

# MANUAL DE PERFORACIÓN MANUAL DE POZOS Y EQUIPAMIENTO CON BOMBAS MANUALES



Lima, 2004

El presente documento fue elaborado por el consultor ingeniero Abel Bellido para la Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

## Lista de contenido

	<b>Página</b>
Presentación .....	5
1. Conceptos básicos de matemáticas y física .....	6
1.1. Matemáticas .....	6
1.1.1. Unidades de medida .....	6
1.1.2. Áreas y volúmenes .....	7
1.2. Física .....	9
1.2.1. Masa .....	9
1.2.2. Peso .....	10
1.2.3. Peso específico y densidad .....	10
1.2.4. Presión .....	10
1.2.5. Velocidad .....	11
1.2.6. Caudal .....	11
2. Nociones de geología .....	11
2.1. Clasificación de las rocas .....	12
2.1.1. Rocas ígneas .....	12
2.1.2. Rocas sedimentarias .....	12
2.1.3. Rocas metamórficas .....	13
2.1.4. Procesos de transformación de las rocas .....	13
2.2. Clasificación de los suelos .....	13
3. Nociones de hidrogeología .....	15
3.1. La Hidrología .....	15
3.2. El ciclo hidrológico del agua .....	15
3.2.1. Clasificación de las aguas naturales según el ciclo hidrológico .....	16
3.3. Aguas subterráneas .....	17
3.3.1. Generalidades .....	17
3.3.2. Distribución vertical de las aguas subterráneas .....	18
3.3.3. El acuífero .....	19
3.3.4. Tipos de acuífero .....	19
3.3.5. Funciones del acuífero .....	20
3.3.6. Contaminación del agua subterránea .....	21
3.3.7. Métodos de descontaminación del agua subterránea .....	22
4. Pozos para abastecimiento de agua .....	23
4.1. Definición .....	23
4.2. Tipos .....	23
4.2.1. Pozo excavado .....	24
4.2.2. Pozo taladrado .....	24
4.2.3. Pozo a chorro .....	24
4.2.4. Pozo clavado .....	24
4.2.5. Pozo perforado .....	24
5. Métodos de perforación de pozos .....	24
5.1. Perforación por percusión .....	25
5.2. Perforación por rotación .....	25

6. Equipo de perforación manual .....	27
6.1. Antecedentes .....	27
6.2. Equipo de perforación manual modelo CEPIS .....	28
6.2.1. Aplicaciones .....	28
6.2.2. Características .....	29
6.2.3. Componentes .....	29
6.2.4. Procedimiento para la perforación .....	31
7. Referencias bibliográficas .....	37

### **Lista de cuadros**

Cuadro 1: Unidades de longitud .....	6
Cuadro 2: Unidades de superficie .....	6
Cuadro 3: Unidades de volumen .....	6
Cuadro 4: Unidades de peso .....	7
Cuadro 5: Unidades de tiempo .....	7
Cuadro 6: Unidades de temperatura .....	7
Cuadro 7: Peso específico de algunos materiales .....	10
Cuadro 8: Clasificación de las partículas del suelo .....	14
Cuadro 9: Clasificación de suelos .....	14
Cuadro 10: Distribución del agua en el planeta .....	17
Cuadro 11: Características de los pozos artesianos y freáticos .....	20

### **Lista de gráficos**

Gráfico 1: El ciclo hidrológico del agua .....	16
Gráfico 2: Distribución vertical del agua subterránea .....	18
Gráfico 3: Tipos de acuíferos .....	21
Gráfico 4: Componentes de la torre de perforación .....	30
Gráfico 5: Torre de perforación ensamblada .....	31
Gráfico 6: Operación del equipo de perforación manual .....	32
Gráfico 7: Ubicación sanitaria de pozos .....	33

## **PRESENTACIÓN**

El manual brinda los conocimientos necesarios a las personas involucradas con la labor de explotación de aguas subterráneas mediante la perforación de pozos y equipamiento con bombas manuales a fin de que estas labores se ejecuten en forma eficiente.

Un pozo no es un simple hueco perforado en el suelo, sino que es una estructura que debe reunir requisitos de índole técnico, sanitario, económico, entre otros aspectos. Por lo tanto, debe permitir obtener el caudal necesario al menor costo posible, debe ser durable y debe ser eficiente, entregando agua de buena calidad.

El contenido del manual comprende un primer grupo de temas referidos a nociones básicas de matemáticas, física, geología e hidrogeología, los que ayudan a la comprensión del segundo grupo de temas referidos propiamente a la obtención del agua, estos son: Pozos de abastecimiento de agua, equipo de perforación manual y bombas de agua.

## Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales

### 1. Conceptos básicos de matemáticas y física

#### 1.1 Matemáticas

##### 1.1.1 Unidades de medida

**Cuadro 1. Unidades de longitud**

LONGITUD	
UNIDAD	EQUIVALENCIA (m)
1 micra ( $\mu$ )	0,0001
1 milímetro (mm)	0,001
1 centímetro (cm)	0,01
1 decímetro (dm)	0,1
<b>1 metro (m)</b>	<b>1</b>
1 Decámetro (Dm)	10
1 Hectómetro (Hm)	100
1 Kilómetro (Km)	1000
1 Miriámetro (Mm)	10000
1 Pulgada (")	0,0254
1 Pie (')	0,3048
1 Yarda (Yd)	0,9144
1 Milla terrestre	1609,3

**Cuadro 2. Unidades de superficie**

SUPERFICIE	
UNIDAD	EQUIVALENCIA (m <sup>2</sup> )
1 centímetro cuadrado (cm <sup>2</sup> )	0,0001
<b>1 metro cuadrado (m<sup>2</sup>)</b>	<b>1</b>
1 área (a)	100
1 Hectárea (Ha)	10000
1 Kilómetro cuadrado (Km <sup>2</sup> )	1000000

**Cuadro 3. Unidades de volumen**

VOLUMEN	
UNIDAD	EQUIVALENCIA (m <sup>3</sup> )
1 mililitro (ml)	0,001
1 centilitro (cl)	0,01
1 decilitro (dl)	0,1
<b>1 litro (l)</b>	<b>1 l</b>
1 Decalitra (Dl)	10
1 Hectolitro (Hl)	100
1 Kilolitro (Kl)	1000
1 centímetro cúbico (cm <sup>3</sup> )	0,001
1 metro cúbico (m <sup>3</sup> )	1000
1 Galón USA (Gl)	3,785
1 Galón UK (Gl)	4,545

**Cuadro 4. Unidades de peso**

PESO	
UNIDAD	EQUIVALENCIA (g)
1 miligramo (mg)	0,001
<b>1 gramo (g)</b>	<b>1</b>
1 Kilogramo (Kg)	1000
1 Tonelada métrica (Tm)	1000000
1 Libra (Lb)	0,4536
1 Onza (Oz)	28,3495

**Cuadro 5. Unidades de tiempo**

TIEMPO	
UNIDAD	EQUIVALENCIA (s)
<b>1 segundo (s)</b>	<b>1</b>
1 minuto (min)	60
1 hora (h)	3600
1 día (d)	86400

**Cuadro 6. Unidades de temperatura**

TEMPERATURA	
UNIDAD	EQUIVALENCIA (K)
<b>1 grado Celsius o centígrado (°C)</b>	<b>K = °C + 273,15</b>
<b>0 °C</b> (corresponde al punto de congelación del agua)	273.15 K
36 °C (corresponde a la temperatura normal del cuerpo)	309.2 K
100 °C (corresponde al punto de ebullición del agua)	373.15 K

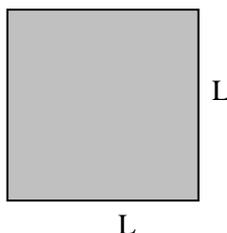
1.1.2 Áreas y volúmenes

a) Áreas

✓ Cuadrado

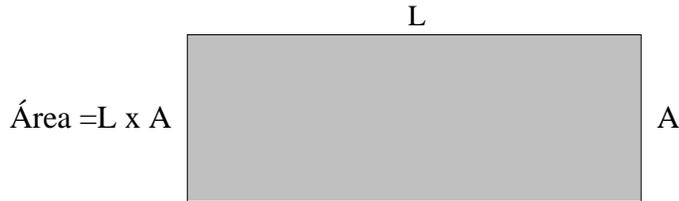
El cuadrado es una figura geométrica bidimensional que tiene largo y ancho. Ambas dimensiones son de igual magnitud. El área se obtiene multiplicando el largo por el ancho.

$$\text{Área} = L \times L$$



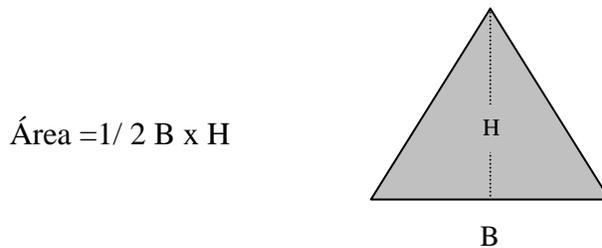
✓ **Rectángulo**

El rectángulo es una figura geométrica bidimensional que tiene largo y ancho. Ambas dimensiones tienen diferente magnitud. El área se obtiene multiplicando el largo por el ancho.



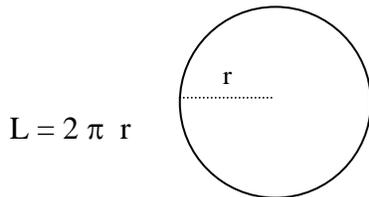
✓ **Triángulo**

El triángulo es una figura geométrica bidimensional que tiene base y altura. El área se obtiene multiplicando la mitad de la base por la altura:

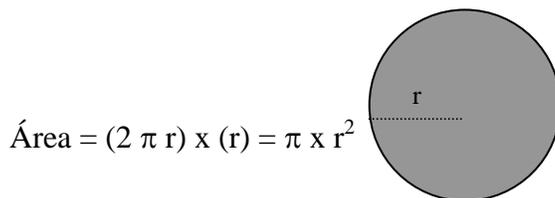


✓ **Círculo**

El círculo es una figura geométrica bidimensional que tiene radio. El perímetro del círculo se llama circunferencia y su longitud es el doble del producto de la constante Pi ( $\pi$ ) por el radio. El valor de Pi es 3.1416.



