

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT WASHINGTON, D C 20523 <b>BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET</b>		FOR AID USE ONLY BATCH 80	
1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY	Science and technology	TC00-0000-0000
	B. SECONDARY	Applications	
2. TITLE AND SUBTITLE Manual de los pozos pequenos			
3. AUTHOR(S) Gibson,U.P.; Singer,R.D.			
4. DOCUMENT DATE 1969		5. NUMBER OF PAGES 192p. 196p.	6. ARC NUMBER ARC
7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS AID/LA/RTAC; AID/TA/H			
8. SUPPLEMENTARY NOTES ( <i>Sponsoring Organization, Publishers, Availability</i> ) (In English and Spanish; English,162p.:PN-AAD-375)			
9. ABSTRACT			
10. CONTROL NUMBER PN-AAF-366		11. PRICE OF DOCUMENT	
12. DESCRIPTORS Manuals Water wells		13. PROJECT NUMBER	
		14. CONTRACT NUMBER AID/LA/RTAC	
		15. TYPE OF DOCUMENT	

**MANUAL DE  
LOS POZOS  
PEQUEÑOS**



Las fuentes acuíferas del subsuelo representan más del 97% del agua potable existente en suelo firme (excepción hecha de glaciares y capas polares); las cantidades naturalmente recuperables que logran extraerse excederían con mucho a las superficiales existentes, contenidas en ríos, lagos y presas.

La investigación moderna proporciona actualmente amplia información sobre los procesos de origen, circulación y renovación del agua potable subterránea, permitiendo la utilización de mejores métodos para su descubrimiento, logro y conservación; lo cual la despoja del halo de misterio que en el pasado la rodeó, ocasionado por su localización oculta, la particular problemática de su extracción y el desconocimiento, hasta entonces, de técnicas adecuadas.

El presente manual es una magnífica guía para la exploración y localización de capas acuíferas; métodos de perforación y bombeo; limpieza y desinfección; así como para la conservación, mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de los pozos ya existentes.

PN-  
Eng. AHO-375  
PN-AAF-366

## **MANUAL DE LOS POZOS PEQUEÑOS**

**Esta publicación es traducción de SMALL WELLS MANUAL, editada originalmente en inglés por el Servicio de Salud, Oficina de Guerra contra el Hambre, (A. I. D.)**

**La edición original de esta publicación y su traducción del inglés estuvieron a cargo del Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional, (A. I. D.) 1969 y se reproduce de acuerdo con un convenio celebrado con dicha Agencia del Departamento de Estado del Gobierno de los Estados Unidos de América.**

**Primera edición: 1971**

Eng. PN-AAA-375

# MANUAL DE LOS POZOS PEQUEÑOS

Localización, diseño, construcción, uso y conservación

Ulric P. Gibson, B. Sc. Hons. (Ingeniero Civil), M.S., M.I.C.E.  
División de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública, Universidad de Minnesota.  
Ex-Ingeniero Ejecutivo, Abastecimiento de Agua, Zonas Rurales, Ministerio de Obras  
Públicas e Hidráulica, Guyana.

Rexford D. Singer, B. S. C. E., M. S.,  
División de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública,  
Universidad de Minnesota.

Servicio de Salud  
Oficina de Guerra contra el Hambre  
Agencia para el Desarrollo Internacional  
Washington, D. C., E. U. A.



**EDITORIAL LIMUSA**  
**MEXICO** **1976**

**Todos los derechos reservados:**

**© 1974, EDITORIAL LIMUSA, S. A.**  
**Arcos de Belén Núm. 75, México 1, D. F.**  
**Miembro de la Cámara Nacional de la**  
**Industria Editorial. Registro Núm. 121**

**Segunda edición: 1974**

***Primera reimpresión: 1976***

***Impreso en México***

**(1880)**

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su aprecio al Servicio de Salud, Oficina de Guerra contra el Hambre, Agencia para el Desarrollo Internacional, E.U.A., por hacer posible la publicación de este manual. Particularmente estamos en deuda con la División Johnson de Universal Oil Products Company, St. Paul, Minnesota por su consejo y asistencia en la preparación del manuscrito y por su contribución en información e ilustraciones valiosas, y al señor Arpad Rummy por la preparación de muchas de las ilustraciones. También deseamos expresar sincera gratitud a todas las personas que aportaron comentarios, sugerencias y ayuda, o quienes ofrecieron su tiempo para revisar rigurosamente el manuscrito.

En la preparación de este manual, se intentó reunir información y material de diversas fuentes. Nos esforzamos por dar el crédito apropiado para el uso directo del material de estos orígenes, y cualquier omisión de tal crédito no es intencional.

## PREFACIO

Se ha estimado que casi dos terceras partes de los mil quinientos millones de personas que viven en los países en desarrollo se encuentran sin suministro adecuado de agua sana. Las consecuencias de esta deficiencia son episodios innumerables de las debilitadoras e incapacitadoras enfermedades entéricas que afectan anualmente una población estimada de 500 millones de personas y ocasionan las muertes de unos 10 millones, de los cuales aproximadamente la mitad son niños.

Aunque hay muchos factores que limitan la instalación de pequeños sistemas de agua, la falta de conocimientos sobre la existencia de agua en el subsuelo y los medios eficaces para extraerla y usarla en las comunidades rurales, es un elemento importante. Se espera que este manual hará una contribución importante hacia el cumplimiento de esta necesidad, proporcionando a quien trabaja en este campo sin ser necesariamente ingeniero o hidrólogo, la información necesaria para localizar, construir y accionar un pozo pequeño que pueda suministrar agua de buena calidad en cantidades adecuadas para comunidades pequeñas.

La Agencia para el Desarrollo Internacional se enorgullece en cooperar con la Universidad de Minnesota haciéndoles llegar este manual.



Arthur H. Holloway  
Ingeniero Sanitario  
Servicio de Salud, Oficina de  
Guerra contra el Hambre  
Agencia para el Desarrollo Internacional.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Página
<b>RECONOCIMIENTOS</b>	III
<b>PREFACIO</b>	V
<b>1. INTRODUCCION</b>	1
PROPOSITO	1
OBJETIVO	1
<b>FACTORES DE SALUD PUBLICA Y SIMILARES</b>	1
Importancia de los suministros de agua. Importancia del agua del subsuelo. Necesidad del desarrollo y manejo adecuados de los recursos de agua del subsuelo.	1-3
<b>2. ORIGEN, EXISTENCIA Y CIRCULACION DEL AGUA DEL SUBSUELO</b>	5
<b>EL CICLO HIDROLOGICO</b>	5
<b>DISTRIBUCION DEL AGUA DEL SUBSUELO</b>	5
Zona de aireación. Zona de saturación.	7
<b>FORMACIONES GEOLOGICAS COMO ESTRATOS ACUIFEROS</b>	8
Clasificación de las rocas. Papel de los procesos geológicos en la formación acuífera.	8-11
<b>FLUJO DEL AGUA DEL SUBSUELO E HIDRAULICA ELEMENTAL DE POZOS</b>	13
Tipos de capas acuíferas. Funciones de las capas acuíferas. Factores que afectan la permeabilidad. Flujo hacia los pozos.	13-14-17-19
<b>CALIDAD DEL AGUA DEL SUBSUELO</b>	26
Calidad física. Calidad microbiológica. Calidad química.	26-27
<b>3. EXPLORACION DEL AGUA DEL SUBSUELO</b>	33
<b>DATOS GEOLOGICOS</b>	34
Mapas geológicos. Secciones transversales geológicas. Fotografías aéreas.	34-35
<b>INVENTARIO DE POZOS EXISTENTES</b>	36
<b>INDICIOS EN LA SUPERFICIE</b>	37
<b>4. DISEÑO DE POZOS DE AGUA</b>	39
<b>SECCION ENTUBADA</b>	40
<b>SECCION DE ADMISION</b>	41
Tipo y construcción de la rejilla. Longitud de la rejilla, tamaño y diámetro de las aberturas.	41-47

	Página
<b>SELECCION DE LOS MATERIALES PARA EL REVESTIMIENTO Y LA REJILLA</b>	56
Calidad del agua. Requerimientos de resistencia. Costo. Diversos.	57-59
<b>EMPAQUE CON GRAVA Y ESTABILIZACION DE LA FORMACION</b>	60
Empaque con grava. Estabilización de la formación.	61-62
<b>PROTECCION SANITARIA</b>	62
Terminal superior. Terminal inferior del entubado. Enlucido y sellado del entubado.	62-64
<b>5. CONSTRUCCION DEL POZO</b>	66
<b>METODOS DE PERFORACION DEL POZO</b>	66
Barrenado. Hinca. Método del chorro. Percusión hidráulica. Achicador. Rotación hidráulica. Percusión por cable y herramienta.	66-67-69-71-72-80
<b>INSTALACION DEL ENTUBADO DEL POZO</b>	84
<b>ENLUCIDO Y SELLADO DEL ENTUBADO</b>	85
<b>ALINEACION DEL POZO</b>	88
Factores que afectan la alineación de un pozo. Medición de la alineación del pozo.	89-90
<b>INSTALACION DE LAS REJILLAS DEL POZO</b>	91
Método de retroceso. Método de agujero abierto. Método de lavado. Puntas de pozo. Pozos empacados artificialmente con grava. Recuperación de rejillas de pozo.	91-94-96-98-99-101
<b>OPERACIONES DE PESCA</b>	103
Medidas preventivas. Preparativos de la pesca. Herramientas y operaciones comunes de pesca.	104-106-108
<b>6. TERMINACION DEL POZO</b>	115
<b>DESARROLLO DEL POZO</b>	115
Limpieza mecánica por oleaje. Lavado por retroceso. Desarrollo de pozos empacados con grava. Agentes dispersantes.	118-121-124
<b>DESINFECCION DEL POZO</b>	125
<b>7. CONSERVACION Y REHABILITACION DE POZOS</b>	127
<b>FACTORES QUE AFECTAN EL BUEN RENDIMIENTO DEL POZO</b>	127
<b>PLANEACION</b>	128
<b>OPERACIONES DE MANTENIMIENTO</b>	130
Tratamiento con ácido. Tratamiento con cloro. Agentes dispersantes.	130-133-134
<b>INSTALACION DE LA PUNTA EN UN POZO CAVADO.</b>	135

