean para extraer agua desde profundidades generalmente mayores de 25 pies bajo la superficie del suelo.

Otra clasificación muy común de las bombas las divide en dos tipos principales basados en los principios mecánicos que implican. Estos dos tipos son de desplazamiento constante (basado en el principio de desplazamiento positivo) y las de desplazamiento rotodinámico (basado en las ecuaciones de Euler).

B. MAQUINAS HIDRAULICAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

1. PRINCIPIO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

El funcionamiento de las máquinas de desplazamiento positivo se basa en la teoría del mismo nombre y no con la ecuación de Euler como lo hacen las turbomáquinas. Para tener una mejor visión de la forma de funcionamiento de estas máquinas, observaremos la figura siguiente:

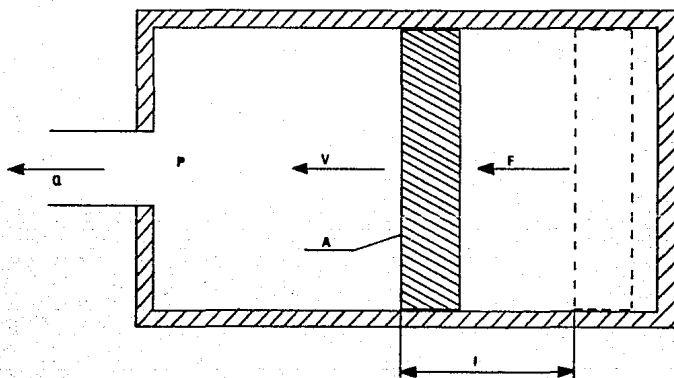


Figura 5.2 Explicación del desplazamiento positivo.

En el interior del cilindro de la figura 5.2, se mueve un émbolo con una velocidad v con movimiento uniforme y un fluido con una presión p . Suponiendo que tanto el cilindro como el émbolo son rígidos y que el fluido es incomprensible, de este modo el movimiento del émbolo se debe a la fuerza aplicada F . El émbolo al moverse desplaza al fluido a través del orificio de la Figura 5.2 si el émbolo recorre un espacio ℓ hacia la izquierda, el volumen ocupado por el líquido se reducirá en un valor igual a $A\ell$ (donde A - área transversal del émbolo). Como suponemos un fluido incomprensible el volumen que sale por el orificio será también $A\ell$ y el tiempo que tarda en recorrer la distancia ℓ es:

$$t = \frac{\ell}{v} = \dots\dots\dots 5.2$$

El gasto Q o el volumen desplazado en la unidad de tiempo, será te niendo en cuenta la ecuación 5.2

$$Q = \frac{A\ell}{t} = Av \dots\dots\dots 5.3$$

Si no existe este rozamiento, la potencia hacia el fluido será:

$$P = F v$$

pero $F = pA$ entonces

$$P = Fv = pAv = Qp \dots\dots\dots 5.4$$

$P =$ potencia	$[M] [L] [T]^{-3}$
$p =$ presión	$[F] [L]^{-2}$
$v =$ velocidad	$[L] [T]^{-1}$
$Q =$ gasto	$[L]^3 [T]^{-1}$
$A =$ área transversal	$[L]^2$
$F =$ fuerza aplicada en émbolo	$[M] [L] [T]^2$

Es muy claro que el esquema de la figura 5.2 puede funcionar como bomba o motor, es decir, que la máquina puede absorber potencia mecánica Fv y restituir potencia hidráulica Qp (bomba) o viceversa. En cualquiera de los dos casos se puede decir.

El principio del desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara.

2. CLASIFICACION DE LAS MAQUINAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

El elemento principal de las máquinas de desplazamiento positivo - que se designará con el nombre genérico de desplazador, tiene la misión de intercambiar energía con el líquido, lo que implica un desplazamiento del mismo, ésto hace que existan muchos diseños según sea el ingenio del proyectista. Sin embargo, se ha clasificado en dos criterios.

a. PRIMER CRITERIO.

Según el tipo de movimiento del desplazador, las máquinas de desplazamiento positivo se clasifican en:

1. máquinas alternadas.
2. máquinas rotativas.

El principio del desplazamiento positivo en las máquinas alternativas se explicó mediante la Figura 5.2, la siguiente Figura 5.3 - muestra que el mismo principio puede realizarse en una máquina rotativa.

b. SEGUNDO CRITERIO.

Según la variabilidad del desplazamiento.

- a. máquinas de desplazamiento fijo.
- b. máquinas de desplazamiento variable.

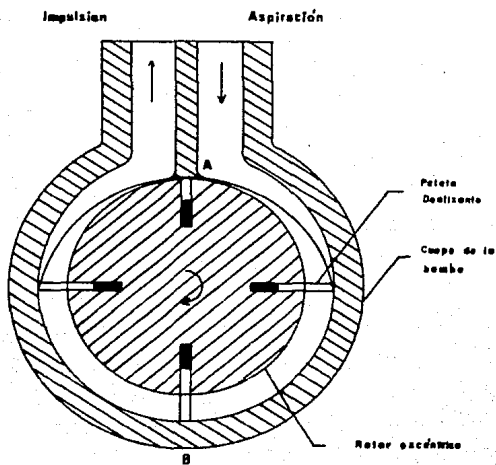


Figura 5.3 Las bombas rotoestáticas se basan también en el desplazamiento positivo.

La variación del desplazamiento en una máquina alternativa es fácil, basta variar la carrera del émbolo. En algunas máquinas rotativas también es fácil. Por ejemplo, en la figura 5.3 para variar el desplazamiento basta variar la excentricidad del rotor.

El gasto en las máquinas de desplazamiento positivo será:

$$Q = Dn \dots\dots\dots 5.5$$

en donde

D = volumen desplazado en una revolución.

n = número de revoluciones por minuto.

En resumen, tomando los dos criterios, las máquinas de desplazamiento positivo se clasifican en cuatro grupos.

1. Máquinas alternativas de desplazamiento fijo.
2. Máquinas alternativas de desplazamiento variable.
3. Máquinas rotativas de desplazamiento fijo.
4. Máquinas rotativas de desplazamiento variable.

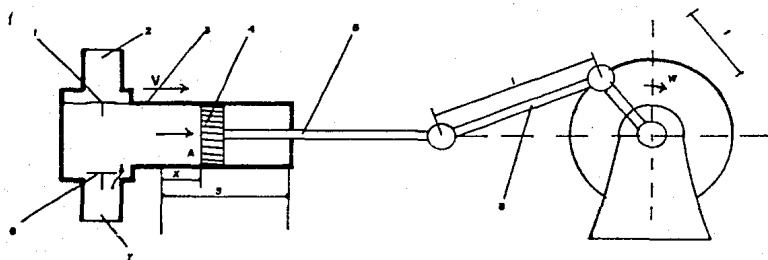
El grupo de las máquinas alternativas tienen dos usos:

- a. Bombeo de líquidos.
- b. Transmisiones y controles hidráulicos y neumáticos.

En el primer caso es muy común encontrarse con bombas de émbolo.

c. BOMBAS DE EMBOLO.

Para una explicación más sencilla de las bombas de émbolo, nos basaremos en la figura siguiente. El diagrama muestra un émbolo de tipo corriente o de disco. Este es muy usado en las bombas del mismo nombre, hasta presiones de 25 bar,



- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. Válvula de impulsión | 5. Vástago |
| 2. Tubería de impulsión | 6. Válvula de aspiración |
| 3. Cilindro | 7. Tubería de aspiración |
| 4. Émbolo | 8. Biela |

Figura 5.4 Bomba de émbolo de simple efecto,

Cuando las presiones exceden a 25 bar, el émbolo será más robusto y de mayor longitud, pero no afectará de gran modo. Cuando las bombas tienen esas características se les conoce como bombas de émbolo buzo. Figura 5.5

El movimiento de motor eléctrico, de gasolina, diesel, etc. se transmite por el mecanismo de biela-manivela al vástago del émbolo tal y como se muestra en la Figura 5.4. La bomba tiene dos válvulas; una de aspiración y otra de impulsión. Al moverse el émbolo hacia la derecha se crea un vacío en la cámara y el líquido es empujado hacia la tubería de aspiración por la presión atmosférica al interior de la cámara. Al moverse el émbolo hacia la izquierda,