El área de la circunferencia se calcula a partir del círculo. Esta área se obtiene multiplicando la longitud de la circunferencia por el radio.



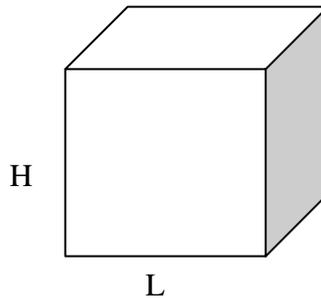
**b) Volúmenes**

✓ **Cubo**

Es una figura geométrica tridimensional. El área se obtiene multiplicando el área de la base por la altura.

$$\text{Área de la base} = L^2$$

$$\text{Volumen} = L^2 \times H$$

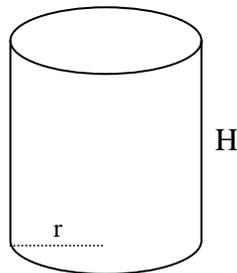


✓ **Cilindro**

Es una figura geométrica tridimensional. El área se obtiene multiplicando el área de la base por la altura.

$$\text{Área de la base} = \pi \times r^2$$

$$\text{Volumen} = \pi \times r^2 \times H$$



**1.2 Física**

**1.2.1 Masa**

Tener masa es una propiedad de toda materia. Esto se explica por la cantidad y tipo de partículas de que se compone un cuerpo. La masa se exterioriza por la resistencia del cuerpo a los cambios de su estado de movimiento.

Como unidad de masa se emplea el kilogramo (kg). La masa de un cuerpo se determina comparándola con cuerpos de masa conocida (pesas de balanza. La comparación de masas puede hacerse mediante una balanza de brazos.

### 1.2.2 *Peso*

Todo cuerpo es atraído por la masa de la tierra con una fuerza, la que se mide en Newton. La unidad de masa (el kilogramo) posee, debido a esa atracción, un peso de 9.81 Newton.

La aceleración y la gravedad dependen del lugar y disminuyen al aumentar la distancia a la tierra. Es así que un cuerpo situado en la luna tiene 1/6 de su peso en la tierra a causa de la menor masa de aquella.

La velocidad de caída de todos los cuerpos que caen libremente, aumenta a razón de 9.81 metros cada segundo.

### 1.2.3 *Peso específico y densidad*

El peso específico de una sustancia es el peso de la unidad de volumen de dicha sustancia.

La densidad de un cuerpo es la masa por unidad de volumen. Cada materia tiene un peso específico. Una cantidad determinada de plomo pesará más que igual cantidad de aserrín. En el cuadro siguiente se presentan el peso específico de algunos materiales.

**Cuadro 7. Peso específico de algunos materiales**

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO Kg / dm <sup>3</sup>
Agua	1,000
PVC	1,35 – 1.49
Fierro fundido	7,21
Madera	0.3 – 1.2
Cobre	8.93
Hormigón	2 – 3
Aluminio	2,7
Oro	19.3

### 1.2.4 *Presión*

Es la fuerza que ejerce un cuerpo sobre cada unidad de superficie. El Newton es la unidad de fuerza y el cm<sup>2</sup> la expresión de área. La presión se mide en “bar” y 1 bar equivale a 10 Newton por cm<sup>2</sup>.

La presión también podemos medirla como “columna de agua”, siendo 1 bar igual a 1 kg/ cm<sup>2</sup> e igual a 10,33 metros de columna de agua.

La presión atmosférica varía con la altitud del lugar. A nivel del mar, la presión atmosférica equivale a una columna de agua de 10,33 metros.

Otras expresiones para medir la presión son la “libra por pulgada cuadrada (PSI)” y “milímetro de mercurio (mm Hg)”.

### 1.2.5 *Velocidad*

Longitud que recorre un cuerpo por unidad de tiempo. Las unidades empleadas para medirla son metros por segundo (m/s), kilómetro por hora (km/h).

En las redes de agua cuanto más rápido corre el agua por las tuberías se produce una mayor fricción. La fricción es el freno a la velocidad. Para compensar este freno se necesita más fuerza, o sea más presión. Si no se puede aumentar la presión llega menos agua por su menor velocidad en la tubería.

### 1.2.6 *Caudal*

Es el volumen de fluido que pasa a través de una sección en una unidad de tiempo. Las principales expresiones para medir el caudal son: “litro por segundo (l/s)”, “galón por minuto (gpm)”, “metro cúbico por segundo (m<sup>3</sup>/s)”.

## **2. Nociones de geología**

La geología es una ciencia moderna, es la ciencia de la tierra. Como tal estudia su composición, su estructura y los fenómenos que se producen y se han producido desde el inicio de los tiempos hasta nuestros días.

Nuestro planeta tierra tiene una edad aproximada de 5 000 000 000 (cinco mil millones) de años y el hombre aparece en él hace dos millones de años.

En esta casi inimaginable edad de nuestro planeta han pasado muchas transformaciones. Los continentes están en continuo movimiento. Donde había mar hoy hay tierra y donde hoy hay montañas es muy posible que hubiera mar.

Hace unos 200 millones de años la masa continental de todas las tierras emergidas formaba un solo continente denominado Pangea. Hace 100 millones de años ese enorme continente se divide en dos partes: Laurasia y Gondwana.

Como movimientos más reciente figuran la separación de Groelandia del continente americano, la unión de América del Sur con América del Norte; la separación progresiva de Australia de la Antártida y la colisión de la India con Asia, que origina la formación de las montañas del Himalaya.

Los ríos llevan continuamente tierra y piedras al mar o rellenan los lagos. Durante el largo trayecto y durante años se muelen las piedras continuamente formando arcillas y los granos más duros como el cuarzo forman la arena.

Para hablar de la evolución geológica sudamericana, debemos tener una idea general de la lenta evolución de nuestro planeta, a partir de aquel momento en que toda su superficie se encontraba cubierta por las aguas de un océano primitivo.

En un lapso aproximado de 5000 millones de años, se produjeron grandes transformaciones:

- Emergieron (aparecieron) los primeros continentes, distintos a los actuales.
- El vulcanismo cubrió extensas regiones con rocas magmáticas o eruptivas.
- La erosión incesante acumuló, una sobre otras, varias capas de rocas sedimentarias.
- Los intensos movimientos sísmicos, como consecuencia del desplazamiento de las placas continentales y erupciones volcánicas, plegaron o desplazaron las capas terrestres, formando cordilleras, montañas, mesetas, fosas y otras formas de relieve.

Los geólogos estudian estas transformaciones incesantes del relieve terrestre, valiéndose de distintos métodos, como por ejemplo:

- Método estratigráfico, sirve donde las capas de rocas permanecen en posición horizontal y paralelas unas a otras. Las rocas más antiguas están en la base y las más recientes, encima.
- Método paleontológico, para calcular la edad relativa de las rocas por los fósiles que contienen.
- Método radiactivo, emplea diversos elementos radiactivos como uranio y carbono 14.

## **2.1 *Clasificación de las rocas***

Las rocas se dividen, de conformidad con sus orígenes, en tres grandes grupos: rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

### **2.1.1 *Rocas ígneas***

Son rocas de formación eruptiva (ígneas) y la división de éstas se basa en las diversas condiciones de presión que actúan en el momento de la cristalización del magma. Pueden ser:

- Intrusivas o plutónicas: Cristalizadas en profundidad
- Hipoabisales o filonianas: Cristalizadas a profundidad intermedia
- Efusivas o volcánicas: Cristalizadas en superficie

### **2.1.2 *Rocas sedimentarias***

Se han formado en base a los depósitos y recementación de productos de erosión otras rocas. La clasificación de estas rocas se atiende más al mecanismo de depósito que es el responsable de la textura y estructura final, de la roca que al proceso de disgregación de las rocas preexistentes de las que derivan.

Por ejemplo, la arena cuarcífera meteorizada de un granito y depositada en el fondo de un mar prehistórico, puede haber sido convertida, a través de los cambios geológicos, en una masa sólida. Esto puede llamarse una arenisca.

### *2.1.3 Rocas metamórficas*

Son las que han sido metamorfozadas o cambiadas en su forma a partir de otras rocas. Las rocas ígneas se modifican comúnmente formando gneis y esquistos, mientras que las de origen sedimentario como areniscas y pizarras pueden metamorfozarse en cuarcitas y pizarras metamórficas respectivamente.

### *2.1.4 Procesos de transformación de las rocas*

Las rocas, que son el punto de origen en los procesos de meteorización, se rompen primero en fragmentos más pequeños y al fin en los minerales individuales de los cuales están formadas. Simultáneamente, los fragmentos de las rocas y sus minerales son atacados por las fuerzas erosivas y se transforman en nuevos minerales. Estos cambios se producen fundamentalmente por dos tipos de procesos: mecánicos y químicos.

#### **a) Procesos de mecánicos**

Se produce la desintegración de las rocas por los siguientes factores:

- Temperatura.
- Erosión y depósito (por agua, hielo y viento).
- Influencias de plantas y animales.

#### **b) Procesos químicos**

Se produce la descomposición de las rocas por los siguientes factores:

- Hidrólisis, es la reacción de los minerales con el agua.
- Hidratación, por ejemplo los procesos de expansión de las arcillas.
- Carbonatación, por acción del ácido carbónico.
- Oxidación, principalmente en rocas que llevan hierro.
- Disolución, por acción disolvente del agua.

## ***2.2 Clasificación de los suelos***

La clasificación de los suelos se realiza por el tamaño de las partículas que lo componen, es decir la “Composición Granulométrica”, el Límite Líquido y el Índice de Plasticidad, dicha clasificación es realizada por la entidad AASHO de USA.

En el cuadro siguiente se presenta la clasificación de las partículas del suelo, las que se clasifican en consideración a su diámetro.