	Página
<b>8. EQUIPO DE BOMBEO</b>	<b>136</b>
<b>BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO CONSTANTE</b>	<b>139</b>
Bombas de émbolo de movimiento alterno. Bombas rotatorias. Bombas de rotor helicoidal.	139-142
<b>BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO VARIABLE</b>	<b>143</b>
Bombas centrífugas. Bombas de chorro.	147
<b>BOMBAS DE POZO PROFUNDO</b>	<b>148</b>
Bombas de eje maestro. Bombas sumergibles.	148-150
<b>CEBADO DE BOMBAS</b>	<b>150</b>
<b>SELECCION DE LA BOMBA</b>	<b>151</b>
<b>SELECCION DE LA FUENTE DE ENERGIA</b>	<b>153</b>
Energía humana. Viento. Electricidad. Máquina de combustión interna.	154-155
<b>9. PROTECCION SANITARIA DE LOS DEPOSITOS DE AGUA DEL SUBSUELO</b>	<b>159</b>
<b>LA CONTAMINACION SE TRANSMITE POR LOS SUELOS</b>	<b>159</b>
<b>LOCALIZACION DE POZOS</b>	<b>161</b>
<b>SELLADO DE POZOS ABANDONADOS</b>	<b>163</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>164-165</b>
<b>AGRADECIMIENTO POR LAS ILUSTRACIONES</b>	<b>165</b>
<b>APENDICES.</b>	
<b>APENDICE A. MEDICION DE LA PERMEABILIDAD</b>	<b>166</b>
<b>APENDICE B. TABLAS Y FORMULAS UTILES</b>	<b>168</b>
<b>INDICE</b>	<b>177</b>



# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

### PROPOSITO

Este manual trata de servir como libro de texto básico de introducción y para proporcionar instrucción y guía al personal práctico encargado de la construcción, operación y mantenimiento de pozos de diámetro pequeño, relativamente poco profundos, empleados primordialmente como abastecimientos de agua para particulares y comunidades pequeñas.

Está dirigido particularmente a aquellas personas que han tenido poca o ninguna experiencia en el asunto. Se hizo un intento de tratar el tema lo más sencillamente posible, a fin de que este manual sea benéfico no solamente al ingeniero, u otros individuos técnicamente adiestrados (sin experiencia en este campo) sino, también, al propietario de una casa particular, al granjero o al delegado de desarrollo de la comunidad no adiestrado técnicamente. Este manual debe, también, probar su utilidad para el adiestramiento de perforadores de pozos de agua, proporcionando el respaldo material complementario a su experiencia en el terreno. El lector que se interese por adentrar más en el tema y con respecto a pozos mayores y de más profundidad, deberá consultar la lista de referencias que se encuentra al final de este manual.

### OBJETIVO

Este manual abarca la exploración y el desarrollo de las fuentes de agua del suelo en *formaciones no consolidadas*, principalmente para la provisión de pequeñas fuentes de agua potable. Este objetivo se ha limitado a la consideración de pequeños pozos, de tubo hasta de *4 pulgadas* (102 mm.) *de diámetro*, un máximo de aproximadamente *100 pies* (30.4 m.) *de profundidad* y con rendimientos hasta de *50 galones* (189.25 litros) *por minuto*. (Todas las referencias se dan en unidades de Estados Unidos de América. Las tablas de conversión se encuentran en el Apéndice B.) La localización, diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación de tales pozos están comprendidos entre los distintos aspectos que se discuten. La limitación antes citada al tamaño de los pozos (diámetro) elimina los pozos excavados en favor de otros mucho más eficaces y fáciles de proteger: los de tubo, perforados; hincados o de chorro. Sin embargo, se discute un método para convertir los pozos excavados existentes en pozos de tubo.

### FACTORES DE SALUD PUBLICA Y SIMILARES

#### Importancia de los suministros de agua

El agua es, con la excepción del aire, la substancia más importante

para la supervivencia del hombre. El hombre, como todas las otras formas de vida biológica, depende en extremo del agua, y puede sobrevivir mucho más tiempo sin alimento que sin agua. Las cantidades de agua requeridas directamente para el funcionamiento adecuado de los procesos del cuerpo son relativamente pequeñas pero esenciales.

Si bien el hombre ha reconocido siempre la importancia del agua para las necesidades internas de su cuerpo, el reconocimiento de esta importancia para la salud es un descubrimiento más reciente, que data solamente de un siglo aproximadamente. Desde entonces, se ha aprendido mucho acerca del papel de los suministros de agua inadecuados y contaminados en la diseminación de las enfermedades transmitidas por el agua. Entre las primeras que se reconocieron como tales se encuentran el cólera y la fiebre tifoidea. Más tarde, la disentería, la gastroenteritis y otras enfermedades diarreicas se agregaron a la lista. Más recientemente, se demostró también que el agua desempeña un papel importante en la transmisión de ciertas enfermedades vitales, tales como la hepatitis infecciosa.

El agua interviene en la diseminación de enfermedades transmisibles esencialmente en dos formas. La primera es la bien conocida ingestión directa del agente infeccioso al beber agua contaminada (por ejemplo, disentería, tifoidea y otras enfermedades gastrointestinales). La segunda se debe a la falta de agua suficiente para propósitos de higiene personal. Se ha demostrado que cantidades inadecuadas de agua para el mantenimiento de la higiene personal y el saneamiento del ambiente son factores primordiales en la diseminación de enfermedades tales como el pián y el tifo. Las cantidades adecuadas de agua para la higiene personal también disminuyen la probabilidad de transmitir algunas de las enfermedades gastrointestinales antes mencionadas. El último tipo de interacción entre el agua y la transmisión de la enfermedad ha sido reconocido por varias organizaciones de salud pública en los países en desarrollo que han tratado de proporcionar cantidades adecuadas de agua de calidad razonable, aunque no enteramente satisfactoria, a sus habitantes.

Los problemas de salud relacionados con lo inadecuado de los suministros de agua son universales pero, generalmente, de mayor magnitud e importancia en los países subdesarrollados y en desarrollo. Se ha estimado que aproximadamente dos terceras partes de la población de los países en desarrollo obtienen su agua de fuentes contaminadas. La Organización Mundial de la Salud estima que cada año 500 millones de personas sufren de enfermedades contraídas a través de los suministros de agua insalubre. Debido en gran parte a los suministros deficientes de agua, se estima que 5.000.000 de niños mueren cada año por causa de enfermedades diarreicas.

Además del consumo humano y los requerimientos de salud, el agua también es necesaria para la agricultura, la industria y otros propósitos. Aunque todas estas necesidades son importantes, el agua para el consumo

e higiene humanos es considerada como de la mayor importancia social y económica, ya que la salud de la población influye en todas las actividades.

### **Importancia del agua del subsuelo**

En general, puede decirse que el agua del subsuelo ha desempeñado un papel mucho menos importante en la solución de los problemas del abastecimiento de agua para el mundo de lo que su relativa abundancia indicaría. Su localización oculta y la falta de conocimiento con respecto a su existencia, circulación y captación, ha contribuido, sin duda, grandemente a esta situación. La adquisición y divulgación creciente de conocimientos respecto a captaciones del agua del subsuelo permitirá, gradualmente, que esta fuente de agua adquiera su grado de importancia y utilidad.

Más del 97 por ciento del agua potable en nuestro planeta (excluyendo la de las capas de hielo polar y los glaciares) se encuentra bajo tierra. Si bien no es práctico extraer toda esa agua por razones económicas y de otro tipo, las cantidades recuperables excederían, sin duda, los depósitos existentes de agua potable de la superficie que se encuentran en ríos y lagos.

Las fuentes de agua del subsuelo también representan la que está, esencialmente, en almacenamiento, mientras que el agua en los ríos y lagos está, generalmente, en circulación, siendo reemplazada varias veces al año. La cantidad disponible de agua de superficie en cualquier punto dado está también más sujeta a fluctuaciones periódicas que la del subsuelo. En muchas zonas, la extracción del agua del subsuelo puede prolongarse mucho tiempo después que las sequías han agotado completamente los ríos. Las fuentes de agua del subsuelo son, por lo tanto, abastecimientos de agua más confiables en muchas circunstancias.

Como se verá en el Capítulo 2, las aguas del subsuelo son, usualmente, de mucha mejor calidad que las aguas superficiales, debido a las ventajas de la filtración a través del suelo. Con mucha frecuencia, el agua del subsuelo es, también, más fácilmente accesible donde se necesita, requiriendo menos transporte y, generalmente, obteniéndose a menor costo. En consecuencia debe hacerse notar la importancia de la captación y uso de fuentes de agua del subsuelo muy extensas localizadas en todo el mundo.

### **Necesidad del desarrollo y manejo adecuado de las fuentes de agua del subsuelo**

Mientras algunos depósitos de agua del suelo se vuelven a llenar año tras año por la infiltración de la precipitación pluvial, los ríos, los canales etc., etc., otros se recuperan en grado mucho menor o no lo hacen nunca. La extracción del agua de estos últimos depósitos da por resultado un continuo agotamiento o explotación del agua.

A menudo, el agua del suelo también se infiltra hacia las corrientes, proporcionando así el flujo de base que subsiste durante el período de sequía del año. Recíprocamente, si el nivel de las aguas superficiales en los

arroyos es más alta que la de los depósitos de agua del subsuelo, la filtración tiene lugar en dirección opuesta, desde los arroyos hacia los depósitos de agua del subsuelo. Por lo tanto, el uso no controlado del agua del suelo puede afectar los niveles de las corrientes y los lagos y, consecuentemente, los usos a los cuales están normalmente destinados.