1. Cigüeñal 2. Cámara de aire 3. Embolo buzo
4. Válvula de aspiración 5. Válvula de impulsión

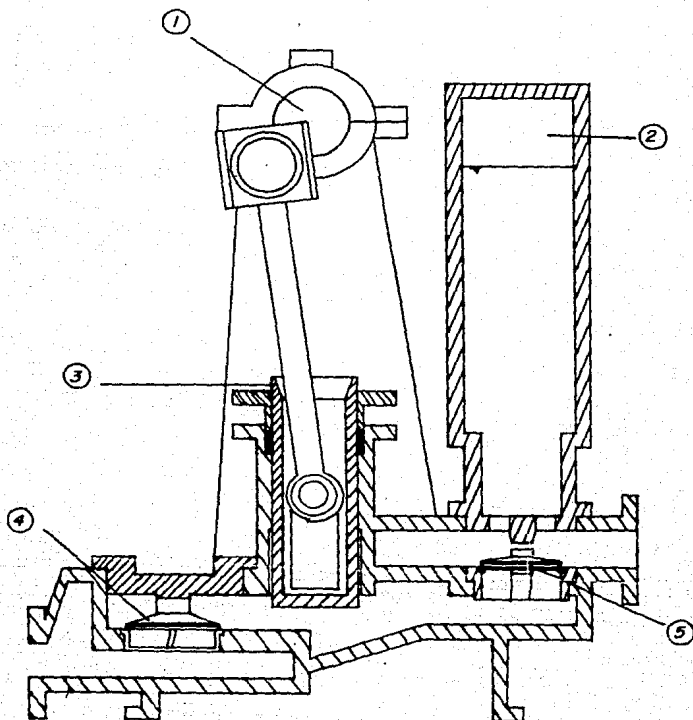


Figura 5.5 Bomba de émbolo buzo adaptada a grandes presiones.

la válvula de aspiración se cierra, se abre la válvula de impulsión y el líquido es impulsado por la tubería de salida. A cada revolución del motor corresponden dos movimientos llamados carreras (ida y vuelta) del émbolo, pero como sólo en una se realiza la impulsión, el gasto teórico Q_t queda determinado por:

$$Q_t = \frac{A n s}{60} = \dots\dots\dots 5.6$$

Q_t = Gasto teórico	m ³ /s
S = Carrera	m
A_s = Desplazamiento de volumen	m ³
n = Número de revoluciones por minuto.	

Se puede notar que el gasto teórico de una bomba de émbolo es directamente proporcional al área del émbolo, al número de revoluciones y al desplazamiento del émbolo y no depende de la presión creada por la bomba.

Si se quiere aumentar el gasto sin aumentar excesivamente las dimensiones de la máquina, habrá que aumentar n pero no suele exceder la velocidad media del émbolo a 1.5 m/s.

Por otro lado las bombas del émbolo en contraposición de las rotodinámicas tienen excelentes características de aspiración y no necesitan cebamiento, sin embargo, para aumentar el gasto de estas bombas se deberá variar el número de revoluciones o bien haciendo el by-pass hacia el tubo de aspiración, pero jamás debe operarse la válvula de impulsión cuando la bomba se encuentra en marcha, de lo contrario la presión crecerá y podría afectar el motor.

i. GASTO REAL Q_r .

El gasto real es menor que el teórico, a causa de las fugas, debido a cierres de válvulas, a las pérdidas exteriores por donde atra

viesa el eje, el aire mezclado con el líquido impulsado que se desprende a causa del vacío creado por la bomba, sin embargo, la disminución del gasto útil se debe al gasto de retroceso que circula en estas bombas por el juego entre el émbolo y el cilindro dilatado. Estas pérdidas se tienen en cuenta en el rendimiento volumétrico.

$$\eta_v = \frac{Q}{Qt} \dots\dots\dots 5.7$$

en donde η_v oscila entre 0.85 a 0.99. Es mayor en las bombas cuyo émbolo es de mayor diámetro y es menor cuando la viscosidad del fluido es menor.

ii. GASTO INSTANTANEO.

El gasto instantáneo no es constante, lo que constituye una desventaja con las bombas rotodinámicas. Si observamos la Figura 5.4 y llamamos

ω = Velocidad angular cte de la manivela

r = Radio de manivela

A = Area del émbolo

ωt = Angulo de giro de la manivela = ϕ

Así gasto instantáneo estará dado por:

$$Q_i = \frac{dV}{dt} = A\omega r \text{ sen } \omega t \dots\dots\dots 5.8$$

Lo cual indica que el gasto no es cte sino sigue una ley sinusoidal.

d. BOMBAS ROTOESTATICAS.

Al igual que las máquinas de émbolo, las bombas rotoestáticas se -

basan en el principio de desplazamiento positivo aún cuando estén dotadas de movimiento rotatorio.

Las bombas rotoestáticas se basan en:

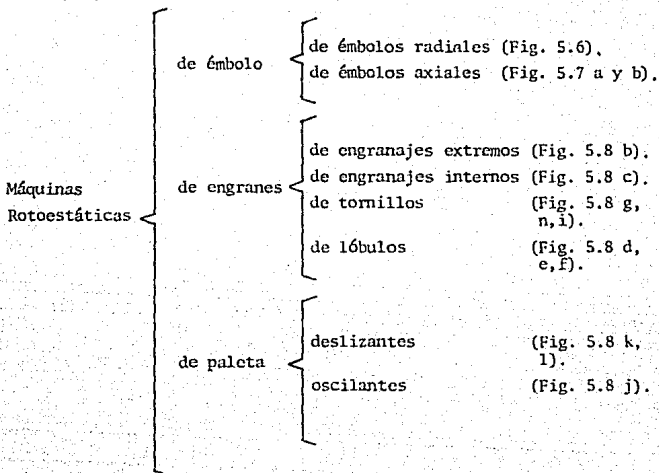
1. Según su desplazamiento:

- a. Máquinas de émbolo.
- b. Máquinas de engrane.
- c. máquinas de paleta.

2. Según su variación del gasto, sin cambiar el número de revoluciones:

- a. Máquinas de desplazamiento fijo.
- b. Máquinas de desplazamiento variable.

Por tanto:



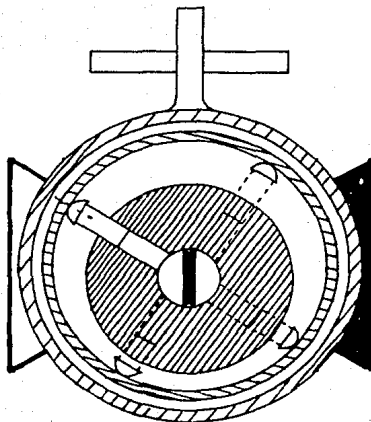


Figura 5.6 En la bomba de émbolos radiales los émbolos están alojados en un rotor que gira excéntricamente. Los émbolos se apoyan en la carcasa fija. Al girar el rotor los émbolos realizan la aspiración e impulsión.

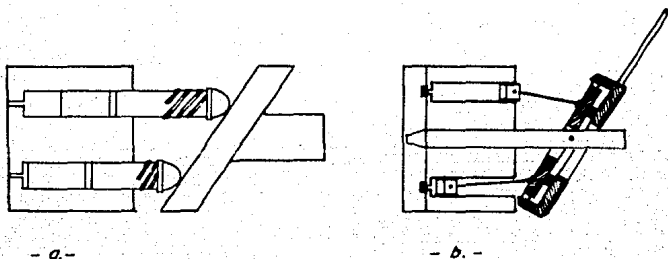


Figura 5.7 Bomba de émbolo axial
 a. Bomba de desplazamiento fijo
 b. Bomba de desplazamiento variable

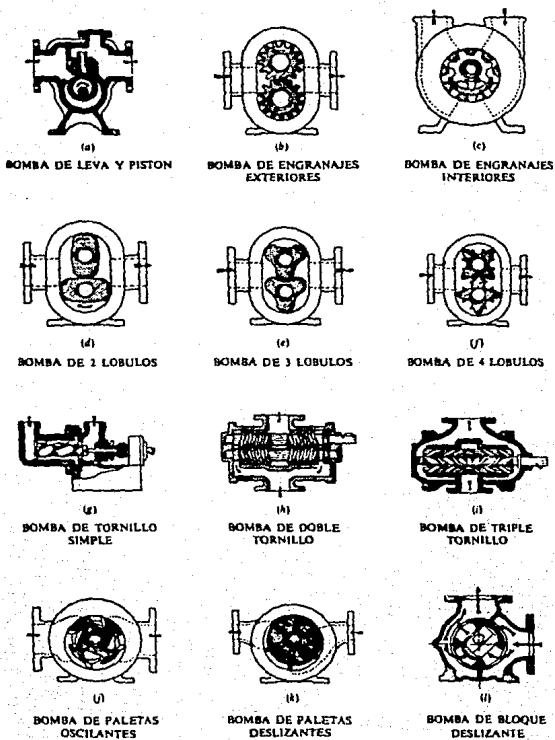


Figura 5.8 Algunas formas de bombas de desplazamiento positivo.

e. DESCRIPCION DE MAQUINAS ROTOESTATICAS.

Para dar una mejor explicación bastará describir algún tipo importante de estas máquinas. Deberá recordarse que estas máquinas pueden funcionar como bomba y como motor.

i. MAQUINAS DE PALETAS DESLIZANTES.

El rotor es excéntrico y hay una o varias cámaras que aumentan y disminuyen de volumen al girar.

Esta máquina se contruye como máquina de desplazamiento fijo y como desplazamiento variable. Para variar el desplazamiento basta variar la excentricidad del rotor y de tal manera si la excentricidad es cero el desplazamiento es nulo.

ii. MAQUINAS DE EMBOLOS RADIALES.