### Cuadro 8. Clasificación de las partículas del suelo

TIPO DE PARTÍCULA	DIÁMETRO (mm)
Grava	Mayor a 2
Arena	De 0,05 a 2
Limo	De 0,002 a 0,05
Arcilla	Menor a 0,002

En el cuadro siguiente se presenta la clasificación de de los suelos:

### Cuadro 9. Clasificación de suelos

DIVISIÓN PRINCIPAL		SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE GRANOS GRUESOS (50% O MÁS ES RETENIDO EN UN TAMIZ No. 200)	GRAVAS (50% O MÁS DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDO POR EL TAMIZ No. 4)	GRAVAS LIMPIAS	GW Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos.
		GRAVAS CON FINOS	GP Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin ellos.
			GM Gravas limosas, mezclas de arena, grava y limo.
		ARENAS (50% O MAS DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA POR EL TAMIZ No.4)	ARENAS LIMPIAS
	SW Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin ellos.		
	ARENAS CON FINOS		SP Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin ellos
			SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
	SUELOS DE GRANOS FINOS (50% O MAS PASA POR EL TAMIZ No. 200)	LIMOS Y ARCILLAS (LIMITE LÍQUIDO DE 50% O INFERIOR)	SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
ML Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas.			
CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla.			
LIMOS Y ARCILLAS (LIMITE LÍQUIDO SUPERIOR A 50%)		OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
		MH Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas, limos elásticos.	
		CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	OH Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media.		
	PT Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos.		

### 3. Nociones de hidrogeología

#### 3.1 *La hidrogeología*

Es la ciencia que estudia el ciclo del agua en la naturaleza y su evolución en la superficie de la tierra y en el suelo, bajo sus tres estados físicos, gaseoso, líquido y sólido. La hidrología estudia la fase del ciclo del agua que comienza con la llegada del agua a la superficie de la tierra. Encierra por consiguiente: Las precipitaciones, las aguas superficiales, la evapotranspiración, la infiltración y las aguas subterráneas.

La hidrología de las aguas subterráneas o hidrogeología, se define como el estudio del origen, ocurrencia, repartición y distribución del agua debajo de la superficie del suelo, estudia además los movimientos inherentes a ella.

#### 3.2 *El ciclo hidrológico del agua*

Se denomina ciclo hidrológico del agua al movimiento permanente del agua desde la tierra hasta la atmósfera y su regreso a la tierra. El agua puede presentar tres estados: sólido, líquido y gaseoso. A su vez el ciclo hidrológico presenta diversas etapas, como son: evaporación, transpiración, condensación, escorrentía y percolación.

- **Evaporación:** Cuando la lluvia cae en el suelo caliente se evapora. El agua de los ríos, lagos y mares se evapora por la acción del sol. La transpiración es una evaporación pues el agua proveniente de las plantas y de los animales va a la atmósfera.
- **Escorrentía superficial:** Cuando parte de la lluvia cae sobre la superficie de la tierra y forman corrientes, que llegan a los ríos, lagunas, mares, etc.
- **Escurrimiento subterráneo:** Ocurre cuando parte del agua penetra (se percola) en el suelo, formando manantiales, pozos, etc.
- **Condensación (precipitación):** El agua evaporada que forma las nubes, al llegar a zonas frías, se condensa y cae en forma de lluvia.

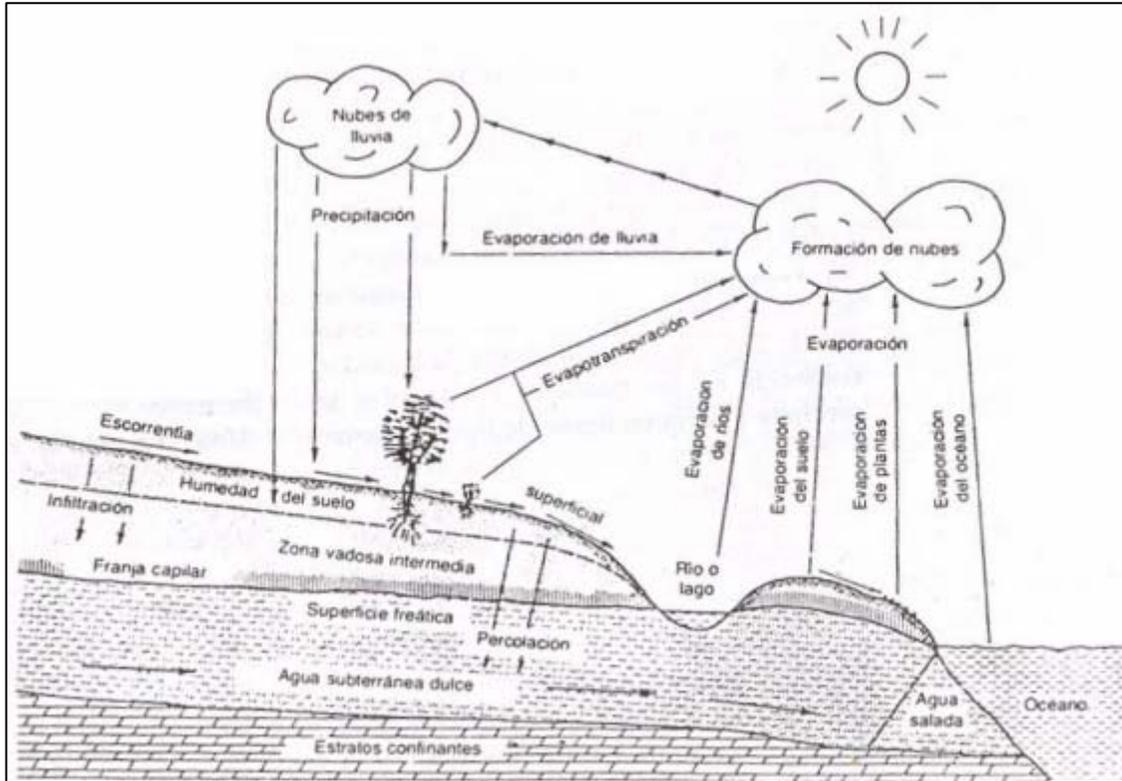


Gráfico 1. El ciclo hidrológico del agua

### 3.2.1 Clasificación de las aguas naturales según el ciclo hidrológico

El ciclo del agua evoluciona en tres medios diferentes: la atmósfera, la superficie del suelo y el subsuelo. De esta manera tenemos la siguiente clasificación:

- **Aguas atmosféricas o meteóricas:** Conformada por las lluvias, nieve, granizo, humedad, nubes.
- **Aguas superficiales:** Conformada por escurrimientos, ríos, lagos y mares.
- **Aguas subterráneas:** Conformada por el agua que percola a través de los estratos de la tierra y recibiendo un tratamiento natural, conforma los ríos subterráneos (acuíferos).

En el cuadro siguiente muestra la distribución del agua en el planeta.

**Cuadro 10. Distribución del agua en el planeta**

TIPO DE AGUA	UBICACIÓN	%	CARACTERÍSTICAS
SALADA 97,5%	a. Océanos	94.08	Cubren el 71% de la superficie de la tierra.
	b. Aguas subterráneas salobres y lagos de agua salada.	5.92	Incluye a los mares interiores.
AGUA DULCE 2,5%	a. Hielo y nieve.	69.61	En forma de glaciares y capas de nieve permanentes.
	b. Aguas freáticas.	30.00	La mayor parte en acuíferos profundos de difícil acceso.
	c. Lagos y ríos.	0.25	Los lagos representan la mayoría.
	d. Suelos, humedales y biota.	0.10	Agua contenida en lodos, humedad del suelo, pantanos, flora y fauna.
	e. Vapor de agua en la atmósfera.	0.04	Vapor y nubes, representa seis veces más que todos los ríos del mundo.

### **3.3 Aguas subterráneas**

#### **3.3.1 Generalidades**

El agua que se infiltra en el suelo se denomina agua subsuperficial, pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que tienen relación con esta agua. Primero, que puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico descrito. Segundo, que puede ser absorbida por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmósfera, a través del proceso de la transpiración. Tercero, que la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de gravedad hasta que alcance el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea y que abastece de la misma a los pozos.

Las aguas de infiltración penetran en el suelo y el subsuelo. Para el estudio de las aguas subterráneas el suelo y el subsuelo no pueden ser separados y constituyen un complejo único.

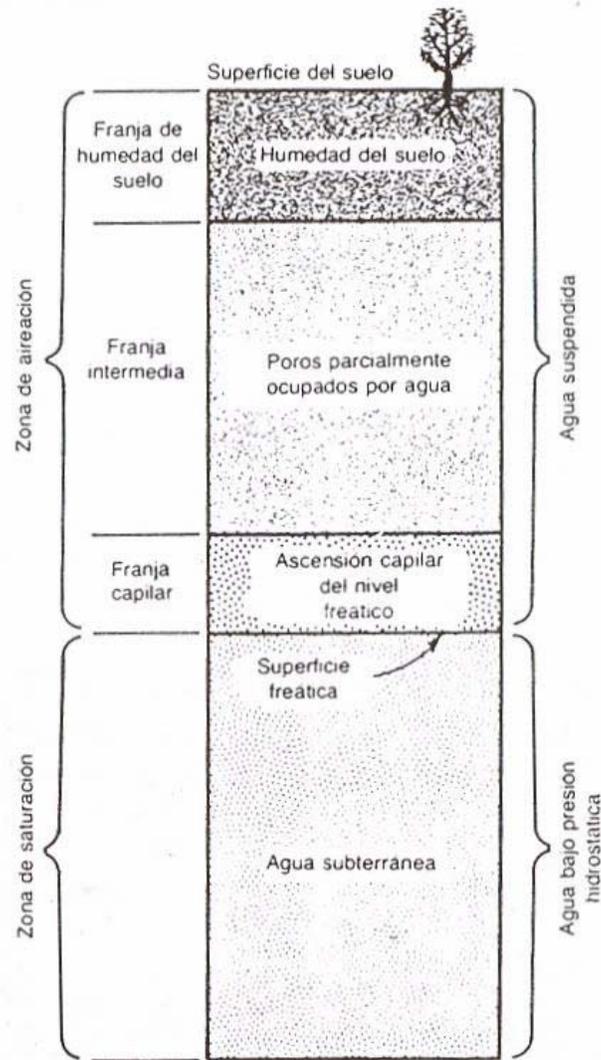
Es preciso conocer que, desde el punto de vista geohidrológico, existen dos grandes tipos de rocas:

- Las rocas con permeabilidad de intersticios o de pequeña permeabilidad, como las arenas y las gravas.
- Las de permeabilidad de fisuras o de gran permeabilidad, donde el tipo predominante es la roca calcárea.