La captación del agua del subsuelo presenta problemas especiales. La falta de soluciones a estos problemas, en el pasado, contribuyó a crear el misterio que rodeó la captación del agua del subsuelo y al uso limitado que se le dio a ésta. La captación y manejo adecuados de las fuentes de agua del suelo requiere un conocimiento de la extensión de la reserva, los grados de descarga de los depósitos subterráneos y su recarga, y el uso de medios económicos de extracción. Puede ser indispensable idear medios artificiales para volver a cargar estos depósitos donde no existen fuentes naturales, o para complementar la recarga natural. La investigación, en años recientes, ha aumentado considerablemente nuestro conocimiento de los procesos que intervienen en el origen y circulación del agua del subsuelo y nos ha proporcionado métodos mejores de captación y conservación de los abastecimientos de esa agua. La prueba de este mayor conocimiento se encuentra en la mayor importancia que se ha dado a la captación del agua del subsuelo.

## CAPITULO 2

### ORIGEN, EXISTENCIA Y CIRCULACION DEL AGUA DEL SUBSUELO

El conocimiento de los procesos y factores que afectan el origen, la existencia y la circulación del agua del subsuelo, es esencial para la captación y usos adecuados de las fuentes de dicha agua. Es importante, para determinar un grado satisfactorio de extracción y usos apropiados del agua, conocer la cantidad presente, su origen, la dirección y grado de circulación hasta su punto de descarga, el grado de descarga y el de reposición así como su calidad. Estos puntos se consideran en este capítulo en una forma tan sencilla y limitada como lo permiten los objetivos y el alcance de este manual.

#### **EL CICLO HIDROLOGICO**

Ciclo hidrológico es el nombre que se 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 (Figura 2.1).

La evaporación, que tiene lugar en la superficie del agua de los océanos y otras masas abiertas de agua, da por resultado la transferencia de vapor de agua a la atmósfera. En ciertas condiciones, este vapor se condensa para formar nubes, las cuales, subsecuentemente, liberan su humedad como precipitación en forma de lluvia, granizo, cellizca o nieve. La precipitación puede ocurrir sobre los océanos regresando algo del agua directamente a ellos o sobre la tierra, en la que los vientos han transportado previamente la humedad del aire y las nubes. Parte de la lluvia que cae en la tierra se evapora retornando inmediatamente la humedad a la atmósfera. Del resto, una parte, alcanzando la superficie del suelo la moja y fluye hacia las corrientes superficiales y desembocan finalmente en el océano, mientras otra parte se filtra en el suelo y, entonces, se percola hacia el flujo del agua del suelo a través del cual llega, más tarde, hasta el océano. La evaporación regresa parte del agua de la superficie de la tierra mojada a la atmósfera, mientras que las plantas extraen algo de esta porción en el suelo mediante sus raíces, y en virtud de un proceso conocido como transpiración, la devuelven a la atmósfera a través de sus hojas.

#### **DISTRIBUCION DEL AGUA DEL SUBSUELO**

El agua del subsuelo que se encuentra en los intersticios o poros de las rocas se puede dividir en dos zonas principales (Figura 2.2). Estas son las *zonas de aireación y la de saturación*.

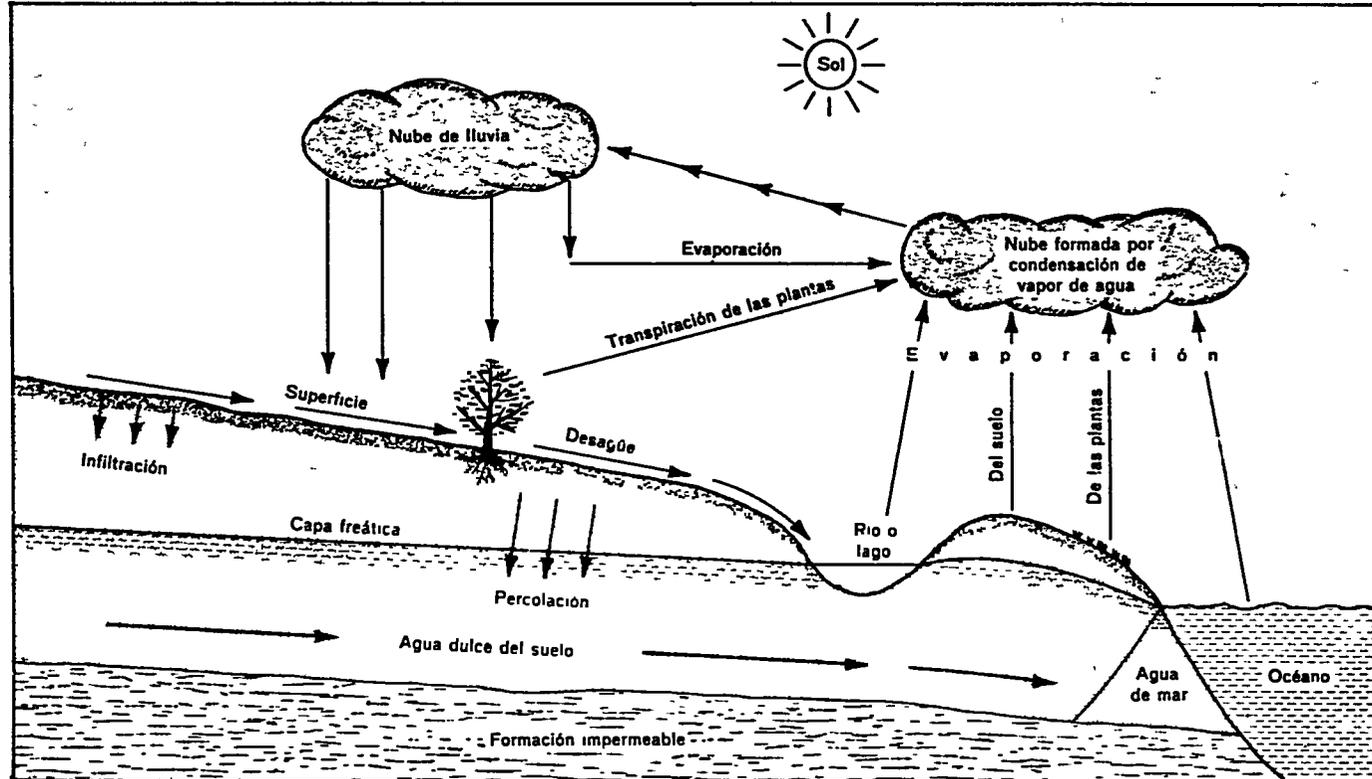


Figura 2.1 EL CICLO HIDROLOGICO.

### Zona de aireación

La zona de aireación se extiende de la superficie de la tierra al nivel al cual todos los poros o espacios abiertos en los componentes de la tierra se encuentran completamente llenos o saturados de agua. Una mezcla de

aire y agua se encuentra en los poros en esta zona, y de aquí su nombre. Se puede subdividir en tres capas. Estas son (1) la capa de agua de suelo, (2) la capa intermedia y (3) el borde capilar.

La *capa de agua del suelo* yace inmediatamente debajo de la superficie, y ésta es la región de la que las plantas extraen, por medio de sus raíces, la humedad necesaria para su desarrollo. El grueso de la capa difiere grandemente según el tipo de suelo y vegetación, variando de unos cuantos pies (30.5 cm.) en las tierras compactas y las áreas de cultivo, hasta varios pies en los bosques y tierras que soportan plantas de raíces profundas.

El *borde capilar*, ocupa la porción del fondo de la zona de aireación y yace inmediatamente sobre la zona de saturación. Su nombre procede del hecho de que el agua, en esta capa, está suspendida por fuerzas

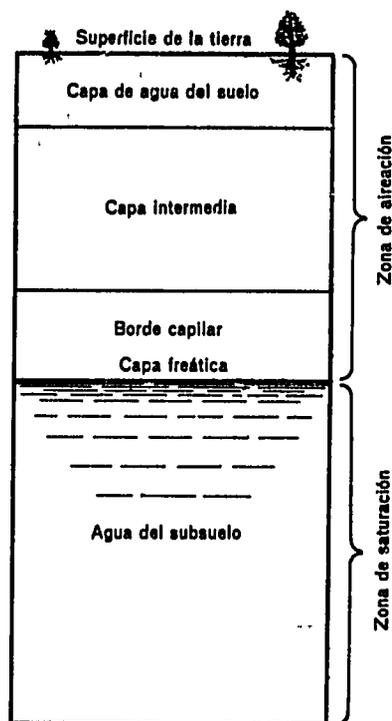


Figura 2.2 DIVISIONES DEL AGUA DEL SUBSUELO.

capilares similares a las que causan que el agua se eleve en un tubo estrecho o capilar, por encima del nivel del agua contenida en un recipiente mayor que aloja verticalmente al tubo. Mientras más estrecho sea el tubo o los poros, más se elevará el agua. Por lo tanto, el espesor de la capa depende de la textura de la roca o el suelo y puede ser prácticamente cero cuando los poros son grandes.

La *capa intermedia* yace entre la capa de agua del suelo y el borde capilar. La mayor parte de su agua llega por gravedad hacia abajo a través de la capa del agua del suelo. El agua de esta capa se llama agua (vadoz) intermedia.

### Zona de saturación

Inmediatamente bajo la zona de aireación yace la zona de saturación en la cual los poros están completamente llenos o saturados de agua. 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. El objeto de la construcción de un pozo es penetrar la tierra en esta zona con un tubo, cuya sección inferior tiene aberturas de un tamaño tal que permiten la entrada del agua desde la zona de saturación, pero excluyen las partículas de roca. Las formaciones que contienen agua del subsuelo y que la proporcionan fácilmente a los pozos son llamadas *acuíferas*.

### **FORMACIONES GEOLOGICAS COMO ESTRATOS ACUIFEROS**

Por conveniencia, los geólogos describen todos los materiales de la tierra como *rocas*. Las rocas pueden ser del tipo *consolidado* (firmemente mantenidas unidas por compactación, cementación y otros procesos) tales como granito, arenisca y caliza, o del tipo *no consolidado* (materiales sueltos) tal como barro, arena y grava. Los términos *duro* y *blando* también se emplean para describir las rocas consolidadas y no consolidadas, respectivamente.