Esta máquina es muy utilizada para el trabajo pesado en presas, máquinas de acererías y se adaptan con facilidad al tipo de desplazamiento variable y está dividida en:

1. Bloque cilíndrico central fijo.
2. Bloque cilíndrico excéntrico. Gira alrededor del anterior. Este bloque tiene un cierto número de cilindros con sus émbolos respectivos.
3. Rotor o anillo. Gira arrastrado por las cabezas de los émbolos que mantienen contacto con el rotor por la fuerza centrífuga. - Al girar el bloque con los émbolos, éstos se mueven con movimiento alternativo, con relación al bloque, realizando la aspiración e impulsión.
4. Estator. Indica el movimiento de la excentricidad y con ella al desplazamiento sin que el rotor pierda su alineamiento a causa de ser deslizador sobre guías.

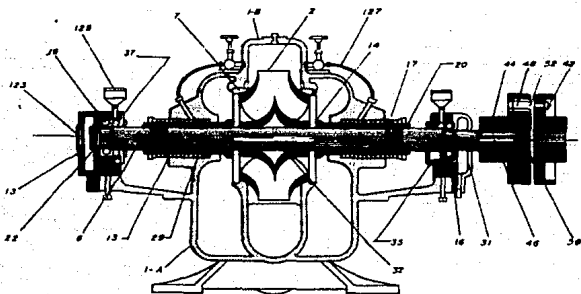
iii. MAQUINAS DE EMBOSOS AXIALES.

Esta máquina consta de un estator carcaza, en cuyo interior giran el eje con el bloque, donde axialmente están dispuestos los émbolos. El eje se extiende a través del bloque que lleva la placa - - oscilante montada sobre cojinetes de rodillos. Los vástagos de los cilindros están montados con cadena sobre la placa, la cual puede girar a ambos lados de la perpendicular.

C. MAQUINAS ROTODINAMICAS.

Las bombas centrífugas son los tipos más comunes, por lo que daremos más importancia a éstas, ya que las de desplazamiento positivo son de muy poco uso en la explotación de aguas subterráneas, quedarán excentas en este trabajo.

Las máquinas rotodinámicas son siempre rotativas; su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler y su órgano transmisor de energía - se llama rodete. Se le llaman rotodinámicas porque su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente tiene el papel más importante en la transmisión de energía.



1. CLASIFICACION DE BOMBAS ROTODINAMICAS.

1. Según su dirección del flujo:
 - a. Bombas de flujo radial.
 - b. Bombas de flujo axial.
 - c. Bombas de flujo radioaxial o mixto.

Las bombas de flujo radial tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica, que desarrollan cargas altas. El flujo es casi totalmente radial y la presión desarrollada es debida - principalmente a la fuerza centrífuga.

En las bombas de flujo axial llamadas de propela, el flujo es completamente axial y sus impulsores son de alta velocidad específica.

En las bombas de flujo mixto, el flujo cambia de axial a radial, - son bombas para gastos y cargas intermedias y la velocidad específica de los impulsores es mayor que las de flujo radial.

2. Según la posición del eje:
 - a. Bombas de eje horizontal.
 - b. Bombas de eje vertical.
 - c. Bombas de eje inclinado.
3. Según la presión:
 - a. Bombas de baja presión.
 - b. Bombas de media presión.
 - d. Bombas de alta presión.
4. Según el número de rodetes:
 - a. Bombas de un escalonamiento.
 - b. Bombas de varios escalonamientos.

5. Según el tipo de succión:

- a. Simple succión.
- b. Doble succión (ambos lados del impulsor).
- c. Succión negativa (nivel del líquido superior de la bomba).
- d. Succión positiva (la bomba succiona el líquido de una cámara hermética donde se encuentra ahogada y a donde llega el líquido a presión).

2. PARTES QUE CONSTITUYEN UNA MAQUINA ROTODINAMICA.

Las partes que constituyen una bomba rotodinámica dependen de su -- construcción y tipo. En la Figura 5.9 aparecen las partes más importantes que la constituyen:

1. Carcaza.
 - A. Mitad superior
 - B. Mitas inferior
2. Impulsor.
4. Propela.
6. Flecha.
7. Anillo de desgaste de la carcaza.
8. Anillo de desgaste del impulsor.
9. Tapa de succión.
11. Tapa de estopero.
13. Empaque.
14. Camisa de flecha.
15. Tazón de descarga.
16. Balero (interior).
17. Prensa estopas.
18. Balero (exterior).
19. Soporte de baleros.
20. Tuerca de la camisa.
22. Tuerca de balero.
24. Tuerca del impulsor.
25. Anillo de desgaste de la cabeza de succión.

- 27. Anillo de la tapa de estopero.
- 29. Jaula de sello.
- 31. Alojamiento del balero (interior).
- 32. Cuña - impulsor.
- 33. Alojamiento de balero (exterior).
- 37. Tapa de balero (exterior).
- 39. Buje de balero.
- 40. Deflector.
- 42. Cople.
- 44. Cople (mitad bomba).
- 46. Cuña del cople.
- 48. Buje de cople.
- 50. Tuerca al cople.
- 52. Perno del cople.
- 59. Tapa de registro.
- 68. Collarín de las flechas.
- 72. Collarín axial.
- 78. Espaciador de balero.
- 85. Tubo de protección de flecha.
- 89. Sello
- 91. Tazón de succión.
- 101. Tubo de columna.
- 105. Chumacera de conexión.
- 123. Tapa de balero.
- 125. Grasea de copa.
- 127. Tubería de sello.

Por otro lado se tienen las partes que tienen contacto con el líquido y los elementos de soporte y transmisión.

1. EXTREMO LIQUIDO.

- a. Carcaza.
- b. Cabeza de succión.
- c. Impulsor.
- d. Anillos

- e. Camisa de flecha.
- f. Jaula de sello.
- g. Sello, etc.

2. ELEMENTOS DE SOPORTE Y TRANSMISION.

- a. Soporte.
- b. Flecha.
- c. Baleros.
- d. Tapas, etc.

Las bombas centrífugas empleadas en pozos pequeños pueden subdividirse en dos tipos principales basados en sus características de diseño, que son las de cuerpo de caracol y las de tipo turbina. Los impulsores en la primera están alojados en envolventes en forma espiral. En las bombas de turbina los impulsores están rodeados por álabes difusores. Los álabes proporcionan espacios mayores a través de los cuales se reduce gradualmente la velocidad del agua que sale del impulsor, transformando así la carga de velocidad en carga de presión.

Las condiciones del uso determinan la selección entre las bombas de carcasa tipo voluta y las de tipo turbina.

El diseño de caracol se usa comúnmente en las bombas de tipo de superficie cuando su tamaño no es un factor limitante y las cargas de diseño fluctúan entre bajas y medianas. Mientras que las bombas tipo turbina se adaptan mejor en espacios limitados en donde el diámetro de la bomba está en función de la envolvente del pozo.

3. CLASIFICACION DE LAS BOMBAS POR EL NUMERO ESPECIFICO DE REVOLUCIONES.

El rodete tiene formas muy variadas y muchas veces caprichosas para cuando la aplicación particular lo requiera.

1. Rodete
2. Corona directriz
3. Caja espiral
4. Tubo difusor.

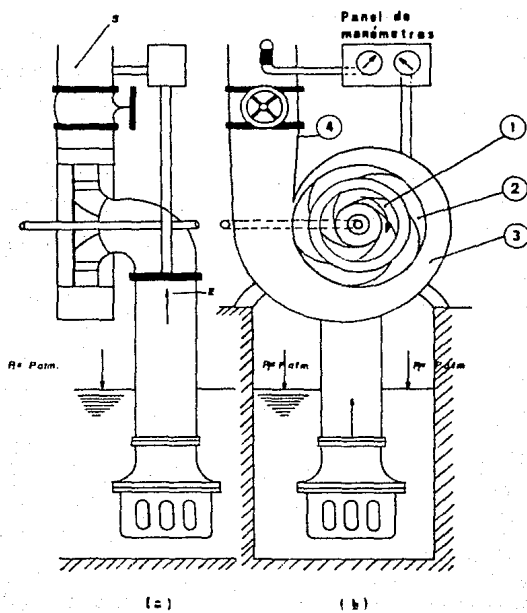


Figura 5.10 Elementos constitutivos de una bomba centrífuga.

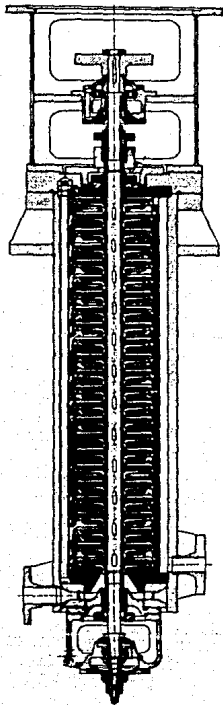


Figura 5.11 Bomba vertical de múltiples escalonamientos.