Siendo una formación permeable aquella que además de ser porosa, tiene los poros conectados entre si, por lo que permite que se almacene agua y se desplace a través de ella.

### 3.3.2 Distribución vertical de las aguas subterráneas

Para comprender las manifestaciones del agua subterránea, se requiere estudiar la distribución vertical de esta dentro de los materiales geológicos subsuperficiales o formaciones. A mayor o menor profundidad todos los materiales de la corteza terrestre, son normalmente porosos. Los poros o aberturas pueden encontrarse parcial o totalmente saturados de agua.



**Gráfico 2. Distribución vertical del agua subterránea**

#### a) Zona de aireación

Es el estrato superior, en donde los poros o aberturas están sólo parcialmente llenos de agua. Esta zona se divide en tres franjas:

- **La humedad del suelo:** Es importante para la agricultura, puesto que suministra el agua necesaria para el crecimiento de las plantas.
- **La franja intermedia:** Escapa del alcance de la raíces de la mayoría de las plantas. Su espesor varía de acuerdo con los tipos de suelo y de la vegetación.
- **La franja capilar:** Sólo en algunos casos las raíces de las plantas alcanzan esta franja. El espesor de esta franja varía en razón inversa a la granulometría y depende del tamaño de los granos del material.

#### **b) Zona de saturación**

Se encuentra por debajo de la zona de aireación, los poros o aberturas se encuentran completamente llenos de agua. También se le llama zona de agua sostenida. Es el dominio de las aguas subterráneas pudiendo alimentar los pozos y las fuentes. Las aguas de percolación se localizan en esta zona, llamaremos a esta zona de saturación Capa o Manto Acuífero.

La parte superior, límite de la zona de saturación es una superficie de equilibrio, la presión del agua es igual, en todos los puntos, a la presión atmosférica; es la superficie libre de las aguas subterráneas o Nivel Freático.

Podemos decir entonces que la zona de saturación es aquella comprendida bajo el nivel freático.

#### *3.3.3 El acuífero*

Se llama formación acuífera a cualquier estrato geológico capaz de almacenar y transmitir agua. Por consiguiente, para que un pozo produzca agua se necesita que esté en contacto con una formación acuífera.

Las formaciones ígneas y metamórficas por lo general no dan paso al agua debido a que son poco permeables. Estas formaciones sólo permiten el paso del agua a través de grietas o canales formados en ellas.

Las rocas y formaciones de tipo sedimentario constituyen la mayoría de los acuíferos, debido a que son los más porosos y las más permeables.

Una definición simple de acuífero es la siguiente: “Es la capa superior del agua subterránea”.

#### *3.3.4 Tipos de acuífero*

##### **a) Acuíferos de nivel freático**

Son los acuíferos que tienen la parte superior del agua contenida en ellos a presión atmosférica. En los pozos perforados en estos acuíferos se encuentra el agua tan pronto como se llegue a la zona saturada, constituyendo este nivel de saturación al nivel estático del agua.

## b) Acuíferos artesianos

Son los acuíferos que tienen el agua sometida a presión por encontrarse entre dos capas impermeables que la confinan. Cuando al hacer una perforación se rompe la capa confinante superior, el agua sube hasta el nivel estático, que está determinado por un agente de recarga (río, lago, etc.) en contacto con el acuífero.

### 3.3.5 Funciones del acuífero

Las funciones más importantes que realiza un acuífero son dos: Almacenar agua y transmitir agua. Este almacena agua sirviendo como depósito y transmite agua como lo hace un conducto. Los poros o aberturas de una formación acuífera le sirven tanto de espacio de almacenamiento como de red de conductos.

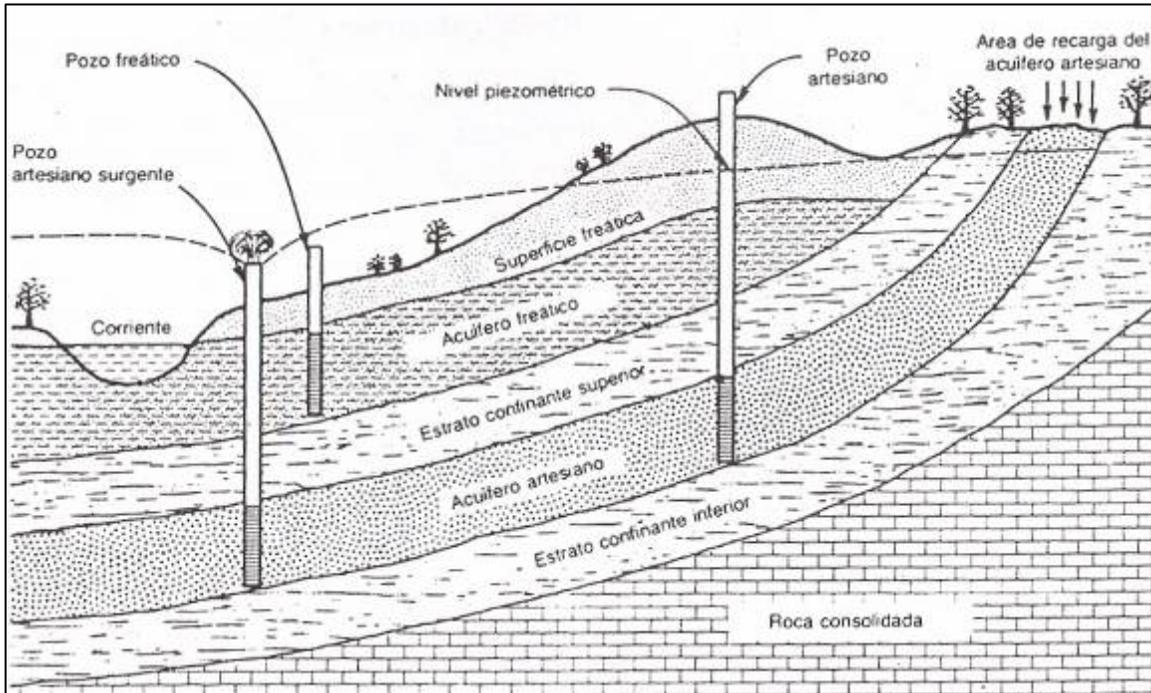
El agua subterránea se mueve constantemente a través de distancias extensas y desde las área de recarga hacia las de descarga. El desplazamiento es muy lento con velocidades que se miden en metros por día o metros por año. Como consecuencia de ello y del gran volumen que su porosidad representa, un acuífero retiene enormes cantidades de agua en almacenamiento inestable.

El siguiente cuadro resume algunas características de los pozos artesianos y freáticos.

**Cuadro 11. Características de los pozos artesianos y freáticos**

<b>Tipo de acuífero</b>	<b>¿Cómo se encuentra la superficie del agua?</b>	<b>Tipo de pozo</b>
Freático	A presión atmosférica (normal)	Pozo raso
Artesiano	A una presión mayor que la atmosférica	Pozo artesiano o profundo

En el gráfico siguiente pueden apreciarse los tipos de acuíferos mencionados.



**Gráfico 3. Tipos de acuíferos**

### 3.3.6 Contaminación del agua subterránea

El flujo a través de arena hace que el agua subterránea por lo general esté libre de: bacterias, sólidos suspendidos, turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Pero no impide el paso de sustancias disueltas e isótopos radioactivos en solución.

El flujo a través de los estratos acuíferos hace que por lo general el agua subterránea sea: Fría, anóxica (sin oxígeno disuelto) y con alto contenido de sustancias disueltas que dependen de la naturaleza de los estratos.

El agua subterránea suele contaminarse por:

- Solución de sales del subsuelo.
- Sobrebombeo que puede provocar intrusión de agua de inferior calidad o de agua salada.
- Programas de recarga de acuíferos.
- Infiltración de aguas de riego o lluvia.
- Infiltración de aguas residuales procedentes de letrinas, drenajes de tanques sépticos y lagunas e estabilización.
- Los sistemas de alcantarillado y los emisarios evitan la contaminación, pero por otra parte, disminuyen la recarga del acuífero.
- Descarga de desechos industriales en estanques o lagunas, que den origen a la entrada de contaminantes químicos en solución.

### 3.3.7 Métodos de descontaminación del agua subterránea

Existen diversos métodos de tratamiento para descontaminar el agua subterránea, estos pueden ser: Físicos, químicos, biológicos e *in situ*. Presentaremos algunos de los tratamientos mencionados.

#### c) Tratamientos físicos

- ✓ **Adsorción:** Carbono Activado Granular (GAC) es el material más ampliamente utilizado para la adsorción de contaminantes orgánicos del agua. Las resinas sintéticas también son utilizadas como adsorbentes, pero son caras y su uso es frecuentemente en etapas de desarrollo. Las resinas sintéticas atrapan contaminantes dentro de la estructura química de la resina, mientras que el GAC atrapa contaminantes dentro de la estructura física de los poros del carbono.
- ✓ **Filtración:** Es un medio fiable y eficaz para eliminar sólidos en suspensión, dado que la concentración de sólidos no es excesiva. Los sólidos en suspensión son eliminados de las aguas subterráneas forzando el fluido a pasar a través de un medio poroso, consistente en un lecho de partículas granulares (típicamente arena o arena con antracita). El lecho es sostenido por un sistema de subdrenes que permite al líquido filtrado ser desviado. La filtración es frecuentemente precedida por una sedimentación química y sedimentación o tratamiento biológico, y frecuentemente precede a unidades de carbono activado para decrecer la carga de sólidos en suspensión.

#### d) Tratamientos químicos

- ✓ **Neutralización:** Proceso en el cual se añade un ácido o una base para el ajuste del pH. Es un proceso relativamente simple que se puede realizar utilizando equipos de tratamiento ordinarios y normalmente disponibles. Frecuentemente es usado como etapa previa a procesos de tratamiento biológico o procesos químicos de oxidación – reducción.
- ✓ **Precipitación química:** Es un proceso fisicoquímico por el cual una sustancia en solución es transformada a fase sólida. La precipitación resulta de la adición de una sustancia química que reacciona con el contaminante en solución para formar un compuesto insoluble. Cambios de temperatura pueden reducir la solubilidad del contaminante y dar como resultado su precipitación. La aplicación más común es la adición de sustancias químicas para eliminar metales como carbonatos hidróxidos o sulfuros.