Las formaciones acuíferas pueden estar compuestas de rocas consolidadas y no consolidadas. Los componentes rocosos deben ser suficientemente porosos (contener una proporción razonablemente alta de poros u otras aberturas en el material sólido) y ser suficientemente permeables (las aberturas deben estar interconectadas para permitir el paso del agua a través de ellas).

### **Clasificación de las rocas**

Las rocas pueden clasificarse por su origen en tres categorías principales, rocas sedimentarias, rocas ígneas y rocas metamórficas.

*Rocas sedimentarias* son los depósitos de material derivado de la acción del clima y la erosión por otras rocas. Aunque constituyen, solamente, aproximadamente 5 por ciento de la corteza de la tierra, contienen un 95 por ciento estimado del agua del subsuelo.

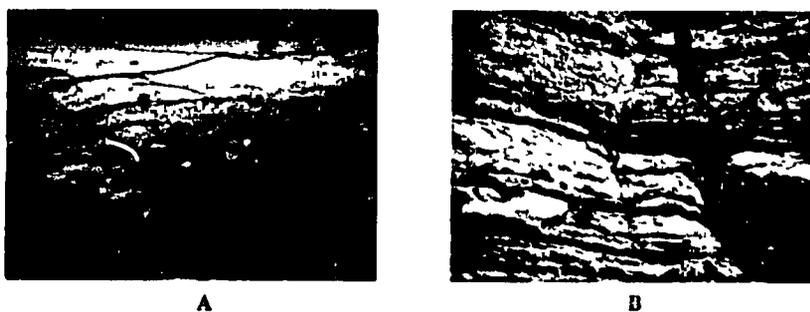
Las rocas sedimentarias pueden ser consolidadas o no consolidadas, según cierto número de factores tales como tipo de roca que les da origen, forma de desgaste por la acción del tiempo, medios de transporte, forma de depósito, y el grado de acumulación, compactación, y cementación. Generalmente, las rocas más duras producen sedimentos de textura más gruesa que las blandas. La erosión por desintegración mecánica (por ejemplo, fractura de la roca debida a las variaciones de temperatura) produce sedimentos más gruesos que los que ocurren por descomposición química. El depósito en el agua propicia mejor distribución y acumulación en los materiales, que cuando el depósito se hace directamente en la tierra. Los constituyentes químicos de las rocas originales y el medio ambiente explican la cementación de las rocas no consolidadas para transformarlas en consolidadas duras. Estos factores, también, influyen en la capacidad de contener agua de las rocas sedimentarias. Los sedimentos desintegrados de arcilla

son, usualmente, de grano fino y constituyen estratos acuíferos pobres, mientras que los sedimentos derivados de granito u otras rocas cristalinas, generalmente, forman buenas capas acuíferas de arena y grava, particularmente cuando la circulación considerable en el agua ha producido partículas bien redondeadas y distribuidas.

La arena, la grava y las mezclas de estos materiales, se encuentran entre las rocas sedimentarias no consolidadas que forman estratos acuíferos. Granulares y no consolidadas, varían en tamaño de partícula y en el grado de distribución y redondez de éstas. Consecuentemente, sus capacidades para suministrar agua varían considerablemente. Sin embargo, constituyen las mejores formaciones que contienen agua. Están ampliamente distribuidas en todo el mundo y producen proporciones muy importantes del agua usada en muchos países.

Otras capas acuíferas sedimentarias no consolidadas son depósitos marinos, aluviales o de corrientes (incluyendo depósitos deltaicos y abanicos aluviales), los depósitos por acarreo glacial y por efectos del viento, tales como dunas de arena y tierra amarilla (depósitos fangosos muy finos). También se pueden esperar grandes variaciones en las capacidades de producción de agua de estas formaciones. Por ejemplo, el rendimiento de los pozos en dunas de arena y tierra amarilla puede limitarse tanto por la finura del material como por la reducida extensión y el espesor de los depósitos.

La caliza, esencialmente carbonato de calcio, y la dolomita o carbonato de calcio y magnesio son ejemplos de las rocas sedimentarias consolidadas conocidas por su función como estratos acuíferos. Las fracturas y las grietas causadas por movimientos de la tierra, y más tarde agrandadas hasta formar canales de disolución por efecto del flujo del agua del suelo a través de ellas, forman las aberturas comunicantes por las que circula el líquido (Figura 2.3). El flujo puede ser considerable cuando se han formado canales de disolución.



**Figura 2.3 A. FRACTURAS EN CALIZA DENSA A TRAVES DE LAS CUALES PUEDE OCURRIR EL FLUJO.**

**B. CANALES DE DISOLUCION EN CALIZA CAUSADOS POR EL FLUJO DEL AGUA DEL SUBSUELO A TRAVES DE LAS FRACTURAS.**

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. Los agentes cementantes son causa de la amplia variedad de colores que se observan en las areniscas. 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, tales como el esquisto de barro y el acarreo fluvial, usualmente no se consideran como capas acuíferas, pero se sabe que proporcionan cantidades pequeñas de agua a los pozos en áreas localizadas donde los movimientos de tierra han fracturado substancialmente tales formaciones.

Las *rocas ígneas* son las 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, las rocas se conocen 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 plutónicas, tales como el granito, usualmente son de textura gruesa y no porosa y no se consideran como capas acuíferas. Sin embargo, ocasionalmente se ha encontrado agua en grietas y fracturas de las porciones superiores, atacadas por los cambios climatológicos en tales rocas.

Las rocas volcánicas, a causa del enfriamiento relativamente rápido que tiene lugar en la superficie, usualmente son de textura fina y de apariencia cristalizada. El basalto o roca de trapa, una de las principales rocas de este tipo, puede ser altamente poroso y permeable como resultado de aberturas comunicantes llamadas vesículas, formadas por el desarrollo de burbujas de gas cuando la lava (magma que fluye en la superficie o cerca de ella) se enfría. Las capas acuíferas basálticas también pueden contener agua en las grietas y en las brechas o roturas de los extremos y fondos de las capas sucesivas.

Los materiales de fragmentación descargados por los volcanes, tales como cenizas y escoria, se conocen como formadores de capas acuíferas excelentes donde las partículas son de tamaño suficientemente grande. Sus capacidades para producir agua varían considerablemente, dependiendo de la complejidad de la estratificación, el grado del tamaño y la forma de las partículas. Ejemplos de capas acuíferas excelentes de este tipo se encuentran en América Central.

*Roca metamórfica*, es el nombre que se da a las rocas de todos los tipos, ígneas o sedimentarias, que se han alterado por calor y presión. Ejemplos de éstas son la cuarzita o arenisca metamorfoseada, los esquistos de pizarra y mica, de arcilla y gneiss del granito. Generalmente, éstas forman capas acuíferas pobres con agua obtenida solamente de las grietas y

fracturas. El mármol, una caliza metamorfoseada, puede ser una buena capa acuífera cuando se fractura y contiene canales de disolución.

Con la descripción anterior de los tres tipos principales de roca, será más fácil comprender por qué se encuentra un 95 por ciento estimado del agua de suelo disponible en las rocas sedimentarias que constituyen sólo, aproximadamente, 5 por ciento de la corteza de la tierra. Los pozos descritos en este manual serán los que se construyen en rocas sedimentarias no consolidadas que, indudablemente, son las fuentes más importantes de agua para los sistemas de suministro en pequeñas comunidades.

### **Papel de los procesos geológicos en la formación acuífera**

Los procesos geológicos alteran continua, aunque lentamente, las rocas y sus formaciones. Tan lentamente tienen lugar estos cambios que apenas son perceptibles por el ojo humano y difícilmente pueden medirse aún con los instrumentos más sensibles de que actualmente se dispone. Sin embargo, indudablemente, las montañas se están elevando y descendiendo, los valles se llenan o profundizan y se forman otros nuevos, las orillas de las playas avanzan y retroceden, y las capas acuíferas se crean y se destruyen. Estos cambios son más obvios cuando se refieren al tiempo geológico con unidades medidas en miles y millones de años y a los cuales hay que referirse en casi todos los libros de geología.

Las rocas geológicamente viejas, así como las jóvenes, pueden formar capas acuíferas, pero generalmente las más jóvenes, las que han estado sujetas a menor compresión y cementación, son las mejores productoras. Los procesos geológicos determinan la forma, extensión y características hidráulicas y de flujo de las capas acuíferas. Las capas acuíferas en formaciones de rocas sedimentarias, por ejemplo, varían considerablemente, dependiendo de que los sedimentos sean de tipo terrestre o marino, por su naturaleza.

*Sedimentos terrestres*, o materiales depositados en la tierra, son los que comprenden los depósitos arrastrados por las corrientes, los lagos, los de tipo glacial y los del viento. Usualmente, sólo con pocas excepciones, son de extensión limitada y discontinuos, mucho más que los depósitos marinos. Las variaciones en la textura, tanto lateral como verticalmente, son características de estas formaciones.

Los *depósitos aluviales o de corriente* son, generalmente, largos y estrechos. Usualmente subterráneos, o bajo el suelo del valle, también pueden estar en forma de terrazas, indicando la existencia de lechos de corriente más altos en el pasado geológico. Los materiales en tales capas acuíferas pueden variar en tamaño, desde arena fina hasta grava y pedruscos. Los cauces abandonados de corrientes y sus sedimentos están, algunas veces, enterrados bajo depósitos formados por el viento o por glaciares, sin prueba visible de su existencia. Donde una corriente que fluye rápidamente, tal

como la de un torrente de montaña, encuentra una reducción brusca de declive, la disminución de la velocidad causa un depósito de grandes cantidades de material, conocido como abanico aluvial. Estos sedimentos varían, desde el material más grueso hasta el más fino, conforme se alejan de las montañas.