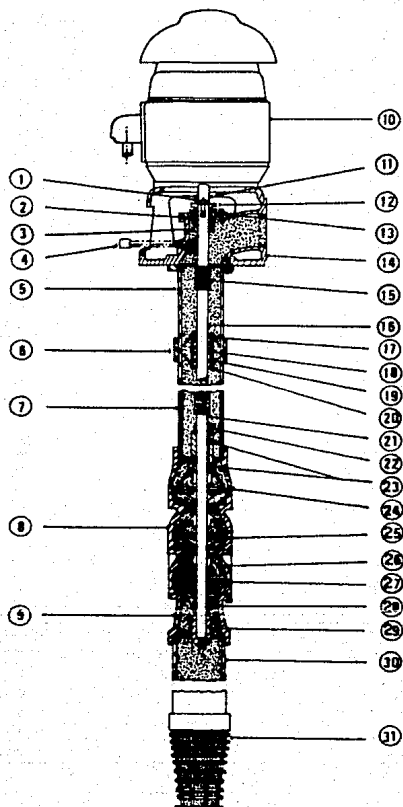


Figura 5.12 (a) Bomba de pozo profundo lubricada con agua.

1. Flecha superior de acero inoxidable rolado en frío, calibrado, enderezado y pulido.
2. Enaquetadura grafitada.
3. Buje de la caja de estopas.
4. Conexión de prelubricación.
5. Tubo de columna superior.
6. Cople para tubo de columna, roscado de acuerdo con las normas A.P.I.
7. Tubo de columna en tramos de 3 m. (10 pies).
8. Tazones de fierro fundido unidos por brida y tornillos.
9. Cono de entrada de fierro fundido. Donde los pozos no han sido provistos de filtro de grava necesario y se bombea agua que lleva arena en suspensión se pueden suministrar, sobre pedido, conos de entrada extra reforzados con doble área de superficie de apoyo para las chumaceras, que compensan, en parte, los inconvenientes de una perforación mal terminada.
10. Motor eléctrico o cabezal de engranes, cuando se usa motor de combustión interna.
11. Anillo desviador de hule.
12. Presa estopas de bronce.
13. Caja de estopas.
14. Cabezal de descarga con base amplia y aberturas que facilitan las faenas de montaje y desarme.
15. Cople de conexión de las flechas de línea.
16. Flecha de línea de acero rolado en frío, calibrado, enderezado y pulido; en longitud de 3 m. (10 pies).
17. Soporte de chumacera de bronce con rosca.
18. Camisa de la flecha de línea de acero inoxidable especial.
19. Chumacera de hule.
20. Retén de la chumacera.
21. Flecha de impulsores de acero inoxidable rolado en frío, calibrado, enderezado y pulido.
22. Capacete de hule que impide la entrada de material extraño dentro de los bujes del cono de descarga.
23. Bujes de bronce del cono de descarga.
24. Cono de descarga de fierro fundido.
25. Impulsor de bronce tipo cor rado que produce un empuje axial menor.
26. Buje de bronce de tazones.
27. Manguito cónico que fija el impulsor.
28. Capacete protector.
29. Chumacera de bronce de gran longitud y empacada con grasa.
30. Tubo de succión.
31. Coladera tipo cónico, galvanizada, su diseño especial con alambre MEDIA CAÑA hace que sus caras sean lisas, lo que impide que se acumule material extraño en los intersticios.

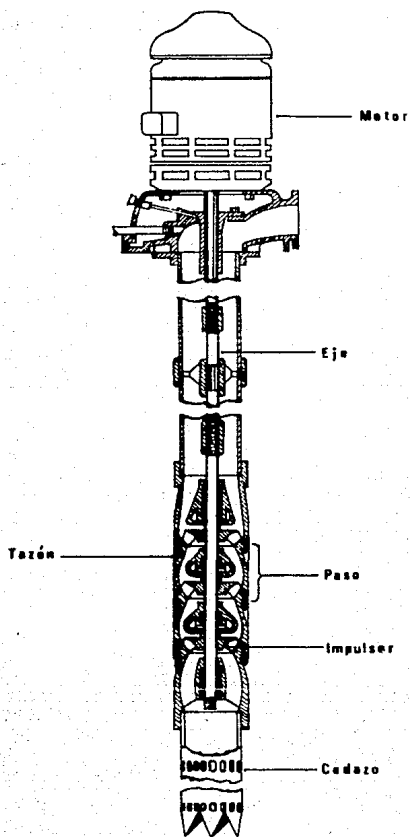


Figura 5.12 (b) Bomba de turbina de pozo profundo con eje maestro en tres pasos.

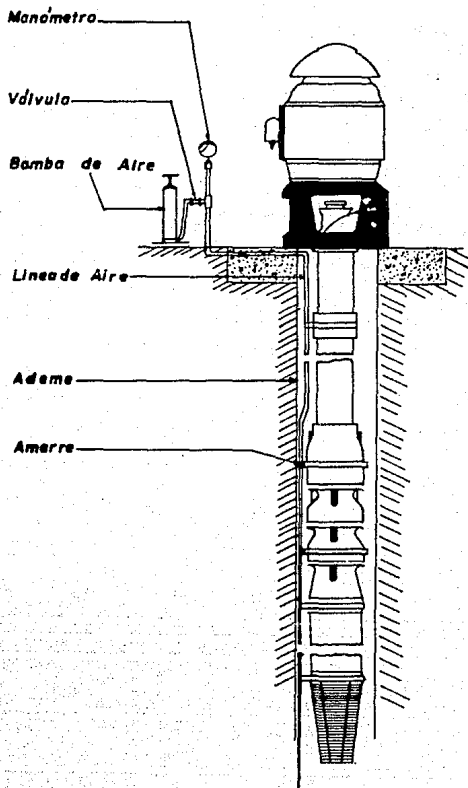


Figura 5.12 (c) Cabezal de descarga de una bomba de pozo profundo.

Existen tantos rodetes como usos tenga la bomba, así por ejemplo, - podemos tener bombas para lodos y pasta de papel, hasta aquellas -- que logran bombear el agua del mar con peces vivos a la cubierta de un barco pesquero.

Los rodetes se clasifican en cuatro tipos según la forma de sujeción de los álabes Figura 5.13

- a. Rodete cerrado de simple succión.
- b. Rodete cerrado de doble succión.
- c. Rodete semiabierto de simple succión.
- d. Rodete abierto de doble succión sin cara anterior ni posterior.

Si la bomba tiene varios escalonamientos de manera que el gasto se recoge a la salida de un rodete se dirige al siguiente (rodetes en serie) el montaje de la bomba en la Figura 5.14 b es preferible al empuje axial que se crea a causa de la distribución de presiones sobre el rodete que actúa sobre el eje de la máquina, cuyo equilibrio constituye un problema, se elimina en este diseño, ya que los empujes axiales de cada rodete se anulan de dos en dos.

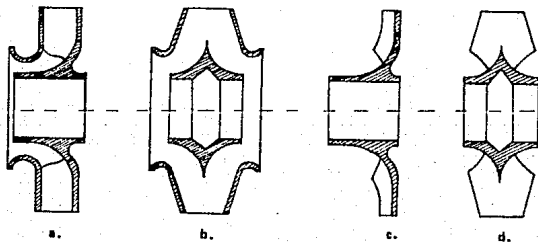


Figura 5.13 Tipos de rodetes.

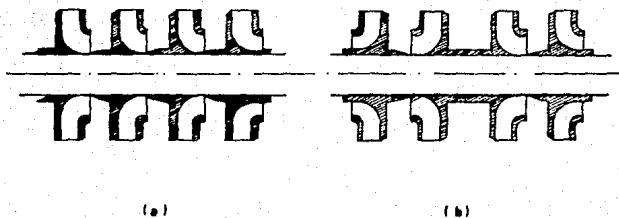


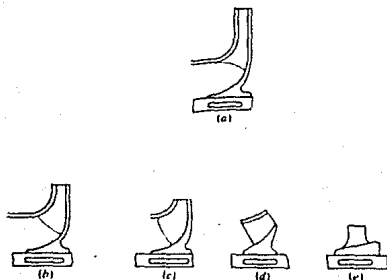
Figura 5.14 A. Los empujes axiales de suman,

B. Los empujes axiales se eliminan de dos en dos.

El rodete de una bomba rotodinámica se debe proyectar de manera que para un gasto (Q) y una carga total (H_t) requeridos se obtenga el óptimo rendimiento. En la práctica Q y H necesarios varían en un límite muy amplio y dentro de éste puede requerirse cualquier combinación Q y H con diferentes valores de (r.p.m.), buscando siempre el óptimo rendimiento.

El rodete de las bombas rotodinámicas cambia de forma para adaptar-

se a las diferentes condiciones de servicio. En la figura 5.14 se puede apreciar que el rodete cambia de un flujo radial, Figura (3.15 a) a uno totalmente axial (Figura 5.15 e).



El rodete de una bomba rotodinámica se adapta a las exigencias de Q.H.n. De (a) a (e) las bombas se adaptan a gastos relativamente mayores y a alturas efectivas menores. Los números específicos son: a) $n_s = 40$ a 80 rodete marcadamente radial (lento); b) $n_s = 80$ a 140; c) $n_s = 140$ a 300; d) 300 a 600 rodete de flujo mixto; e) $n_s = 600$ a 1800 rodete axial rápido.