#### e) Tratamientos biológicos

- ✓ **Lodos activados:** Una solución contaminada se mezcla en una cuenca de aireación con una población microbiana activa. Las bacterias presentes son capaces de degradar biológicamente los contaminantes orgánicos a material celular, dióxido de carbono y agua. La materia orgánica es eliminada, los microorganismos son

separados del líquido por decantación gravitativa en clarificadores, y una porción de los microorganismos decantados son reciclados a la cuenca de aireación. Las nuevas células, desarrolladas como síntesis de células, son eliminadas del sistema para posteriores tratamientos y almacenadas.

- ✓ **Almacenamientos superficiales:** Son lagunas poco profundas o balsas con una población microbiana en suspensión, en concentraciones mucho más bajas que en los sistemas de lodos activados. Los tiempos de detención normalmente son del orden de semanas y una aireación natural o aplicada mantiene las condiciones aerobias. Los almacenamientos superficiales requieren grandes áreas de terreno, y debido a que las bajas temperaturas afectan adversamente su actuación, no son adecuados para climas donde la temperatura permanece por debajo de cero grados durante apreciables períodos de tiempo; sin embargo, las ventajas son su bajo costo de operación y mínimo uso de energía, comparado con otros métodos de tratamiento biológico.

#### f) **Tratamientos in situ**

- ✓ **Inmovilización:** Precipitación, quelatación y polimerización son tres métodos utilizados para inmovilizar un contaminante de forma que se prevenga su migración fuera del área contaminada. La precipitación y la quelatación utilizando soluciones caústicas son efectiva para inmovilizar metales disueltos en el agua subterránea. La polimerización es efectiva para inmovilizar monómeros orgánicos. Sin embargo, las sustancias químicas añadidas a los contaminantes en el agua subterránea pueden reaccionar para formar subproductos tóxicos.
- ✓ **Movilización para extracción:** La lixiviación de suelos es un proceso que consiste en inundar el área contaminada con agua o un disolvente para movilizar el contaminante, seguido de la recogida del lixiviado. Esta técnica se utiliza en combinación con las tecnologías enumeradas previamente. El proceso se basa en que el disolvente solubiliza o reacciona químicamente con los contaminantes movilizándose en la fase de disolvente. Se utiliza cuando el contaminante es fácilmente soluble.

## 4. **Pozos para abastecimiento de agua**

### 4.1 **Definición**

Un pozo para abastecimiento de agua es un hueco profundizado en la tierra para interceptar acuíferos o mantos de aguas subterráneas.

### 4.2 **Tipos**

Los pozos se clasifican en cinco tipos de acuerdo con el método de construcción.

#### 4.2.1 *Pozo excavado*

Aquel que se construye por medio de picos, palas, etc., o equipo para excavación como cucharones de arena. Son de poca profundidad y se usan donde el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie. Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva de agua dentro del pozo mismo.

#### 4.2.2 *Pozo taladrado*

Aquel en que la excavación se hace por medio de taladros rotatorios, ya sean manuales o impulsados por fuerza motriz. Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva de agua dentro del pozo mismo.

#### 4.2.3 *Pozo a chorro*

Aquel en que la excavación se hace mediante un chorro de agua a alta velocidad. El chorro afloja el material sobre el cual actúa y lo hace rebalsar fuera del hueco.

#### 4.2.4 *Pozo clavado*

Aquel que se construye clavando una rejilla con punta, llamada puntera. A medida que esta se calva en el terreno, se agregan tubos o secciones de tubos enroscados. Son de pequeño diámetro.

#### 4.2.5 *Pozo perforado*

La excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación. El material cortado se extrae del hueco con un achicador, mediante presión hidráulica, o con alguna herramienta hueca de perforar, etc.

Cada tipo de pozo tiene sus ventajas particulares, que pueden ser, la facilidad de construcción, tipo de equipo requerido, capacidad de almacenamiento, facilidad de penetración o facilidad de protección contra la contaminación.

### **5. Métodos de perforación de pozos**

Una perforación es un hueco que se hace en la tierra, atravesando diferentes estratos, entre los que puede haber unos acuíferos y otros no acuíferos; unos consolidados y otros no consolidados. Cada formación requiere un sistema de perforación determinado, por lo que a veces un mismo pozo que pasa por estratos diferentes obliga a usar técnicas diferentes en cada uno de los estratos.

Una misma perforación puede atravesar varios acuíferos, por lo que es conveniente valorar cada uno de ellos para definir cuales deben ser aprovechados a la hora de terminar el pozo.

La determinación de si una formación es acuífera o no, así como de su permeabilidad, se hace con base en las muestras que el perforador obtiene durante el transcurso de la perforación; de aquí la gran importancia que tiene realizar un buen muestreo.

Existen métodos mecanizados y manuales para perforar pozos, pero todos se basan en dos modalidades: percusión y rotación. Así mismo, se emplea una combinación de ambas modalidades.

### **5.1 Perforación por percusión**

La gente de la antigua China perforaba hace 1000 años, pozos de hasta 900 m de profundidad para explotar sal. Con un hierro pesado de la forma de una pera golpearon constantemente las rocas a perforar. Un poco de agua en el fondo del pozo se mezclaba con el polvo de roca y se extraía con baldes de tubo.

El método se basa en la caída libre de un peso en sucesión de golpes rítmicos dados contra el fondo del pozo.

Las partes típicas de un equipo motorizado de perforación a percusión son:

- ✓ *Tren de rodaje*  
Estos equipos vienen generalmente montados sobre un chasis de acero sobre cuatro ruedas con neumáticos, pero también las hay motadas sobre un camión.
- ✓ *Bastidor*  
Es una caja de ángulos de acero y brazos articulados en donde se ubican las piezas vitales de la perforadora y soporta además a la torre.
- ✓ *Mástil o Torre*  
Generalmente son de tipo telescópica y viene en dos tramos de 36 pies cuando esta extendida y 22 pies cuando está recogida, con sus respectivos dispositivos de extensión. El largo de la torre está en función con la sarta de perforación.
- ✓ *Tiro de remolque*  
Es el mecanismo que va unido al tren de rodaje de la perforadora.
- ✓ *Motor*  
Para poder accionar todo el equipo de perforación se necesita un motor ya sea a combustión interna o con energía eléctrica como en el caso de algunos equipos soviéticos.

### **5.2 Perforación por rotación**

Estos equipos se caracterizan porque trabajan girando o rotando la broca, trícono o trépano perforador.

El sentido de la rotación debe ser el mismo usado para la unión o enrosque de las piezas que constituyen la sarta de perforación. Todas las brocas, trépanos o triconos, son diseñados para cortar, triturar o voltear las distintas formaciones que pueden encontrarse a su paso. Estas herramientas son diseñadas para cada tipo de formación o terreno.

El trabajo de perforación se realiza mediante la ayuda del lodo de perforación el cual desempeña las siguientes funciones: evita el calentamiento de las herramientas durante la operación, transporta en suspensión el material resultante de la perforación hacia la superficie del terreno y finalmente formar una película protectora en las paredes del pozo para de esta manera impedir el desmoronamiento o el derrumbe del pozo.

Un equipo de perforación por rotación motorizado típico, tiene las siguientes partes:

✓ *Mesa de rotación*

Su función es la de recibir la fuerza necesaria del motor para poder girar la sarta de perforación.

Estas mesas pueden ser accionadas por acople directo o por engranajes y son redondas con tamaño de acuerdo a la magnitud del equipo de perforación. En el centro lleva una abertura que puede ser cuadrada o hexagonal por la que pasa la barra giratoria llamada Kelly.

✓ *Barra giratoria o Kelly*

Es una barra generalmente cuadrada de 4" de lado y que pasa por el centro de la mesa rotatoria y recibe de esta el necesario movimiento giratorio para poder perforar.

El extremo inferior se acopla a las brocas y el extremo superior al eslabón giratorio llamado Swivel que lo soporta conjuntamente con toda la sarta de perforación.

La barra es de acero de alta dureza y es hueca por el centro (2"), para de esta manera permitir el paso del lodo de perforación hidráulico.

El Kelly puede subir, bajar o detenerse cuantas veces lo desee el perforador mediante el accionamiento de los controles respectivos.

✓ *Swivel o eslabón giratorio*

Es un mecanismo que va acoplado a la parte superior del Kelly, es una pieza hueca en el centro. Aquí se acopla la manguera que viene desde la bomba de lodos.

✓ *Drill pipe o tubería liviana de perforación*

Tubería construida con acero especial y se usa agregándose cada vez que se introduce el Kelly totalmente en el pozo y vuelve a sacarse, ya que de esta manera a dejado el espacio disponible para la tubería.

- ✓ *Drill collars o tubería pesada de perforación*  
También conocida como Botellas o Sobrepeso. Son tubos de 6" ó más y de 10' a 20' de largo y con un peso de 500 a 700 Kg. Su finalidad es aumentar el peso de la sarta de perforación y conseguir fácilmente el corte con los triconos.
- ✓ *Triconos o brocas de perforación*  
Las brocas tienen la función de desagregación de las rocas durante la perforación de un pozo. Existe una amplia gama de triconos y cada uno está diseñado para determinadas desagregar rocas con determinadas características mecánicas y abrasivas.
- ✓ *Bomba de lodos*  
Su función principal es tomar el lodo de perforación de la poza de lodos y llevarla por la manguera hacia el Kelly y al fondo del pozo.

El lodo asciende a la superficie llevando en suspensión el detritus de la perforación. Por un canal pasa al la poza de sedimentación donde se depositan por su propio peso partículas grandes y pesadas, arena, etc.

Del pozo de sedimentación el agua con menos material en suspensión pasa por medio de otro canal hacia el pozo principal donde nuevamente es bombeado al pozo, cerrando en ciclo.

- ✓ *Motor*  
Pueden ir acoplados al chasis del remolque o puede usarse el mismo motor del camión del equipo de perforación. La potencia depende de la magnitud del equipo de perforación.