Los *depósitos glaciales* encontrados en la parte norte central de los Estados Unidos de América, el sur del Canadá, y el norte de Europa y Asia pueden ser extensos donde provengan de glaciares continentales, si se comparan con los depósitos más reducidos de los glaciares de montaña. Estos depósitos varían en forma y espesor y exhiben una falta de interconexión a causa de las acumulaciones de barro y sedimentos en la arena, la grava y los guijarros. Los depósitos de aluvión, barridos de los glaciares fundidos por las corrientes de agua, son de naturaleza granular y similares a las arenas aluviales. Las corrientes más rápidas de nieve derretida producen las mejores capas acuíferas de acarreo glacial.

Los *depósitos de lago* son, generalmente materiales granulares de textura fina, depositados en agua tranquila. Varían considerablemente en espesor, extensión y forma, y constituyen buenas capas acuíferas solamente cuando son de un espesor apreciable.

## **FLUJO DEL AGUA DEL SUBSUELO E HIDRAULICA ELEMENTAL DE POZOS**

### **Tipos de capas acuíferas**

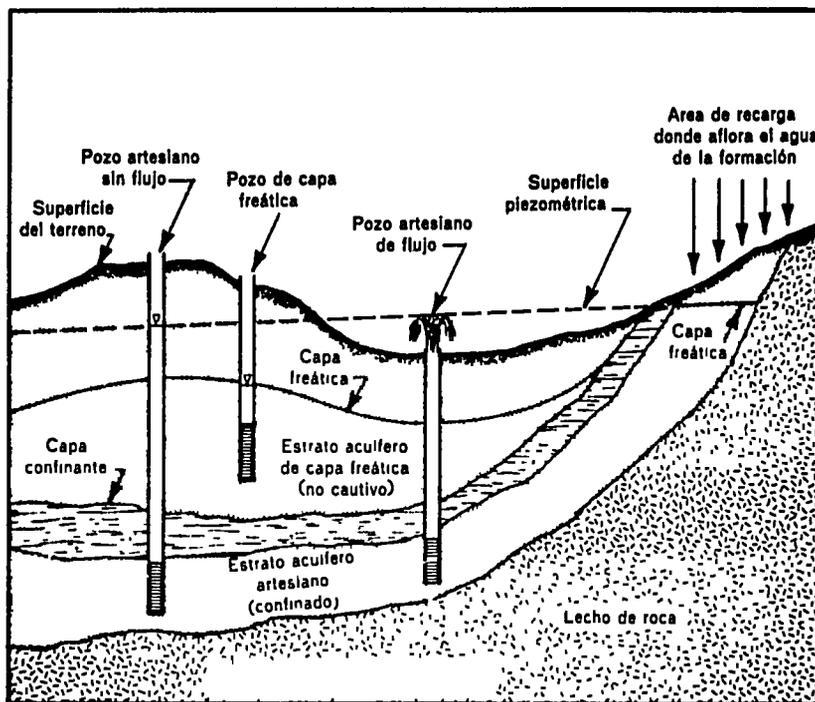
Las capas acuíferas de agua del subsuelo pueden clasificarse como *formaciones de capa freática o artesianas*.

Un *manto acuífero del tipo de capa freática* es el que no está confinado por una capa superior impermeable. Por lo tanto, también se llama *manto acuífero no cautivo*. El agua de estas capas está virtualmente a la presión atmosférica y el manto superior de la zona de saturación se llama *capa freática* (Figura 2.2). La capa freática marca el nivel más alto al cual se elevará el agua en un pozo construido en un manto acuífero del tipo de capa freática. El manto acuífero superior en la Figura 2.4 es un ejemplo de este tipo de capa.

Una *capa acuífera artesiana* es aquella en la que el agua está confinada bajo una presión más grande que la atmosférica, por una capa superpuesta relativamente impermeable. De aquí que tales capas también se llamen *cautivas o a presión*. El nombre de artesiana debe su origen a Artois, la provincia más septentrional de Francia, donde se sabe que se perforaron los primeros pozos profundos para extraer mantos acuíferos confinados. A diferencia del caso de capas freáticas, el agua de las capas artesianas se elevará en los pozos a niveles situados arriba del fondo del manto superior

de confinamiento. Esto se debe a la presión creada por la capa confinante y es la característica distintiva entre los dos tipos de mantos acuíferos.

La superficie imaginaria a la cual se elevará el agua en los pozos localizados en una capa acuífera artesiana se llama *superficie piezométrica*. Esta superficie puede estar arriba o debajo de la superficie del suelo, en diferentes partes de la misma capa acuífera, como se muestra en la Figura 2.4. Donde la superficie piezométrica se encuentra sobre la superficie del suelo, un pozo para captar la capa acuífera fluirá al nivel del suelo y se conoce como *pozo artesiano de flujo*. Donde la superficie piezométrica yace bajo la superficie del suelo, resulta un *pozo artesiano sin flujo* (semisurgente) y debe proveerse algún medio para elevar el agua, como por ejemplo una bomba, y poder sacarla del pozo. Es conveniente hacer notar aquí que el uso más antiguo del término pozo artesiano se refirió solamente, al tipo de flujo, mientras que el uso actual incluye los pozos de los dos tipos de flujo, siempre que el nivel del agua en el pozo se eleve sobre el fondo de la capa de confinamiento o el extremo superior del estrato acuífero.



**Figura 2.4 TIPOS DE CAPAS ACUIFERAS.**

Usualmente, el agua entra en una capa acuífera artesiana en una área donde se eleva a la superficie del terreno y queda expuesta (Figura 2.4). Tal área expuesta se llama *área de recarga* y el manto acuífero en esa zona,

no estando confinado, sería del tipo de capa freática. Los mantos acuíferos artesianos también pueden recibir agua del subsuelo procedente de filtraciones, a través de las capas confinantes y en intersecciones con otras capas acuíferas cuyas áreas de recarga están a nivel del terreno.

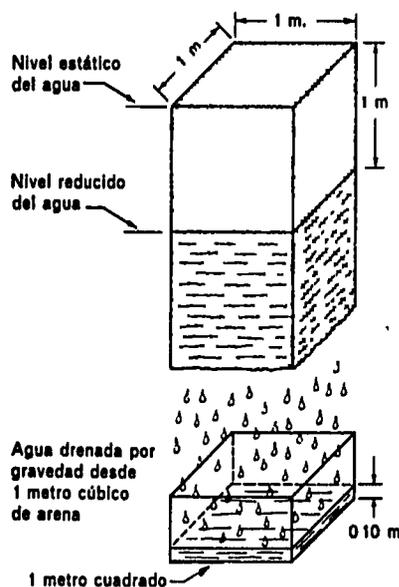
### Funciones de las capas acuíferas

Las aberturas y los poros en una formación productora de agua pueden considerarse como una red de tubos comunicantes a través de los que fluye el agua a velocidades muy lentas, rara vez más de unos cuantos centímetros por día, desde las áreas de recarga a las de descarga. Esta red de tubos, por lo tanto, sirve para proporcionar *almacenamiento* y flujo o funciones de *conducción* en un manto acuífero.

**Función de almacenamiento:** Relacionadas con la función de almacenamiento de una capa acuífera, existen dos propiedades importantes conocidas como *porosidad* y *rendimiento específico*.

La *porosidad* de una formación portadora de agua es el porcentaje del volumen total de la formación consistente en aberturas o poros. Por ejemplo, la porosidad de un metro cúbico de arena que contiene 0.25 metros cúbicos de espacios abiertos es 25 por ciento. Por lo tanto, es evidente que la porosidad es un índice de la cantidad de agua del suelo que se puede almacenar en una formación saturada.

La cantidad de agua obtenida, o que puede tomarse, de una formación saturada es menor de la que contiene y, por lo tanto, no está representada por la porosidad. Esta cantidad está relacionada con la propiedad conocida como *rendimiento específico* y se define como el volumen de agua liberado de un volumen unitario del material de la capa acuífera cuando se permite que fluya libremente por gravedad (Figura 2.5).



**Figura 2.5 REPRESENTACION VISUAL DEL RENDIMIENTO ESPECIFICO. SU VALOR AQUI ES DE 0.10 METROS CUBICOS POR METRO CUBICO DE MATERIAL DE LA CAPA ACUIFERA.**

El volumen restante de agua no extraída del flujo por gravedad se sostiene por fuerzas capilares como las que se encuentran en el borde capilar y por

otras fuerzas de atracción. Esto se llama *retención específica* y, como el rendimiento específico, puede expresarse como una fracción decimal o porcentaje. Como se definió, la porosidad es, por lo tanto, igual a la suma del rendimiento específico y la retención específica. Una capa acuífera con una porosidad de 0.25 o 25 por ciento y un rendimiento específico de 0.10 o 10 por ciento tendrá por lo tanto, una retención específica de 0.15 o 15 por ciento. Un millón de metros cúbicos de esa capa acuífera contendría 250,000 metros cúbicos de agua, de los cuales 100,000 metros cúbicos serían proporcionados por gravedad.

*Función de conducción:* La propiedad de una capa acuífera relacionada con su función de conducción se conoce como *permeabilidad*.

La *permeabilidad* es una medida de la capacidad de una capa acuífera para conducir agua. Es proporcional a la diferencia de presión y velocidad del flujo entre dos puntos que están en condiciones laminares o no turbulentas, y se expresa mediante la siguiente ecuación conocida como Ley de Darcy (por Henry Darcy, el ingeniero francés que la formuló).

$$V = \frac{P (h_1 - h_2)}{l} \quad (2.1)$$

donde  $V$  es la velocidad del flujo en metros por día,

$h_1$  es la presión en el punto de entrada a la sección del conducto considerado, en metros de agua.

$h_2$  es la presión en el punto de salida de la misma sección, en metros de agua.

$l$  es la longitud de la sección del conducto, en metros, y

$P$  es una constante conocida como coeficiente de permeabilidad, pero, a menudo, designada simplemente como permeabilidad.