Figura 5.15 Formas de rodetes.

4. BOMBAS DE CHORRO.

Estas bombas de inyección combinan las centrífugas y los eyectores para elevar el agua desde profundidades mayores en los pozos en donde no es posible el emplear bombas centrífugas del tipo de superficie por sí solas.

Los componentes básicos de los eyectores son la boquilla y el tubo vertical, tal como se muestra en la Figura 5.16

El principio de operación es como sigue: El agua bajo presión se -- descarga mediante la bomba centrífuga (a nivel del suelo), a través de la boquilla ahusada causa una reducción en la presión. al abandonar la boquilla y entra al tubo venturi. El ensanchamiento gradual del tubo venturi reduce la velocidad con un mínimo de turbulencia - en el flujo y así causa una recuperación casi total de la presión - del agua en su curso a través de la boquilla. La bomba centrífuga - recoge el flujo, enviado parte hacia la tubería de descarga y otra hacia el eyector para provocar más flujo desde el pozo y de esta manera repetir el ciclo. El medidor de regulación de presión se ajusta para mantener la presión necesaria para producir flujo a la carga deseada del bombeo.

La bomba centrífuga es el impulsor primario sin el cual el eyector no podría bombear agua. Generalmente las bombas de chorro son ineficientes pero tienen cierto número de características deseables que han generalizado su empleo en las instalaciones pequeñas de abastecimiento doméstico de agua. Entre estas características se encuentra su adaptabilidad para usarse en pozos pequeños menores a 2 pulgadas de diámetro.

5. BOMBAS DE POZO PROFUNDO.

Las bombas de pozo profundo (Figura 5.12) se colocan dentro de los pozos y se emplean para elevar aguas desde profundidades mayores a 8 m. Estas bombas pueden ser de desplazamiento positivo o rotodinámicas, pero también pueden clasificarse según la posición de su fuente de energía. Si está situada a la superficie del suelo o sobre él, y se requiere por consiguiente la transmisión de la fuerza impulsora a través de un largo eje hacia la bomba del pozo, de ahí - que la bomba se le de el nombre de eje maestro vertical.

Sin embargo, cuando la energía está montada inmediatamente bajo la

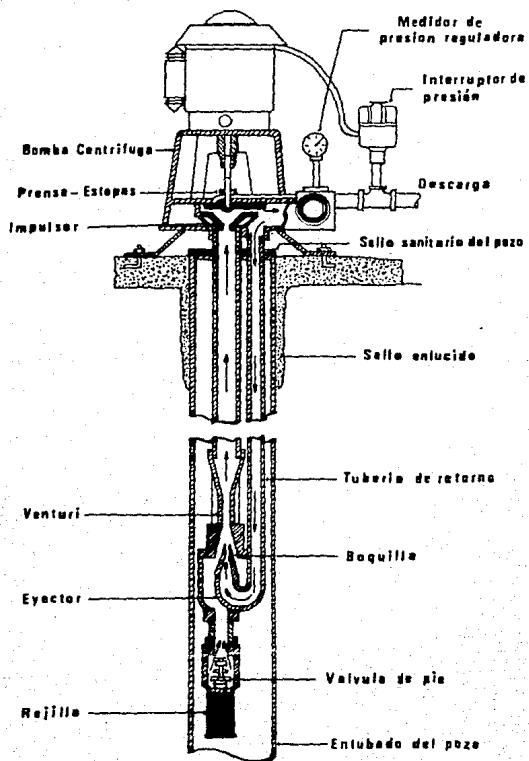


Figura 5.16. Bomba de chorro.

bomba y sumergida con ella en el agua. se conoce a la máquina como bomba sumergible.

6. BOMBA SUMERGIBLE.

Su mayor utilización coincidió con los mejoramientos del diseño en los motores sumergibles, los cables eléctricos y los sellos a prueba de agua. Estas mejorías hacen posible lograr eficiencias comparables con las obtenidas con eje maestro. La eliminación del largo eje de impulsión y sus múltiples cojinetes no solamente eliminó los problemas de desgaste y mantenimiento relativos a las bombas de eje maestro, sino también redujo los problemas creados por desviaciones en el alineamiento vertical del pozo.

7. TEORIA DE BOMBAS ROTODINAMICAS.

La ecuación de Euler es la ecuación fundamental para el estudio de las turbomáquinas hidráulicas. Constituye la ecuación básica tanto para el estudio de las bombas, ventiladores, turbinas hidráulicas. La ecuación de Euler es la que expresa la energía intercambiada en el rodete de todas estas máquinas.

a. PRIMERA ECUACION DE EULER (EXPRESION EN ALTURAS).

$$H_u = \frac{u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}}{g} \dots \dots \dots 5.9$$

en donde:

- H_u = Altura equivalente a la energía intercambiada en el fluido (m) o altura hidráulica en turbomáquina.
- c_{1u} y c_{2u} = Componentes de las velocidades absolutas a la entrada y salida de los álabes m/s.
- u_1 y u_2 = Velocidades absolutas m/s a la entrada y salida de los álabes m/s.
- g = cte de gravedad m^2/s .
- $+$ = Máquinas motoras (turbinas).
- $-$ = Máquinas generadoras (bombas).

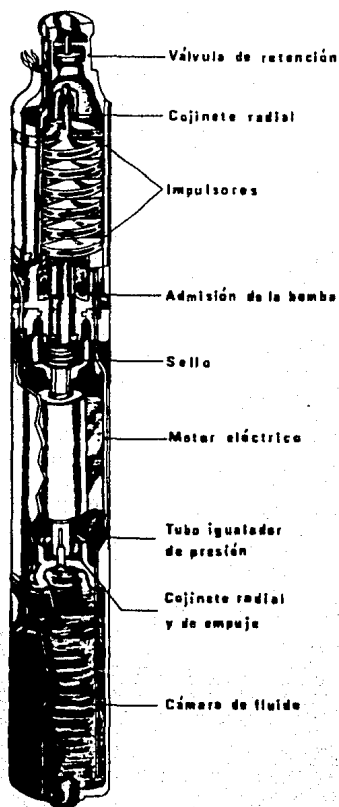
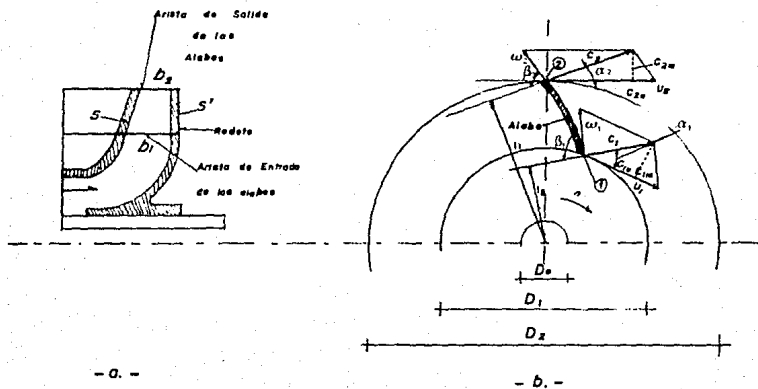


Figura 5.17. Vista en corte de una bomba sumergible.



- a. -

- b. -

Figura 5.18 Rodete de una bomba centrífuga a. Corte meridional, b. Corte transversal.

De tal manera que la ecuación de Euler para las bombas está dada - por:

$$H_u = \frac{u_2 C_2 u - C_2 u}{g} \dots \dots \dots 5.70$$

La clasificación más precisa de las bombas rotodinámicas es una cla

sificación numérica, asignada a toda la familia de las bombas generalmente semejantes, o sea es la velocidad angular a la que debe de girar el impulsor y está dada por la ecuación

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots 5.11$$

N_s = Velocidad específica revoluciones por minuto.

Q = Gasto en cada bomba m³/s.

N = Velocidad angular r.p.m.

H = Carga total en m.

En las bombas, este número (N_s) varía entre 35 y 1800 r.p.m. aproximadamente.

Altura útil o efectiva de una bomba.

$$H = H_u - H_{r-int} \dots\dots\dots 5.12$$

H = altura útil o efectiva de una bomba m.

H_u = altura teórica m.

H_{r-int} = pérdidas en el interior de una bomba m.

Ahora bien, si tomamos la Figura 5.18 y aplicamos la ecuación de Bernoulli entre E y S, tenemos lo siguiente, ya que H_{r-int} no solamente es debido a la pérdida por fricción.

$$\frac{P_E}{\gamma} + \frac{Z_E}{2g} + \frac{V_E^2}{2g} + H = \frac{P_S}{\gamma} + \frac{Z_S}{2g} + \frac{V_S^2}{2g}$$

despejando H

$$H = \left(\frac{P_S}{\gamma} + \frac{Z_S}{2g} + \frac{V_S^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_E}{\gamma} + \frac{Z_E}{2g} + \frac{V_E^2}{2g} \right) \dots 5.13$$

Reordenando tenemos:

$$H = \frac{P_S - P_E}{\gamma} + Z_S - Z_E + \frac{V_S^2}{2g} - \frac{V_E^2}{2g} \dots\dots 5.14$$

Por tanto, la ecuación 5,14 es la primera expresión de altura útil.