La principal ventaja de este método es que es más rápido que el método a percusión.

## **6. Equipo de perforación manual**

### **6.1 Antecedentes**

Existen diversos métodos de perforación manual, la mayoría de los cuales son por percusión. Entre ellos tenemos:

- ✓ *Pala vizcacha*  
Es el modelo clásico manual para perforar pozos. Se perfora sin la inyección de líquidos, solamente escarbando en la tierra dando vuelta la broca mediante la manija. Una vez llena la broca hay que sacarla y vaciarla, sacando barra por barra afuera. Por ello es muy importante que las barras estén hechas de fácil conexión.
- ✓ *A golpes*  
Se usa en sedimentos blandos y consiste en usar tuberías de F°G° de diámetros de 1-1/2" generalmente, y con una punta de acero que a la vez es filtro. Las piezas de tubería son de 1 a 2 m y se golpean con un combo o con aparatos especiales hasta

hundirlo en el suelo y la profundidad que se puede alcanzar con este método está en los 20 m.

Los equipos de perforación manual con equipos artesanales tienen la ventaja de ser fáciles de construir y permiten perforar pozos de más de 70 m y a bajo costo.

Las limitaciones que se presentan están relacionadas a la calidad del suelo que se quiere perforar, la presencia de rocas o raíces duras no permiten el trabajo. Se obtienen bajos caudales lo que limita mayormente su uso para abastecimiento de agua de consumo humano a nivel unifamiliar o de pequeñas comunidades.

Pese a las limitaciones de estos equipos de perforación, en las zonas rurales donde las condiciones topográficas y la disponibilidad de agua superficial de buena calidad sanitaria, no permitan otra alternativa.

## **6.2 Equipo de perforación manual modelo CEPIS**

En los países de la subregión andina se viene utilizando en forma exitosa sistemas de perforación manual de tipo artesanal; sin embargo, cuando en zonas donde el acceso juega un papel importante en cuanto a costos y modalidad de transporte, se han tenido problemas que han obligado a fabricar torres de perforación en los mismos lugares de la perforación, elevando los costos en la aplicación de esta tecnología.

Como una manera de paliar este problema, la OPS/CEPIS en coordinación con agencias que trabajan con esta tecnología, han desarrollado modelos de torres de dos y tres cuerpos para enfrentar las dificultades presentadas.

### **6.2.1 Aplicaciones**

Las torres de perforación fueron diseñadas para las siguientes condiciones de trabajo:

- ✓ *Torre de tres cuerpos*
  - Para zonas de difícil transporte, caso de selva y otros lugares poco accesibles donde el acarreo se realiza en pequeñas embarcaciones o mediante el empleo de cargadores.
  - Ideal para terrenos areno-arcillosos, aunque no se descarta su empleo en terrenos conglomerados sin bolonería.
  - Profundidades de hasta 100 m en terrenos blandos.
  
- ✓ *Torre de dos cuerpos*
  - Para uso en zonas que cuentan con vehículos pequeños.
  - Ideal para terrenos areno-arcillosos, aunque no se descarta su empleo en terrenos conglomerados sin bolonería.
  - Profundidades de hasta 100 m en terrenos blandos.

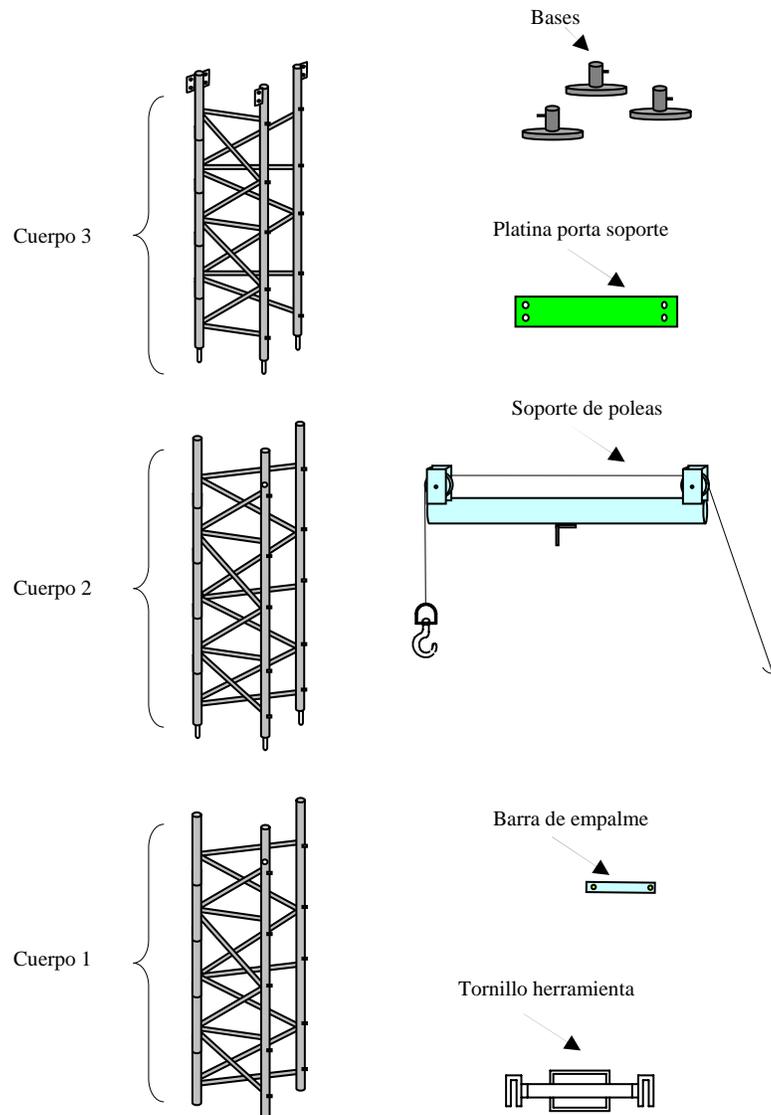
### **6.2.2 Características**

- ✓ Diseño y construcción: Materiales disponibles en el mercado local, secciones optimizadas mediante el análisis estructural, disponibilidad de especificaciones técnicas para la construcción.
- ✓ Operación: En forma manual, fácil ensamble y desensamble haciendo uso de la herramienta auxiliar, mínimo empleo de mano de obra.
- ✓ Mantenimiento: Mínimo y reducido a la limpieza de las partes luego de la perforación, engrase de uniones y juntas de ensamble, engrase de tornillo sinfín, revisión del desgaste de brocas y de la columna de perforación.
- ✓ Ventajas: Poco peso, alrededor de 50 kg incluyendo sus accesorios, fácil de transportar, velocidad de perforación de hasta 6 m por hora, caja de herramientas ad hoc y disponibilidad de planos y especificaciones para la construcción y montaje.
- ✓ Costos: Los costos de construcción de los modelos de dos y tres cuerpos, incluyendo la columna de perforación de 30 m, caja de herramientas y accesorios de ensamble y operación, ascienden respectivamente a US \$ 1000.00 y US \$ 1200.00
- ✓ Experiencias exitosas: El modelo de tres cuerpos fue probado con éxito en el departamento de Puno, Perú, con el apoyo de ADRA-PERU, lográndose perforar 22 pozos a una profundidad promedio de 25 m, alcanzándose velocidades de perforación de hasta 6 m por hora.

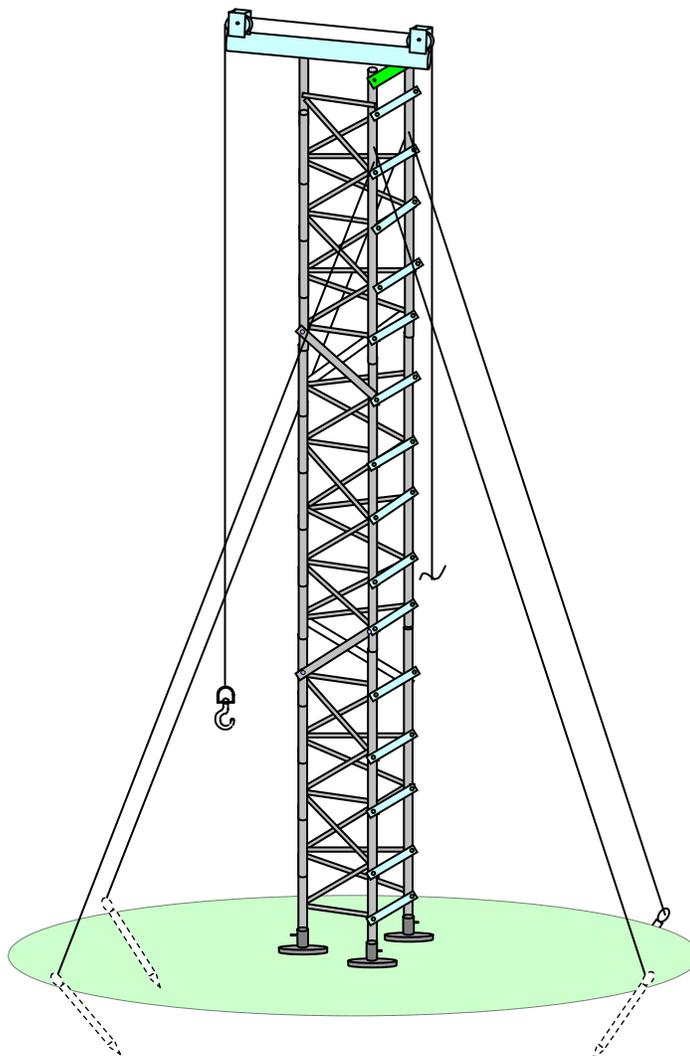
### **6.2.3 Componentes**

- ✓ Torre de perforación
  - Dos o tres cuerpos de 1.30 m cada uno, de acero A-53
  - Tres bases circulares de acero A-53
  - Un ángulo L de acero A-36
  - Un soporte de polea, de acero A-53
  - Barras con sus respectivos pernos
- ✓ Tubería de perforación
  - 30 tubos de fierro galvanizado de 3/4" x 2 m de largo, roscados en un extremo y con una unión simple en el otro extremo, acondicionados con pestañas de fierro soldadas que encajan en la manija.
- ✓ Manija
  - De fierro galvanizado de 1/2" x 0.50 m de largo con un dispositivo central abisagrado que permite encajar con las pestañas de los tubos de perforación, para posibilitar la acción de rotación de estos.
- ✓ Broca de perforación:
  - Construida con acero A-36, con diseño de acuerdo al tipo de terreno a perforar.