La ecuación (2.1) puede modificarse para expresar:

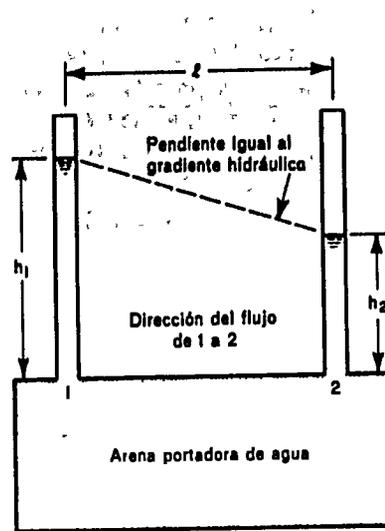
$$V = PI \quad (2.2)$$

donde  $I = \frac{h_1 - h_2}{l}$  que se denomina *gradiente hidráulico*.

La cantidad de flujo por unidad de tiempo a través del área de una sección transversal dada puede obtenerse a partir de la ecuación (2.2) multiplicando la velocidad de flujo por esa área. Por lo tanto,

$$Q = AV = PIA \quad (2.3)$$

donde  $Q$  es la cantidad de flujo por unidad de tiempo  
y  $A$  es el área de la sección transversal.



Basado en la ecuación (2.3) el *coeficiente de permeabilidad* puede definirse por lo tanto, como la cantidad de agua que fluirá a través de una unidad del área de la sección transversal del material poroso en la unidad de tiempo, bajo un gradiente hidráulico igual a la unidad (o sea  $I = 1.0$ ) a una temperatura especificada, usualmente  $15.5^{\circ}\text{C}$ . En los problemas de agua del suelo,  $Q$  se expresa usualmente en litros por día (lpd),  $A$ , en metros cuadrados y  $P$ , por lo tanto, en litros por día y por metro cuadrado ( $\text{lpd}/\text{m}^2$ ).

Por lo tanto, el *coeficiente de transmisibilidad* se define como el gasto a través de la sección transversal vertical de una capa acuífera cuya anchura es la unidad y cuya altura es el espesor total de la capa cuando el gradiente hidráulico es la unidad. Está expresada en litros por día por metro (lpd/m) y es equivalente al producto del coeficiente de permeabilidad y el espesor del manto acuífero.

### Factores que afectan la permeabilidad

La *porosidad* es un factor importante que afecta la permeabilidad y, por lo tanto, la capacidad de una capa acuífera para surtir agua. Esto es claramente evidente, ya que una capa acuífera puede proporcionar solamente una porción del agua que contiene y mientras más elevada sea la porosidad, más grande será el volumen de agua que puede almacenar. Sin embargo, la porosidad debe considerarse junto con otros factores conexos, tales como el *tamaño de partícula*, el *arreglo y distribución*, la *continuidad de los poros*, y la *estratificación* de la formación.

El volumen de los huecos o poros correspondiente al cúmulo más cerrado de las esferas de tamaño uniforme (Figura 2.7) representará el mismo porcentaje del volumen total (sólidos y huecos), ya sea que las esferas sean todas del tamaño de una pelota de tenis o de 0.025 mm de diámetro. Sin embargo, los poros más pequeños entre las últimas esferas ofrecerían mayor resistencia al flujo y, por lo tanto, causarían una disminución en la permeabilidad, aun cuando la porosidad fuera la misma.

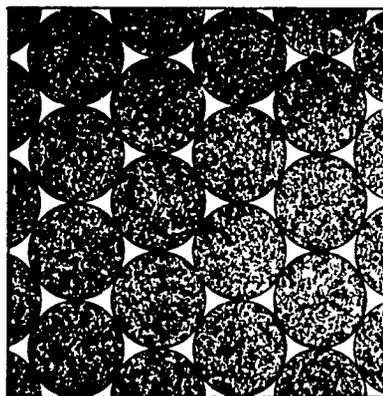


Figura 2.7 ESFERAS DE TAMAÑO UNIFORME AGRUPADAS EN UNA DISPOSICION ROMBOEDRICA.

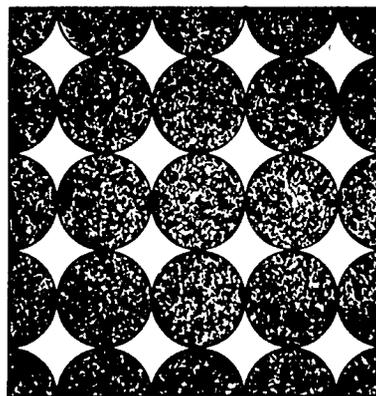


Figura 2.8 ESFERAS DE TAMAÑO UNIFORME AGRUPADAS EN UNA DISPOSICION CUBICA.

El agrupamiento de las esferas mostradas en la Figura 2.7 se conoce como disposición romboédrica. La porosidad para tal tipo de acumulación, según puede demostrarse, es de 0.26 o 26 por ciento. Las esferas también pueden adoptar una disposición cúbica, como se muestra en la

Figura 2.8, para lo cual la porosidad es de 0.476 o 47.6 por ciento. Estas porosidades se aplican solamente a las partículas perfectamente esféricas y se incluyen aquí para dar el orden de la magnitud de las porosidades a las que pueden acercarse las arenas y gravas uniformes que se producen naturalmente. Por ejemplo, una arena suelta, uniforme, puede tener una porosidad de 46 por ciento. Por otra parte, las arcillas exhiben porosidades mucho más altas, que varían de aproximadamente 37 por ciento, para arcillas rígidas glaciales, hasta alcanzar un 84 por ciento, para las de bentonita blanda.

La consideración de los efectos del tamaño y disposición de la partícula sobre la permeabilidad sería incompleta sin tomar en cuenta, simultáneamente, el efecto de la *distribución de la partícula* o su clasificación. Una arena de clasificación uniforme, es decir, aquella en la que todas las



**Figura 2.9 MEZCLA NO UNIFORME DE ARENA Y GRAVA CON BAJA POROSIDAD Y PERMEABILIDAD.**

partículas son aproximadamente del mismo tamaño, tendrá una porosidad y permeabilidad mayores que una mezcla menos uniforme de arena y grava. Esto se debe a que la arena, más fina, llena las aberturas entre las partículas de grava, produciendo una disposición más compacta con menor densidad de poros (Figura 2.9). Entonces, este es un ejemplo de un material más fino que tiene una permeabilidad más alta que uno más grueso, debido al efecto de modificación de la distribución de la partícula.

El flujo no puede tener lugar a través de materiales porosos, a menos que los conductos en el material estén comunicados, es decir, que haya *continuidad de los poros*. Como la permeabilidad es una medida del gasto en determinadas condiciones a través del material poroso, una reducción en su continuidad resultaría en una disminución en la permeabilidad del material. Dicha reducción podría ser causada por sedimentación, barro u otros materiales de cementación que llenan, parcial o completamente, los poros en la arena, haciéndola así casi impermeable.

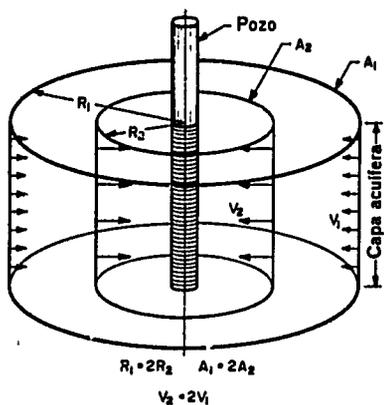
Se dice que una capa acuífera está *estratificada*, cuando se compone de capas diferentes de arena fina, gruesa, o arena y grava. La mayoría de las capas acuíferas son estratificadas. Si bien algunos estratos contienen sedimento y arcilla, otros están relativamente exentos de estos materiales de cementación y se dice que son limpios. Donde la estratificación es tal, que una capa, incluso delgada, de arcilla separe dos capas de arena lim-

pia, esto bastará para interrumpir la circulación vertical del agua entre las arenas. La permeabilidad también puede variar de una capa a otra en una forma acuífera estratificada.

Una exposición breve de la medición de la permeabilidad se encuentra en el Apéndice A.

### Flujo hacia los pozos

*Flujo convergente:* Cuando un pozo se encuentra en reposo, es decir, cuando no existe flujo de él, la presión del agua en el interior es igual a la de la formación que lo rodea. El nivel al cual se detiene el agua dentro del pozo se conoce como *nivel estático del agua*. Este nivel coincide con la capa freática para un estrato acuífero de este tipo, o la superficie piezométrica para una capa acuífera artesiana. Si se reduce la presión dentro del pozo, por ejemplo, por medio de una bomba, la presión mayor en la capa acuífera del exterior del pozo impulsa el agua dentro de éste produciéndose, por lo tanto, un flujo. Esta disminución de la presión dentro del pozo también está acompañada por una reducción del nivel del agua en éste y sus alrededores. El agua fluye por la capa acuífera hacia el pozo, desde todas las direcciones en lo que se conoce como *flujo convergente*. Puede considerarse que este flujo tiene lugar a través de secciones cilíndricas sucesivas que se hacen cada vez más pequeñas al aproximarse al pozo (Figura 2.10). Esto significa que el área a través de la cual tiene lugar el flujo también se hace sucesivamente más pequeña en las cercanías del pozo. Con la misma cantidad de agua fluyendo a través



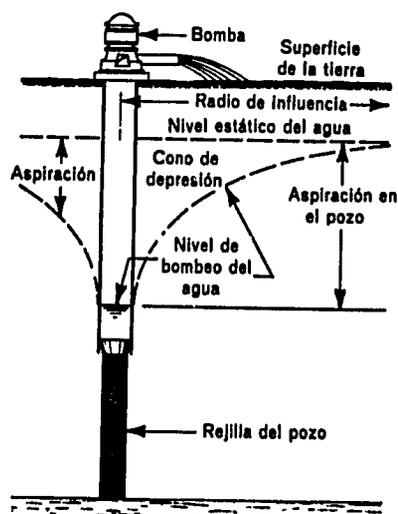
**Figura 2.10 EL FLUJO CONVERGE HACIA UN POZO, PASANDO A TRAVÉS DE SUPERFICIES CILÍNDRICAS IMAGINARIAS QUE SON SUCEсивAMENTE MAS PEQUEÑAS AL APROXIMARSE AL POZO.**

de estas secciones, se deduce de la ecuación (2.3) que la velocidad aumenta a medida que disminuye el área.