La altura útil es igual al incremento de altura a presión que experimenta al fluido en la bomba + el incremento de altura geodésica + el incremento de altura dinámica.

Tomando en cuenta la Figura 5.19 podemos concluir lo siguiente:

1. Cuando se trata de una bomba vertical $Z_E - Z_S$ es muy pequeño e incluso igual a cero.
2. El término $\frac{V_S^2}{2g} - \frac{V_E^2}{2g}$ suele ser también muy pequeño.

b. SEGUNDA EXPRESIÓN DE ALTURA UTIL.

$$H = \frac{P_Z - P_A}{\gamma} + Z_Z - Z_A + H_{ra} + \frac{V_z^2}{2g} \dots\dots 5.15$$

H_{ra} = pérdida en la succión. (m.)

H_{ri} = pérdida en la descarga. (m.)

$\frac{V_z^2}{2g}$ = pérdidas secundarias en el descargue. (m.)

La potencia útil por otra parte será la invertida en impulsar el caudal útil Q a la altura útil H de ésto tenemos

$$P = \frac{Q \gamma H}{\eta_h \eta_v} \dots\dots\dots 5.16$$

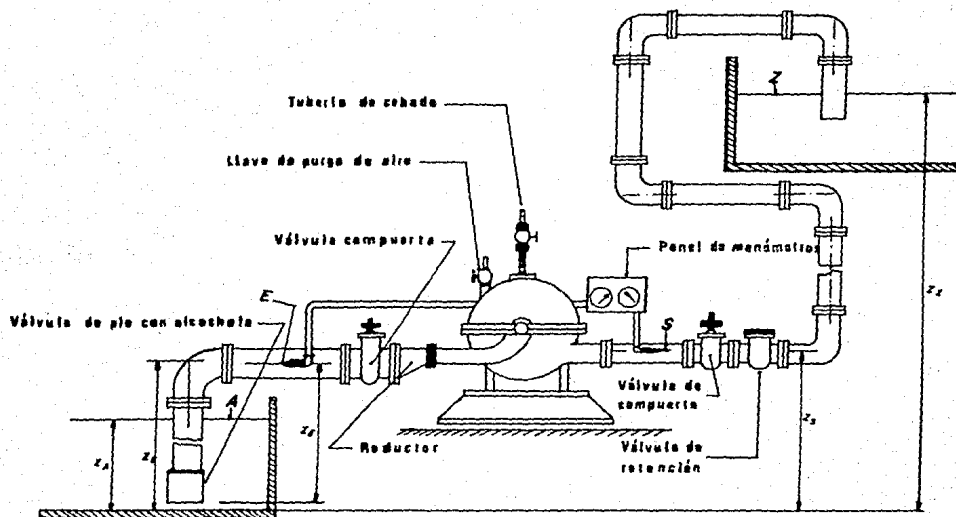


Figura 5.19 Instalación de una bomba centrífuga.

η_h = rendimiento hidráulico.

η_v = rendimiento volumétrico.

8. EQUIPOS DE BOMBEO VERTICALES TIPO TURBINA.

En el bombeo de aguas subterráneas se hace necesario y a veces indispensable utilizar las bombas de pozo profundo, o bombas tipo turbina. Esta bomba se compone de las siguientes partes principales, - tal y como se puede observar en la Figura 5.12

1. Colador
2. Tubo de succión.
3. Cono de succión.
4. Cuerpo de tazones.
5. Cono de descarga.
6. Tubería de columnas.
7. Flecha.
8. Tubo cubre flecha.
9. Cabezal de descarga.
10. Tubo de descarga,

a. COLADOR.

Puede ser de tipo cónico como la Figura 5.12 o de canasta, de alambre galvanizado y de diferentes diámetros; debe tener un área efectiva para la entrada del agua igual a cuatro veces el área del tubo de succión al cual va acoplado y su función es el impedir el paso de sólidos que puedan dañar los tazones.

b. TUBO DE SUCCION.

Es un tubo de acero con roscas en ambos extremos y va acoplado por la parte inferior con el colador y por la superior con el cono de succión del primer tazón, generalmente es del mismo diámetro que la tubería de columna y con longitud de 1.5 a 3.0 m. La función de este tubo es la disminución de velocidad del fluido para permitir que las partículas grandes se sedimenten.

c. CONO DE SUCCION.

Es una pieza de acoplamiento, se constituye de fierro y sirve como - puerta de entrada de los fluídos a los tazones.

d. TAZON.

La mayoría de los fabricantes de bombas turbina han formulado sus - propias especificaciones y bajo éstas han fabricado sus propios tazones para que funcionen con eficiencia ante combinaciones gasto--- carga.

Un tazón es una carcasa de fierro fundido con álabes directrices -- fundidos sobre sus paredes internas; estos álabes son los encargados de guiar a la parte superior del tazón la corriente impulsada por los álabes móviles del impulsor convirtiendo así la energía cinética en presión.

e. CONO DE DESCARGA.

Como su nombre lo indica, tiene forma cónica y sirve de acoplamiento entre el tazón superior y la columna de bombeo; se fabrica de -- fierro fundido.

f. TUBERIA DE COLUMNA.

Está formada por tramos de tubería de acero de 10' (3.05 m) de distintos diámetros y cédulas; es el soporte del cuerpo de tazones y - sirve de conducción del agua bombeada y aloja en su interior la flecha de transmisión.

g. FLECHA VERTICAL.

Dentro y concéntricamente a la tubería de columna se encuentra la - flecha vertical, que es el eje central de la bomba, la cual es impulsada desde la parte superior por el motor eléctrico o de combustión interna, comunicando con movimiento rotatorio a los impulso--- res. Está formada por tramos de 3.05 m, son de acero colado y -

van unidos entre sí por medio de coples y alineados por medio de chumaceras de bronce, las cuales tienen rosca externa y sirven para unir los tramos de los tubos cubreflecha. Para seleccionar el diámetro de una flecha hay que considerar la velocidad angular y la potencia que va a soportar.

h. CUBREFLECHA.

Como en el caso de la flecha vertical, el tubo cubreflecha va dentro y concéntricamente a la tubería de columna, cada tramo se construye de acero con longitud de 1.52 m. (5") con el diámetro un poco mayor que el diámetro de la flecha con la cual va a trabajar en conjunto.

La función del tubo cubreflecha es la de contener el aceite lubricante en el espacio anular que se forma entre su pared interna y la superficie exterior de la flecha. Este aceite mantiene lubricada a la flecha, con la cual se evita el calentamiento excesivo y el desgaste prematuro.

i. COLUMNA DE BOMBEO.

Se le denomina así al conjunto que forman la tubería de columna, la cubreflecha y la flecha, las hay lubricadas por agua o por aceite y la diferencia entre uno y otro es que la lubricada por agua carece de cubreflecha y su lubricación se efectúa por el agua bombeada y su selección depende del objetivo a que se destine.

Para seleccionar el diámetro óptimo que una columna de bombeo debe tener, los fabricantes de bombas han elaborado tablas donde se observan diámetros de flechas y cubreflechas que son compatibles de usarse con cada diámetro de tubería de columna, así como el gasto que pueda circular y la pérdida de carga por fricción.

j. CABEZAL DE DESCARGA.

Se fabrica de fierro, tiene como función sostener desde la super--

ficie a la columna de bombeo, el cuerpo de tazones, el colador, -- los tubos de succión y descarga.

Todos los fabricantes de cabezales de descarga tienen nomenclatura especial para diferentes modelos, pero por lo general se conocen -- por los diámetros de la base superior, la descarga y columnas de -- bombeo expresadas en pulgadas.

La selección del cabezal de descarga se hace en función de los diá -- metros de la base del motor eléctrico o cabezal de engranes y de -- la columna de bombeo.

k. TUBO DE DESCARGA.

El tubo de descarga viene siendo como una prolongación de la colum -- na de bombeo y al igual que el tubo de succión, es de acero y con -- longitud de 1.52 m. con un diámetro que generalmente es el mismo -- que el de la columna.

9. SELECCION DE UN EQUIPO DE BOMBEO TIPO TURBINA.

Para estar en condiciones de calcular y seleccionar un equipo de -- bombeo vertical tipo turbina, es indispensable contar con la si--- -- guiente información:

- a. Diámetro del ademe.
- b. Profundidad del pozo.
- c. Gasto de explotación.
- d. Carga de la bomba.
- e. Carga adicional en la descarga.
- f. Carga dinámica total.
- g. Fuerza motriz.

Esta información se obtendrá en la recepción de los trabajos de -- perforación, pruebas de aforo y de los proyectos de las zonas de -- riego; de la exactitud con que se obtenga se tendrá una adecuada --

selección y diseño del equipo de bombeo.

a. DIAMETRO LIBRE DEL ADEME.