- ✓ Bomba de lodos
  - De tubo galvanizado, con cilindro de 2" de diámetro, se conecta con la tubería de perforación mediante una manguera plástica de 6 m de longitud.
- ✓ Accesorios
  - Cuerda (soga) de 35 m de nylon para tirantes de la torre y para jalar los tubos de perforación a través de la polea.
  - Cuatro estacas de acero estructural de 1" por 0.60 m, para anclar en el suelo los tirantes de la torre.
  - Una plancha de acero en forma de U, para facilitar el retiro de los tubos una vez concluida la perforación del pozo.
  - Un tornillo-herramienta que sirve para facilitar el armado y desarmado de los cuerpos de la torre.



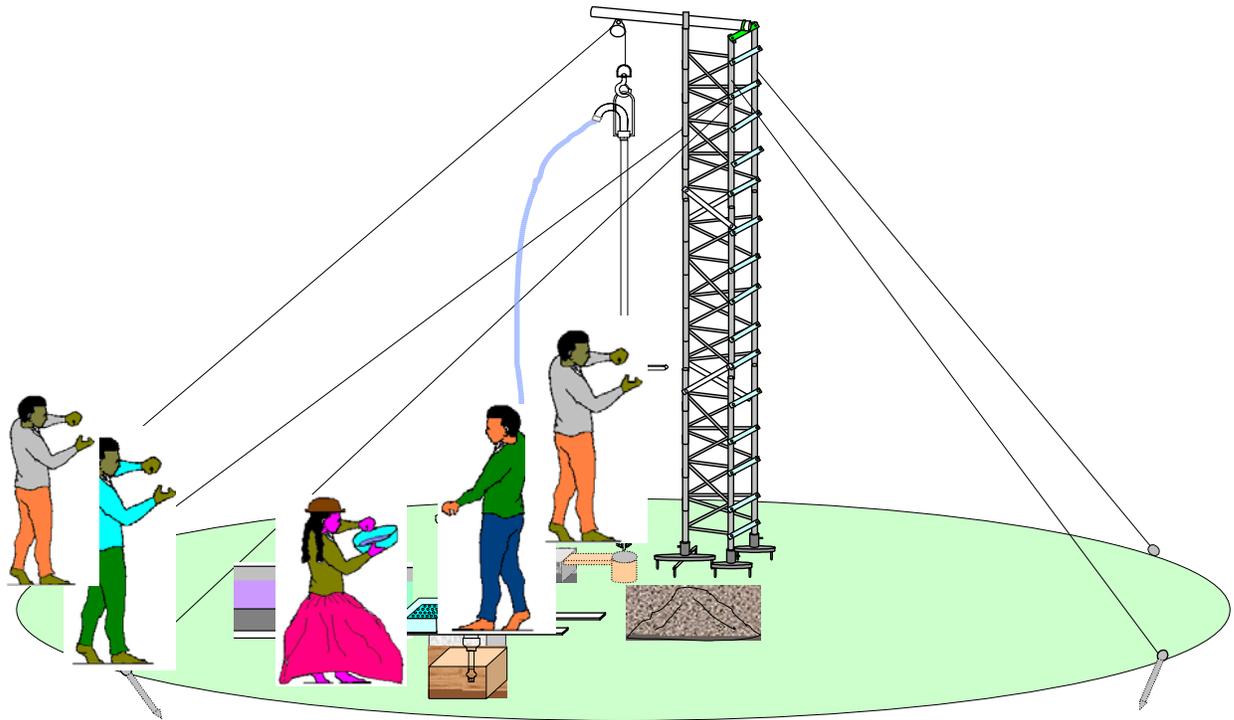
**Gráfico 4. Componentes de la torre de perforación**



**Gráfico 5. Torre de perforación ensamblada**

#### ***6.2.4 Procedimiento para la perforación***

Esta tecnología de perforación de pozos se basa en dos movimientos combinados: el de perforación y el de percusión, por medio de ellos se consigue soltar la tierra del fondo y usando tubos se consigue una recirculación de agua que fluye a presión por medio de una bomba de lodos, logrando desplazar la tierra suelta del fondo del pozo en forma continua.



**Gráfico 6. Operación del equipo de perforación manual**

**a) Ubicación del pozo**

Para desarrollar un proyecto de perforación de pozos es necesario predecir las características del subsuelo y de la calidad del agua a obtener, para ello debe tenerse en cuenta la siguiente información:

- Informes de mapas geológicos, de recursos hidráulicos y mapas topográficos.
- Informes de consultores y perforadores locales.
- Características superficiales de la zona, como corrientes de agua, manantiales y vegetación.
- Fuentes contaminantes: aguas residuales, basurales, letrinas.

Existen métodos predictivos de la existencia de recursos hídricos, tales como: (i) imágenes por satélite y fotografías aéreas, (ii) estudios de resistividad eléctrica y estudios sísmicos.

En el gráfico siguiente se muestra la ubicación sanitaria de los pozos.

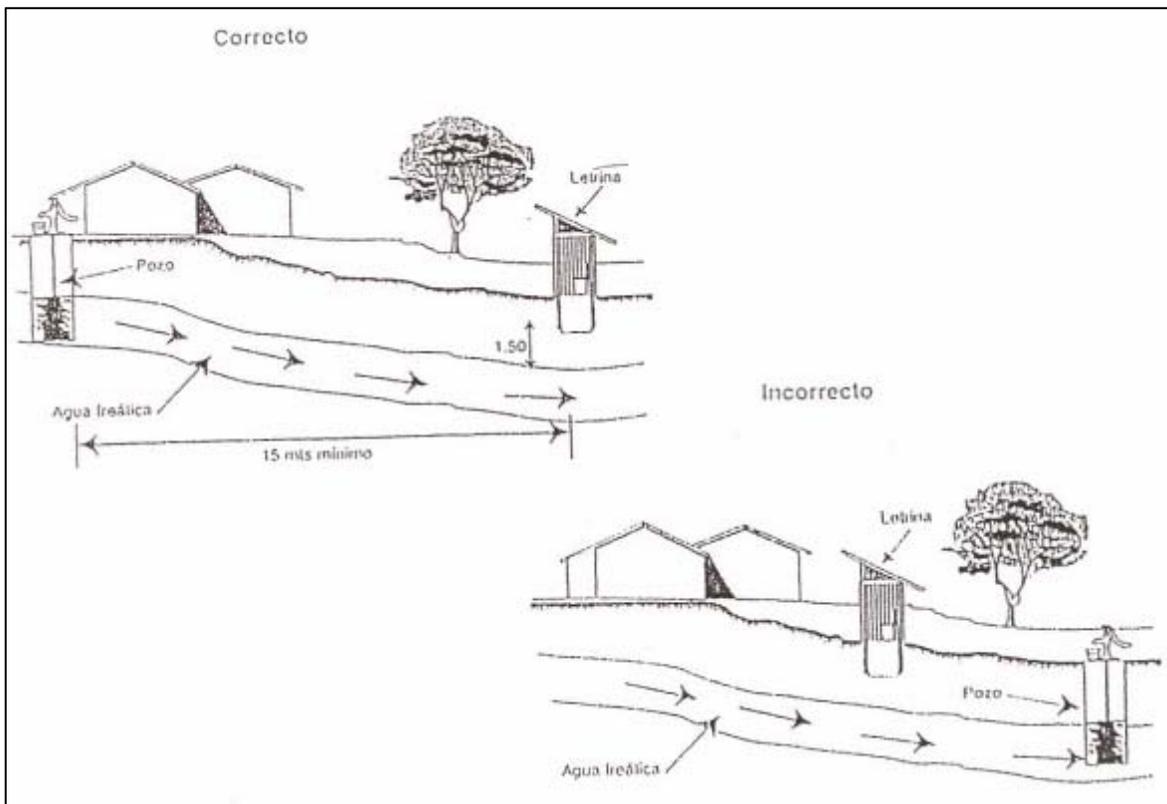
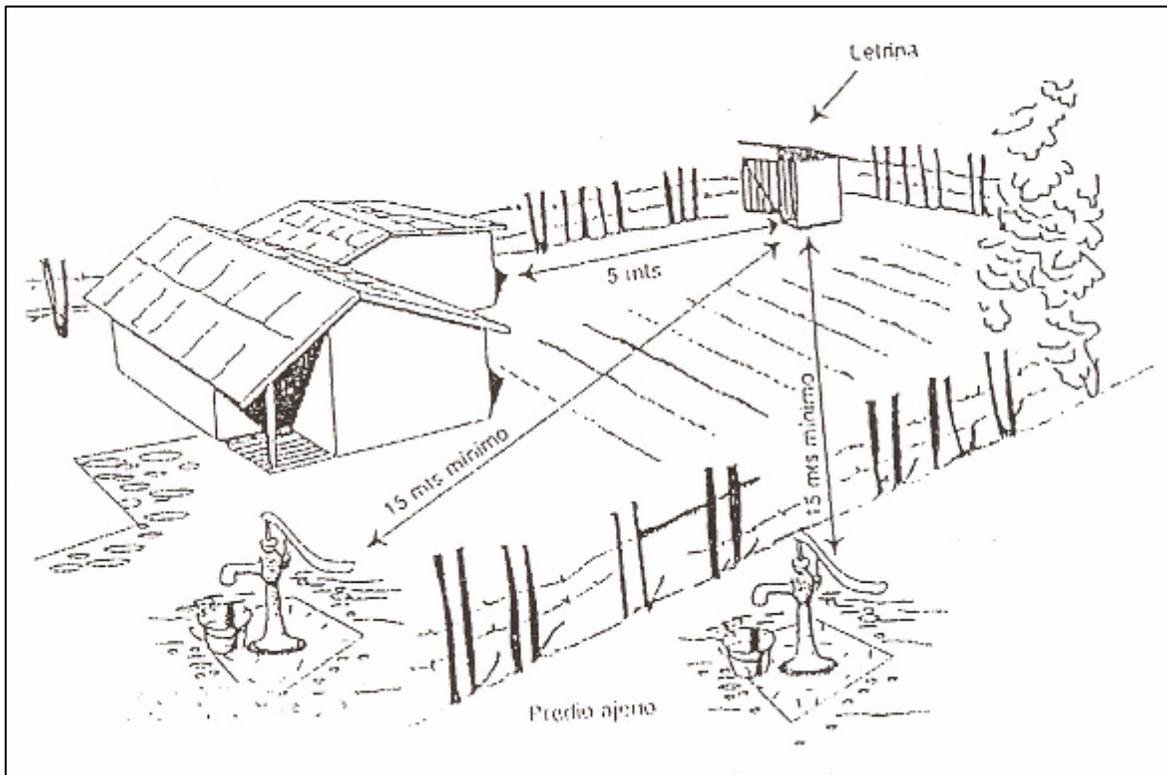


Gráfico 7. Ubicación sanitaria de pozos

## **b) Montaje del equipo**

Ubicado el lugar para el pozo, se procede a realizar lo siguiente:

- Verificación de todas las partes principales y accesorios del equipo de perforación, usando una lista de chequeo.
- Ensamble e instalación de la torre de perforación.
- Construcción de las pozas de sedimentación y la poza principal donde va instalada la bomba de lodos.
- Conexión de la bomba de lodos.