La ley de Darcy, ecuación (2.2), nos dice que el gradiente hidráulico varía en razón directa de la velocidad. Por lo tanto, la velocidad creciente hacia el pozo corresponde a un gradiente hidráulico creciente. Dicho en otros términos, la superficie del agua o la superficie piezométrica siguen una pendiente de inclinación creciente hacia el pozo. En un estrato acuífero de forma y textura uniformes, la depresión de la capa freática o de la superficie piezométrica en la vecindad de un pozo

sometido a bombeo o que fluye libremente, adopta la forma de un cono invertido. Este cono, conocido como el *cono de depresión* (Figura 2.11), tiene su vértice en el nivel del agua en el pozo durante el bombeo, y su base en el nivel estático del agua. El nivel del agua en el pozo durante el bombeo se conoce como *nivel de bombeo del agua*. La diferencia de niveles entre el nivel estático del agua y la superficie del cono de depresión se conoce como *aspiración*. Por lo tanto, la aspiración aumenta desde cero, a los límites exteriores del cono de depresión, hasta un máximo en el pozo sometido a bombeo. El *radio de influencia* es la distancia desde el centro del pozo hasta el límite exterior del cono de depresión.

La Figura 2.12 muestra cómo afecta la transmisibilidad de una capa acuífera la forma del cono de depresión. Este es profundo, con lados em-



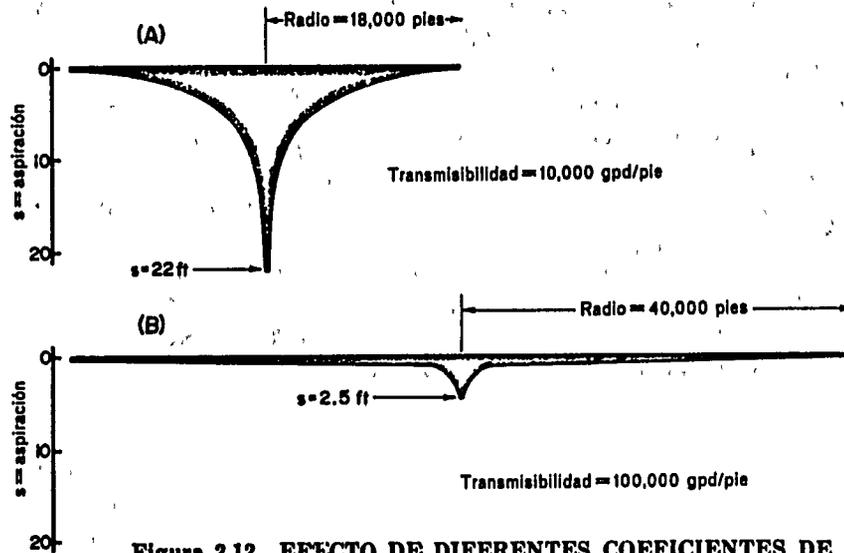
**Figura 2.11 CONO DE DEPRESION EN LAS CERCANIAS DE UN POZO CON BOMBA.**

pinados, una aspiración grande y un radio de influencia pequeño cuando la transmisibilidad de la capa acuífera es baja. Con una transmisibilidad alta, el cono es ancho y poco profundo, la aspiración pequeña y el radio de influencia grande.

**Efectos de recarga y límite:** Cuando comienza el bombeo en un pozo, la cantidad inicial de agua descargada procede de la reserva acuífera que rodea inmediatamente al pozo. Entonces, el cono de depresión es pequeño. Al continuar el bombeo, el cono se extiende hasta llenar la demanda creciente de agua procedente de la reserva acuífera. El radio de influencia aumenta y, con él, la aspiración en el pozo a fin de proporcionar la presión adicional requerida para llevar el agua a

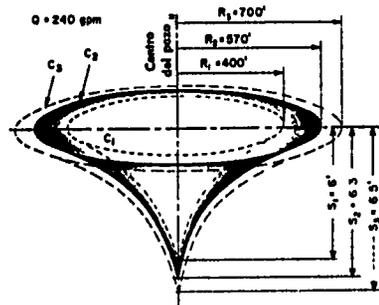
través de distancias correspondientemente más grandes. Si la velocidad de bombeo se mantiene constante, el grado de expansión y profundización del cono de depresión disminuye con el tiempo. Esto se ilustra en la Figura 2.13, donde  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  representan conos de depresión a intervalos de horas. El aumento por hora del radio de influencia,  $R$ , y la aspiración,  $s$ , se hacen cada vez más pequeños hasta que la capa acuífera suministra una cantidad de agua igual a la velocidad de bombeo. El cono no se extiende

ni profundiza más y se dice que se ha alcanzado el *equilibrio*. Este estado puede ocurrir en una o varias de las siguientes situaciones:



**Figura 2.12 EFECTO DE DIFERENTES COEFICIENTES DE TRANSMISIBILIDAD SOBRE LA FORMA, PROFUNDIDAD Y EXTENSION DEL CONO DE DEPRESION, SIENDO LOS MISMOS LA VELOCIDAD DE BOMBEO Y LOS DEMAS FACTORES EN AMBOS CASOS.**

1. El cono se agranda hasta que intercepta suficiente cantidad de la descarga natural de la capa acuífera para igualar la velocidad de bombeo.

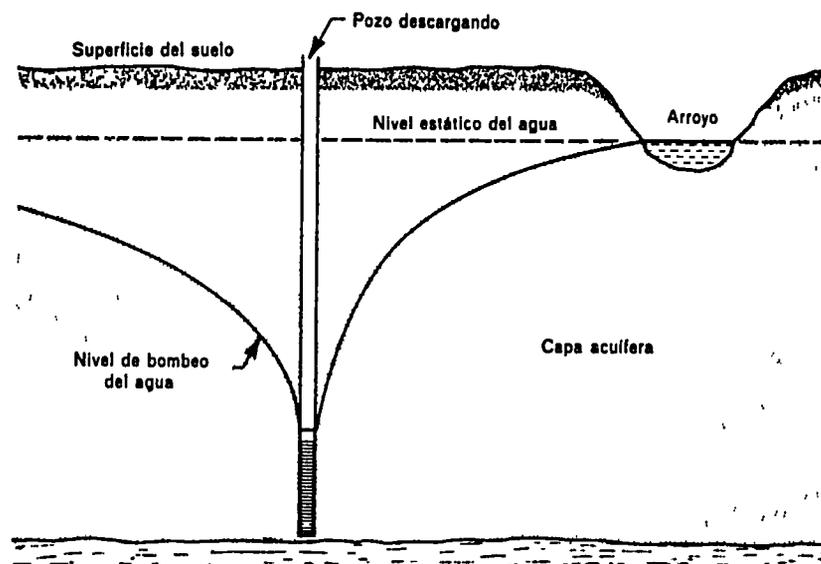


**Figura 2.13 CAMBIOS EN EL RADIO Y LA PROFUNDIDAD DEL CONO DE DEPRESION A INTERVALOS IGUALES A TIEMPO, SUPONIENDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE BOMBEO.**

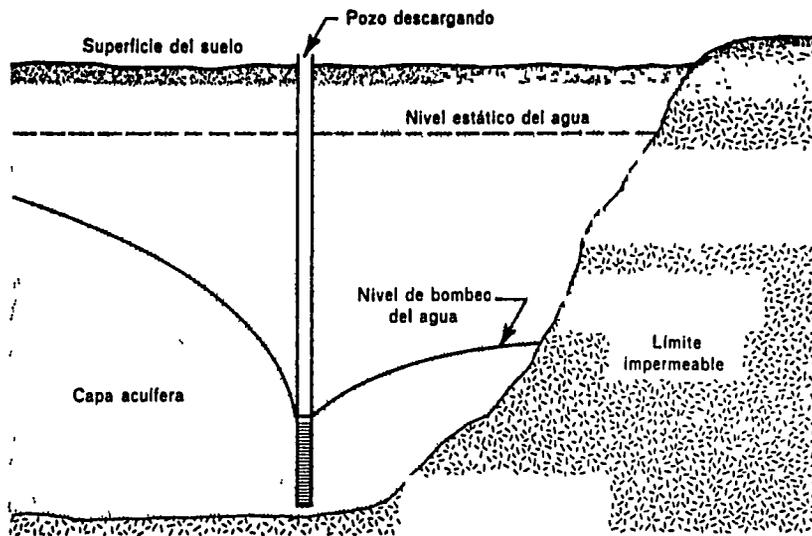
2. El cono intercepta una masa de la superficie de agua desde la cual entra ésta en la capa acuífera a un ritmo equivalente a la velocidad de bombeo.
3. Se recibe una recarga igual a la velocidad de bombeo procedente de la precipitación y la infiltración vertical dentro del radio de influencia.
4. La recarga igual a la velocidad de bombeo se obtiene por filtración a través de las formaciones adyacentes.

Si la velocidad de recarga es igual en todas direcciones alrededor del pozo, el cono permanece simétrico (Figura 2.12). Sin embargo, si predomina en una dirección, como puede ser el caso con una corriente superficial, la superficie del cono es más alta en la dirección desde la cual tiene lugar la recarga, que en otras direcciones (Figura 2.14). Recíprocamente, la superficie del cono está relativamente menguada en la dirección de un límite impermeable interceptado por él ((Figura 2.15). De este tipo de límite no se obtiene recarga, mientras que la que se recibe de otras direcciones mantiene los niveles más altos en estos puntos. Por lo tanto, las áreas de recarga para las capas acuíferas, tales como las corrientes superficiales, a menudo son conocidas como límites positivos, mientras las impermeables se conocen como límites negativos.