Es indispensable determinar el diámetro libre del ademe del pozo, hasta la profundidad en donde se va a instalar el equipo de bombeo ya que el diámetro libre limita el tamaño, tipo y capacidad de la bomba que se alojará en él.

Con el diámetro libre del ademe y la relación de éste con los diámetros máximos de los tazones, nominal y exterior y el espacio anular adecuado entre el ademe y el cuerpo de tazones, se podrá conocer la capacidad máxima de extracción de la bomba.

b. PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO.

Es importante conocer la profundidad total del pozo ya que en algunos casos no se deja suficiente cámara de bombeo, lo que puede ser una limitación para la instalación del equipo.

No se debe olvidar que la longitud de bombeo abajo del nivel de -- bombeo es aproximadamente de 12 m., que incluye 2 o 3 tramos de columna adicionales para futuros abatimientos, cuerpo de tazones, tubo de succión y colador, por lo que la cámara de bombeo deberá ser por lo menos de 15 m. más que el nivel de bombeo.

c. GASTO DE EXPLOTACION.

Una vez que se tienen los datos de campo, se trazará una curva de gasto abatimiento, en donde se marcará el punto más conveniente para la explotación del pozo. A lo anterior se tienen los siguientes criterios:

1. Normalmente se acostumbra considerar como gasto máximo del pozo, al obtenido en el último punto de la curva de aforo habiéndose o no alcanzado la capacidad real del acuífero y como gasto de explotación aproximadamente al 90% del gasto máximo.

2. Trazando las curvas del gasto, tiempo y nivel de bombeo, tiempo determinando el Q_{max} de explotación en el punto donde la separación entre escalones es menor y como punto óptimo de explotación el escalón inmediato anterior al gasto máximo de explotación.
3. El gasto de explotación también se puede fijar de acuerdo a los puntos mencionados y al proyecto de zona de riego correspondiente.

d. CARGA EN LA BOMBA (CB).

Es el nivel de bombeo más las pérdidas por fricción y la velocidad que se tiene desde el cono de descarga hasta el cabezal de la bomba, es decir, en la longitud de la columna de bombeo.

e. CARGA ADICIONAL (CAD).

Es la carga que tiene que vencer la bomba a partir de su cabezal - hasta el punto libre del sistema y comprende el desnivel topográfico o altura estática de descarga (h_c), las pérdidas por fricción - en las tuberías de conducción y en los dispositivos instalados en ella como válvulas, codos, etc.

f. CARGA MANOMÉTRICA (CDT).

Es la suma de las energías contra las que debe operar una bomba para mover determinada cantidad de agua de un punto a otro. Ver Figura 5.22

$$CDT = CB + CAD \dots\dots\dots 5.17$$

g. TIPO DE FUERZA MOTRIZ.

Es necesario saber si los motores serán eléctricos o de combustión interna para realizar los trabajos necesarios para la fuente de energía.

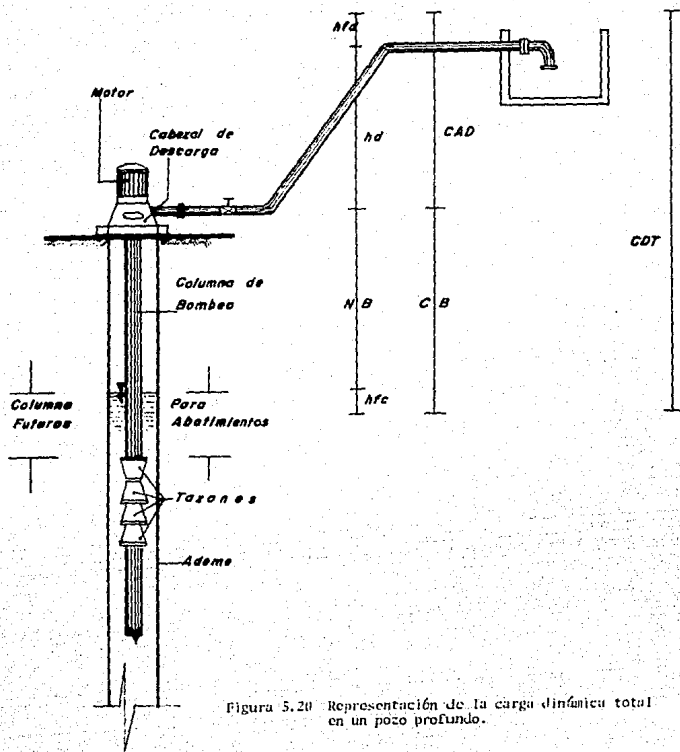


Figura 5.20 Representación de la carga dinámica total en un pozo profundo.

CAPITULO VI

CONSERVACION DE POZOS.

- A. CONSERVACION PREVENTIVA**
- B. RAZONES PARA CEMENTAR UN POZO.**
- C. PREVENCION DE LA CONTAMINACION VIA CEMENTACION.**
- D. PROTECCION ANTICORROSIVA.**
- E. SELLADO DE ACUIFEROS SALOBRES.**
- F. DESINFECTADO.**
- G. REGLAS DE MANTENIMIENTO.**

A. CONSERVACION PREVENTIVA.

Proponemos como primer medida de conservación preventiva, que los pozos se perforen preferiblemente fuera del perímetro del poblado, procurando explotar acuíferos que estén libres de contaminación generada por las actividades humanas; pero ésto sería un problema y un aumento de costo.

Durante la construcción de un pozo se pueden tomar las medidas preventivas de conservación siguientes:

1. Localizar y perforar el pozo fuera del perímetro urbano en un área libre de la contaminación generada por los desechos humanos.
2. Que el pozo sea perforado con la mayor rapidez posible, para no afectar las cualidades del acuífero. La celeridad de estos trabajos, sin lugar a dudas, se puede considerar como un indicador de lo adecuado del equipo empleado en tal propósito.
3. Instalar ademe metálico de la mejor calidad existente en el mercado.
4. Vigilar, muy particularmente, que tanto la tubería de ademe como la del cedazo entren libremente al agujero perforado. Nunca se deberá permitir que estos elementos sean hincados con fuerza que no sea la natural de la gravedad.
5. En regiones áridas y semiáridas en donde el pozo cruce formaciones geológicas que contengan arenas o partículas menores, tales que el agua pueda arrastrar al interior del pozo, la estructura deberá ser provista de un filtro artificial constituido por grava de selectas características.

6. Antes de retirar el equipo de perforación, el pozo deberá ser, cuanto antes posible, lavado con la bomba de lodos de la propia perforadora.
7. El pozo deberá ser desarrollado y aforado con un equipo de bombeo que tendrá una capacidad, a lo menos, 50% mayor que el gasto de producción del mismo.
8. El equipo definitivo de bombeo deberá ser la que el pozo necesite y no la que al fabricante convenga.
9. Debe preferirse una bomba lubricada por agua.
10. El pozo deberá ser cementado en su parte superior un mínimo de 6 metros para preservarlo de contaminación.
11. Los acuíferos salados que crucen el manto deberán ser cementados.
12. El pozo será provisto de tapón de fondo, preferiblemente cementado.
13. Una vez terminado de aforar, el pozo deberá ser desinfectado.
14. Los pozos que se ubiquen dentro de áreas urbanas, convendrá rodearlos por parques o jardines, a los que preferiblemente no tenga acceso el público. Estas áreas deberán ser de la mayor área posible.

Estamos convencidos de que, cuando se satisfagan completamente estos aspectos críticos durante la construcción de pozos profundos, se habrá logrado un 75% de los objetivos y metas asociadas con la conservación económica y sanitaria de los mismos.

Para el propósito que se persigue en este trabajo, se proponen las

siguientes ideas y especificaciones, las que por cierto, no tienen nada de novedoso, pero en muchos países, acosados por restricción económica, las hemos olvidado.

B. RAZONES PARA CEMENTAR Y SELLAR LOS POZOS.

La cementación y sellado de los pozos que se construyen con propósitos de abastecimiento de agua potable, debe ser obligatoria, para proteger el abastecimiento contra la contaminación incrementando la vida del ademe metálico, contrarrestando los efectos de su conexión exterior; impedir el paso al sistema de conducción de aguas de calidad química y sanitaria inconvenientes y estabilizar las formaciones superficiales, suelos o rocas que fácilmente se sacarán.

C. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN VIA CEMENTACIÓN.

En la construcción de los pozos normalmente y con frecuencia en forma intencional, se forma espacio anular en el tomo del ademe, que usualmente se rellena con un filtro de grava. A menos que este espacio no sea sellado se convierte en un canal que propicia la infiltración de aguas superficiales hacia abajo, generalmente contaminadas. La profundidad será variada dependiendo de la permeabilidad de las formaciones superficiales y tomando en cuenta la proximidad de fuentes contaminantes que suelen ser depresiones o hundimientos naturales, fosas sépticas o pozos profundos abundantes.

D. PROTECCIÓN ANTICORROSIVA.

La protección anticorrosiva del ademe metálico en su parte exterior se logra simplemente dándole un recubrimiento con mortero de cemento, lo cual se consigue al cementar el pozo.