Cuando el terreno superficial es muy permeable se puede revestir las pozas con plástico laminado. Se debe tener por lo menos 50 kg de arcilla para optimizar el agua densa de acuerdo al perfil estratigráfico que estamos perforando.

## **c) Pre-perforación**

Dejamos caer libremente el primer tubo de la barra de perforación y la huella dejada por la punta de la broca nos indica la posición exacta del pozo.

En el punto indicado iniciamos la perforación en seco hasta llegar a unos 0,50 m. Este hoyo nos permite la estabilidad inicial de la barra de perforación e iniciar con buen pié la verticalidad del pozo.

Si la naturaleza del terreno lo permite, podemos obviar esta fase de pre-perforación.

## **d) Perforación**

Culminada la pre-perforación, se realiza el lavado del pozo, de la siguiente manera:

- Se construye el canal que une el pozo con la poza de sedimentación y la poza principal.
- Se llena el pozo con agua y se le introduce la barra con la broca. Se levanta la barra unos 50 cm y se deja caer con fuerza para que la broca se clave en el fondo, se gira media vuelta y se vuelve a levantar a la misma altura. Con el impulso y el giro la broca arranca material del fondo y se disuelve con el agua inyectada. El agua densa sale a la superficie extrayendo el material disuelto, el que se deja sedimentar en la poza de sedimentación.
- Cuando el manubrio llega hasta el borde superior del pozo, se procede a acoplar la siguiente barra de perforación y se repiten los pasos mencionados sucesivamente.

Respecto al agua que se emplea en la perforación, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Para perforar en arcilla basta usar agua limpia, pero en suelos arenosos el agua debe ser muy densa para taponar los grandes poros de terreno arenoso y evitar pérdida de

agua por infiltración, así como para dar estabilidad a las paredes del pozo a fin de evitar derrumbes al interior del pozo.

- El agua densa debe estar libre de materia orgánica, para evitar que esta se adhiera a las paredes y al descomponerse otorgue al agua un sabor desagradable. Por ello, siempre debe limpiarse el agua de la poza principal haciendo uso de la tela metálica.
- Se necesita experiencia para optimizar la densidad del agua densa, pero en general mientras más arcilloso sea el suelo a perforar menos densa será y mientras más arenoso sea el suelo a perforar más densa será el agua. Es importante inyectar el agua permanentemente por que al dejar de hacerlo en el fondo del pozo se formaría un barro duro que retiene la broca.
- Si las condiciones del terreno lo permiten, debemos inyectar agua limpia al pozo a través de la barra de perforación para sacar el agua densa desde el fondo del hoyo. Una vez que ya sale agua clara podemos retirar los tubos de la barra de perforación, tubo por tubo para evitar que caigan al fondo del pozo y se pierdan malogrando todo el esfuerzo.

Cuando llegamos al acuífero adecuado, se puede escuchar a través de la transmisión sonora de la barra metálica, el raspado áspero que hace la broca en la arena gruesa que en sus poros contiene el agua que buscamos. Debe penetrarse por lo menos 5 m en el acuífero encontrado, dando para dar por terminada la perforación del pozo.

Los problemas comunes que se presentan en la perforación de pozos son:

- Derrumbe del pozo: Para disminuir este riesgo debe procurarse que el agua tenga una densidad adecuada.
- Rotura de las uniones de la barra de perforación: Muchas veces causa la pérdida de la barra de perforación, se puede evitar revisando siempre las uniones de los tubos y realizando buenos ajustes al momento del acople.
- Consumo excesivo del agua densa: Es posible que existan grietas en el subsuelo, por donde escapa el agua.
- Desviación del pozo: La verticalidad de los pozos es importante, pero en nuestro caso hasta los primeros 50 m es insignificante la desviación. Además las bombas que usan tuberías más flexibles que la de PVC utilizada para el entubado del pozo.

#### **e) Entubado del pozo**

Concluida la perforación del pozo se procede al retiro de la barra de perforación, tubo por tubo y con mucho cuidado para evitar la caída de las barras al fondo del pozo.

El filtro debe estar preparado previamente. En dos costados se cortan con sierra las ranuras de penetración, por las que pasará el agua desde el acuífero hacia el pozo. Es mejor usar una sierra de corte ancho para aumentar el área de filtración. Es suficiente que cada corte llegue a pasar apenas la pared del tubo.

Para que las ranuras queden alineadas, es necesario rayar primero la tubería.

El tubo del filtro lleva en la parte inferior un tapón hecho con el mismo material del entubado y debe ser en punta para facilitar la introducción en el pozo. Sobre el tubo ranurado, se coloca una manga de tela poliéster para evitar que penetre arena al pozo.

El filtro acondicionado, se hunde en la perforación. Para introducirlo es necesario empujar con fuerza, por que la tela no deja penetrar por el filtro el agua espesa que ha quedado en el hueco de la perforación. El filtro se llena con agua para disminuir el empuje ascendente.

Los tubos siguientes se van uniendo al filtro con pegamento y cuando la punta del filtro llega al fondo de la perforación, el pozo ha quedado entubado dejando 50 cm de tubo sobre la superficie del terreno.

#### **f) Limpieza del pozo**

Terminado el entubado se continúa con la limpieza del pozo para expulsar el agua espesa.

Se inyectan aproximadamente 150 litros de agua limpia, haciendo uso de la bomba manual conectada herméticamente al tubo del pozo. Así obligamos que el agua salga por el filtro expulsando el agua espesa desde el fondo hacia la superficie, cuando el agua que sale es clara entonces el pozo ya está limpio.

Preparamos la arena gruesa, unos dos baldes de 20 litros y agregamos alrededor del tubo, llega rápidamente al fondo y cubre el espacio entre el tubo-filtro y la pared del pozo. El agua pasará a través de la arena y el filtro hacia el pozo entubado.

#### **g) Activación del pozo**

Transcurrido el tiempo de espera, se introduce en el pozo la manguera aspiradora. La manguera aspiradora es un tubo de polietileno de ½" o ¾" con longitud suficiente para llegar al fondo del pozo. En el extremo que se introduce al pozo tiene una manguera de retención.

No conviene llenar al tope de arena alrededor del pozo por que se corre el riesgo que desde los estratos superiores o superficie, se infiltre agua sucia hacia el agua subterránea que queremos aprovechar. Por esta razón la parte restante se rellena con arena gredosa.

Mientras baja la arena y se acomoda alrededor del filtro, pasan por lo menos 5 horas. Hasta que transcurra ese tiempo no conviene empezar el bombeo de limpieza y el ensayo del pozo.

Al inicio se introduce la manguera unos 5 m y se procede a realizar movimiento ascendente y descendente con impulso fuerte en un tramo de 50 cm, al meter la manguera sale un buen chorro de agua. Cuanto más rápido sean los movimientos más agua sale por esta sencilla bomba.

Al principio sale el agua que se ha inyectado al lavar el pozo y es un poco clara, luego sale agua muy turbia lo que indica que el agua subterránea sale hacia el filtro arrastrando material gredoso.

Después de bombear de esta manera unos 500 litros, el agua sale ya bastante limpia, indicando que el acuífero está lavado.

A veces sucede que después de unos cuantos bombeos se seca el pozo. En estos casos se tapa la salida de la manguera aspiradora, se la introduce hasta la zona del filtro y se hacen los movimientos ya descritos con la mayor fuerza posible. Se repite estos movimientos unas veinte veces. Así se ejerce presiones y depresiones en el acuífero, forzando la entrada y salida de agua de la porosidad, con lo que se lava el material gredoso que obstaculiza el paso del agua hacia el pozo. Luego se destapa la salida y se bombean unos 5 litros, se repite la operación hasta que el pozo responda con agua bajo bombeo continuo.

En promedio los pozos obtenidos mediante el empleo de la tecnología de perforación manual, rinden de 1 m<sup>3</sup> a 4 m<sup>3</sup> por hora (0,3 a 1,1 litros por segundo).

Con el pozo limpio y activado se procede a la instalación de la bomba.

## **7. Referencias bibliográficas**

- Módulo 1 Perforación Manual de pozos. Luis Terán, 2002. Perú.
- Módulo de capacitación dirigido a maestros perforistas y obreros de saneamiento básico. Escuela Móvil Aguas y Saneamiento Básico. Wolfgang Buchner. 3ª edición, 1998.
- Curso de conocimientos básicos sobre aguas subterráneas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Perú.1981.
- El agua subterránea y los pozos. Edward Johnson. 1ª edición. 1975.
- Perforación de pozos. Universidad Nacional de Asunción, Organización Panamericana de la Salud. Uruguay. 1971.
- Curso para perforadores de pozos. Ministerio de Trabajo Previsión Social y Salud Pública, Universidad de Panamá.1966.