Sin embargo, al instalar una tubería de acero cruzando las formaciones geológicas naturales que contienen grados de salinidad y tipos de sales, automáticamente se crea un campo de corrientes eléctricas con migración de iones y cationes, que a su vez generan la corrosión electrolítica, que a veces llega a ser muy somera.

Por conveniencia técnica y disposiciones legales, en todo pozo antes de su entubación, se deberá conocer un registro eléctrico para medir comparativamente la resistividad y caída del potencial -- que acusen los estratos perforados, y cuya interpretación es sumamente valiosa para identificar los acuíferos y ordenar el correcto diseño del pozo.

E. SELLADO DE ACUIFEROS SALOBRES.

Comunmente al perforar un pozo se llegan a cruzar varios acuíferos, unos pobres y otros ricos, así mismo estratos que contienen aguas químicas no aceptables, por lo que se deben aislar de la estructura por medio de cementaciones y tuberías especiales conocidas en el oficio como liners. Por medio de un registro eléctrico se localizan e identifican estos estratos y acuíferos inadecuados, cuyas aguas no deben ingresar al abastecimiento para fines potables y ni aún en los acuíferos no potables.

F. DESINFECTADO.

En la mayoría de los países subdesarrollados y en vías de desarrollo, no se presta atención al desinfectado de los pozos una vez terminados. Durante su construcción son sujetos de contaminación por parte de la herramienta de perforación; las tuberías de ademe llevan consigo muchos agentes de polución, los lodos de perforación que circulan constantemente están en contacto con la atmósfera y el terreno natural.

El procedimiento más adecuado para desinfectar un pozo recientemente construido o rehabilitado para su puesta en operación, consiste en aplicarle una solución de cloro en agua a una concentración de 15,000 partes por millón, a efecto de que ya diluido dentro del pozo, se obtenga una concentración no menor de 60 ppm. El tiempo oportuno de aplicarle será inmediatamente que se de por terminado el pozo y antes de someterlo al bombeo para su desarrollo y aforo.

Es de suponerse que el agua deberá someterse a un examen bacteriológico antes de ponerlo en operación para el abastecimiento de agua potable. En la siguiente tabla se muestra la cantidad de solución a 15,000 ppm. que se deberá aplicar a un pozo en función de su diámetro y profundidad.

Diámetro del ademe interior (en pulgadas)	Litros en solución (15,000 ppm.) por M. de profundidad.
4	8.07
6	18.24
8	32.39
10	50.63
12	72.97
14	99.28
16	129.57
18	164.07
20	202.54
22	245.11
24	291.65

G. REGLAS DE MANTENIMIENTO.

1. SANITARIAS.

El público deberá mantenerse alejado de los perímetros de protec-

ción de los pozos, contra la polución, siempre que se tenga cualquier reparación, ya sea del pozo o del equipo o líneas de conducción, se deberán practicar tratamientos de desinfectado.

Los tanques de almacenamiento o regularización complementarios de los pozos y rodeos de distribución, deben ser desinfectados y lavados con periódica frecuencia y esmero ya que su descuido los convierte en faunas nocivas para la salud humana.

Tanto al pozo como a las restantes estructuras que forman parte de un complejo de abastecimiento, sólo tendrán acceso directo y manipuleo por los operadores autorizados.

2. HIDRAULICAS.

El gasto del pozo suele sufrir variaciones muy pequeñas derivadas de las condiciones estacionales. Cualquier disminución del gasto en el pozo, será causa de seria irregularidad, por lo que de inmediato se deberá revisar el equipo de bombeo y si en el mismo no se detecta, se revisará el propio pozo.

Debe observarse muy particularmente, que el agua bombeada esté libre de arena y sólidos en suspensión, ya que de presentarse éstos en forma crónica, podrá indicar que el filtro de la estructura no opera satisfactoriamente. Este se deberá reparar, ya que pudiera tener una destrucción prematura.

Lo anterior sugiere la conveniencia y necesidad de que el operador del pozo libre lleve registros, cuando menos mensuales del gasto - aforado y de los niveles estáticos y dinámicos del mismo.

3. MECANICAS.

La conservación se reduce a la diaria observación del funcionamiento del equipo de bombeo, atendiendo sus mantenimientos cuando la bomba lo requiera. Debe considerarse que estas bombas tienen condiciones severas y trabajan de 3,000 a 5,000 horas anuales, por lo -

que es muy recomendable que cuando menos una vez por año se desmonte el motor y sea cuidadosamente revisado.

En general los motores eléctricos verticales no requieren mayor cuidado que vigilar su lubricación, ya que suelen quedar instalados en las subestaciones, elementos electromecánicos que los protegen contra sobrecargas y aumentos de temperatura. Con atención normal llegan a tener una vida útil de 20 a 40 años si se atiende debidamente el mantenimiento de las bombas. Debe recordarse que solamente sus partes móviles son las que ameritan reparaciones como son: flechas, coples, impulsores y tazones.

4. ESTRUCTURA DEL POZO.

Para tener una mejor idea de lo que debemos hacer para mantener la estructura del pozo, se enuncia lo siguiente:

- a. Vigilar constantemente en los pozos, que la grava que demande el filtro natural o artificial de la estructura, siempre sea suplida.
- b. Si durante el bombeo, después de transcurrido un tiempo razonable el agua sigue arrastrando arena o sólidos en suspensión en cantidades reducidas, será preferible reducir el gasto del bombeo del pozo, ya que con éso disminuirán las velocidades de ingreso del agua por el filtro o cedazo.

5. INTRUSIONES SALINAS.

Los pozos perforados en las proximidades del mar, están expuestos a la intrusión salobre, proceso que de permitirse, suele ser irreversible, ya que contamina el acuífero. Es obligación de todo geohidrólogo advertir sobre la posibilidad de que se presente este fenómeno, el cual ocurre al ser sobreexplotado el acuífero, cuyo control será de jurisdicción gubernamental, mediante constantes vigilancias.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES.

Las aguas subterráneas tienen un papel muy importante como fuente de abastecimiento en todo el mundo y una buena administración en la explotación de las mismas, nos conducen a tener cantidades de agua necesarias para el abastecimiento en las zonas urbanas o industriales que así lo requieran.

De acuerdo a lo expuesto en este trabajo, podemos concluir lo siguiente:

1. Un buen estudio hidrogeológico puede llegar a obtener magníficas aportaciones y de esta manera asegurar la localización de un manto acuífero.

Cuando se tengan antecedentes de pozos en una zona determinada, se deberá tomar en cuenta esa información, ya que de esta manera el costo de la exploración se reducirá considerablemente.

2. El costo de la explotación de aguas subterráneas con respecto a las fuentes de abastecimiento superficial son menores.
3. La calidad química del agua en los mantos subterráneos es en su mayor parte libre de agentes patógenos; por lo que su uso para abastecimiento potable requiere de menor tratamiento.
4. Es muy importante hacer notar que una buena selección del equipo de bombeo, nos llevará a una buena explotación de agua en la cantidad que se requiera. Por esto mismo se debe tener una estrecha vigilancia en el funcionamiento del equipo.
5. El buen funcionamiento de un pozo dependerá, en gran parte, de las debidas prevenciones y la buena supervisión que se tenga en su construcción, así como el mantenimiento en forma adecuada del pozo durante su funcionamiento.

No hay que olvidar que aún cuando los mantos subterráneos se pue--

den tomar como una fuente inagotable, pero la explotación sin control o bien un estudio mal realizado, nos puede llevar a tener - consecuencias muy serias.

Por otro lado podemos agregar que más que plantear una conclusión de este trabajo, se plantea el deseo de que pueda ser de utilidad en las clases correspondientes al tema.

BIBLIOGRAFIA

01. Gibson, P. Ulric y Singer, D. Rexford., "Manual de los Pozos Pequeños", Ed. Limusa, México 1984.
02. Custodio, E. Llamas., "Hidrología Subterránea", Ed. Omega, España 1964.
03. Benton Cuellar, A., "Construcción de Pozos para Aprovechamiento de Agua Subterránea", Andrés Benton Cuellar, México 1986.
04. Vargas, V., "Pozos Profundos". Ed. Limusa, México 1976.
05. Benton Cuellar A., "Perforación de Pozos", Centro de Educación Continua UNAM, 1986.
06. Benton Cuellar, A., "Perforación de Pozos", ICA. México 1973.
07. Acuña Aznar, A., "Perforación de Pozos", ICA. México 1973.
08. Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., "Mecánica de Suelos - Tomo I", Ed. Limusa, México 1982.
09. Springall, R., "Hidrología", Instituto de Ingeniería. UNAM 1970
10. Linsley, K., "Hidrología para Ingenieros", Ed. Mac Graw-Hill, U.S.A. 1980.
11. Mataix, C., "Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas", Ed. Harla, México 1982.
12. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, "Manual de Bombas I", México, D.F., Diseño Gráfico e Impresión; 1982.

13. Viejo, M., "Bombas", Ed. Limusa, México 1981.
14. Pearl, R., "Geología", Ed. Continental, México 1982.