*Sistemas de pozos múltiples:* En ciertas condiciones, la construcción de un solo pozo grande puede ser inoportuna o muy costosa, mientras que la instalación de un grupo de pozos pequeños puede efectuarse fácil y económicamente. Factores tales como la inaccesibilidad del área para el equipo pesado requerido para perforar el pozo grande y el alto costo de transporte de la tubería de mayor diámetro al sitio, pueden contarse entre las consideraciones más importantes en una situación como ésta. Se pueden agrupar pozos pequeños en una distribución adecuada para obtener el rendimiento equivalente a un solo pozo mucho más grande.



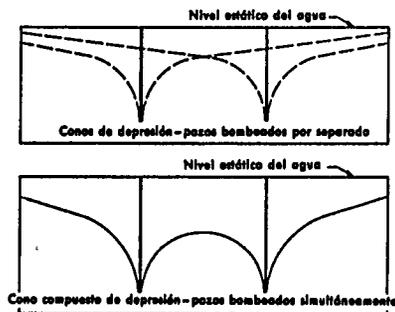
**Figura 2.14 SIMETRIA DEL CONO DE DEPRESION AFECTADO POR LA RECARGA DESDE UN ARROYO.**



**Figura 2.15 CONO DE DEPRESION EN LAS PROXIMIDADES DE UN LIMITE IMPERMEABLE.**

Sin embargo, la agrupación de pozos presenta problemas debido a la interferencia entre ellos cuando operan simultáneamente. La *interferencia* entre dos o más pozos ocurre cuando sus conos de depresión se superponen, reduciendo así el rendimiento de cada uno de ellos (Figura 2.16). La aspiración en cualquier punto del cono compuesto de depresión es igual a la suma de las aspiraciones en ese punto atribuible a cada uno de los pozos que se bombean por separado. En particular, la aspiración correspondiente a una descarga específica, en un pozo afectado por interferencia,

es mayor que el valor no afectado, en la cantidad de aspiración en ese pozo, apartada por los pozos que interfieren. En otras palabras, la descarga por unidad de aspiración, comúnmente llamada *capacidad específica* del pozo, se reduce. Esto significa que el bombeo debe efectuarse desde una profundidad mayor dentro del pozo, a un costo más alto, para producir la misma cantidad de agua que si no estuviera sometido a interferencia.



**Figura 2.16 INTERFERENCIA ENTRE POZOS ADYACENTES QUE CAPTAN LA MISMA CAPA ACUIFERA.**

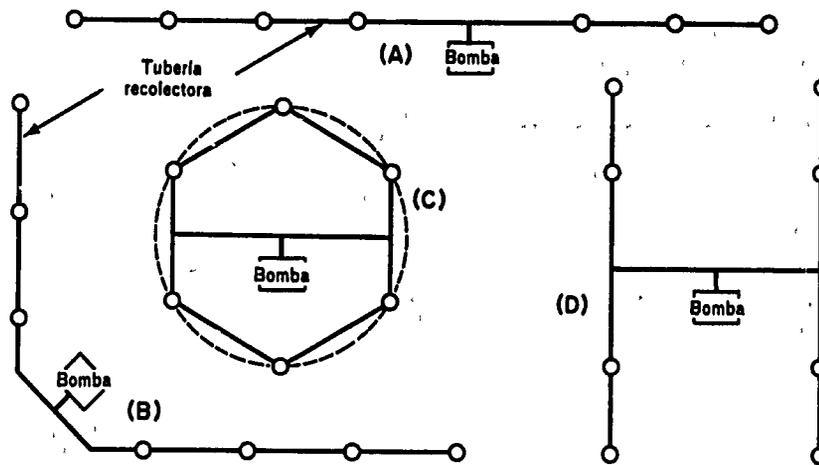
Idealmente, la solución sería espaciar los pozos lo suficiente para impedir la interferencia de uno con otro. Con mucha frecuencia, esto no es práctico por razones económicas,

y los pozos se alejan lo suficiente, no para eliminar interferencia, sino para reducir las a proporciones aceptables. En pozos usados para suministro de agua, se han encontrado satisfactorios los espaciamientos de 25 a 50 pies (7.5 a 15.0 m). Las separaciones pueden ser menores en formaciones de arena fina, en capas acuíferas delgadas o cuando no es probable que la aspiración exceda de 5 pies (1.5 m). Las distancias más grandes pueden emplearse en lugares en que la profundidad y el espesor de la capa acuífera es tal que permite el uso de longitudes de rejilla mayores de 10 pies (3.0 m).

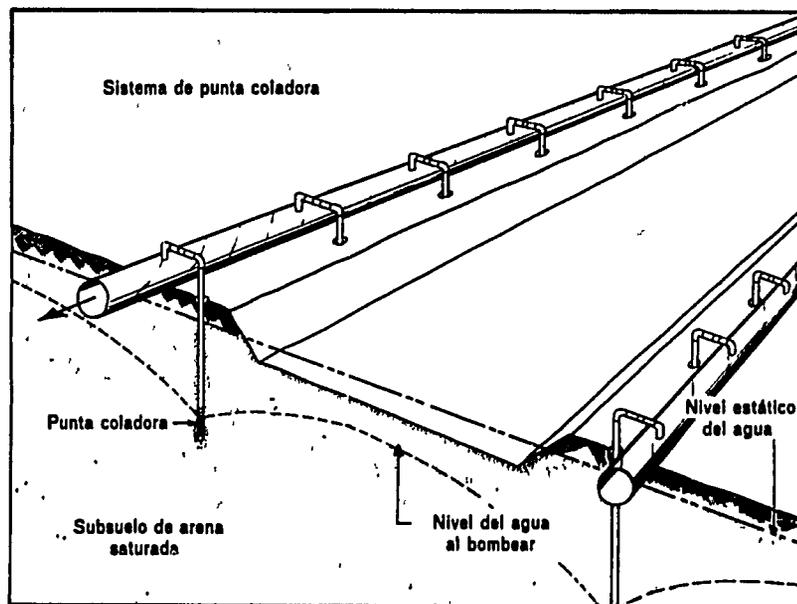
Hay muchas configuraciones que pueden seguirse al agrupar los pozos (Figura 2.17). Donde la capa acuífera se extiende a considerables distancias en todas direcciones desde el sitio de localización de un pozo propuesto, el arreglo más deseable es aquel en que los pozos se localizan a distancias iguales en el perímetro de un círculo. Esta configuración iguala la proporción de interferencia sufrida por cada pozo. Sería obvio que un pozo colocado en el centro de tal anillo de pozos sufriría mayor interferencia que cualquier otro de ellos cuando se bombearan todos simultáneamente. Tales pozos ubicados centralmente deben evitarse en los diseños correspondientes.

Donde existe un origen conocido de recarga cerca de un sitio propuesto, los pozos deben localizarse en un semicírculo o a lo largo de una línea aproximadamente paralela a la fuente. El último arreglo es el usado con más frecuencia para inducir la recarga en una capa acuífera desde una corriente adyacente con la cual se comunica. Esta es una técnica muy útil para proporcionar un abastecimiento adecuado de agua a una comunidad pequeña mucho tiempo después que el nivel de la corriente se haga tan bajo que solamente pueda obtenerse una cantidad inadecuada de agua de baja calidad, directamente del caudal. Esto es posible ya que el uso de los pozos permite la recolección de agua desde la orilla permeable del río y la calidad se mejora por la acción filtrante de los materiales de la capa acuífera.

Los sistemas de pozo múltiple o de punta coladora, también se usan en sitios de construcción de ingeniería para propósitos de desagüe, es decir, para extraer agua de una zona que debe estar seca para los trabajadores (Figura 2.18). La gran diferencia entre este uso y el de abastecimiento de agua es el hecho de que en este caso es importante crear interferencia a fin de bajar los niveles de agua lo más posible. Por lo tanto, es indispensable reducir la separación entre los pozos más de lo que se recomienda para propósitos de abastecimiento de agua. El espaciamiento en los sistemas para desagüe suele variar entre 2 y 5 pies (0.6 a 1.5 m), según la permeabilidad de la arena saturada, la profundidad a la que se debe bajar la capa freática y en que pueden instalarse las puntas coladoras en la formación. Es importante hacer notar que el proceso de desagüe puede requerir hasta un día de bombeo antes de que pueda iniciarse la excavación y debe prolongarse durante ésta. A pesar de todo, con frecuencia ha resultado más



**Figura 2.17 CONFIGURACIONES PARA SISTEMAS DE POZOS MULTIPLES USADOS COMO FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA. LA BOMBA UBICADA EN EL CENTRO IGUALA LA ALTURA DE ASPIRACION.**



**Figura 2.18 SISTEMA DE DESAGÜE DE PUNTA COLADORA.**

económico desaguar que bombear desde el interior de un área de trabajo rodeada con tablestaca.

### **CALIDAD DEL AGUA DEL SUBSUELO**

Generalmente, las aberturas a través de las cuales fluye el agua en el suelo son muy pequeñas. Esto restringe considerablemente la velocidad del gasto y al mismo tiempo proporciona una acción filtrante de las partículas que se encuentran originalmente en suspensión en el agua. Estas propiedades, según se observará, afectan considerablemente las cualidades físicas, químicas y microbiológicas del agua del subsuelo.

#### **Calidad física**

Físicamente, el agua del subsuelo es generalmente clara, incolora, con poca o ninguna sustancia en suspensión y tiene una temperatura relativamente constante. Esto se atribuye al proceso de percolación lenta a través del suelo y los efectos mencionados anteriormente. En contraste directo, las aguas superficiales son, muy a menudo, turbias y contienen considerables cantidades de materia en suspensión, particularmente cuando estas aguas se encuentran cerca de áreas pobladas. Las aguas superficiales también están sujetas a variaciones considerables de temperatura. Desde el punto de vista físico, el agua del subsuelo es, por lo tanto, más fácilmente utilizable que el agua de la superficie, ya que rara vez se requiere un tratamiento antes de utilizarse. Las excepciones son las aguas del subsuelo que están conectadas hidráulicamente con aguas superficiales cercanas a través de aberturas grandes tales como fisuras y canales de disolución, así como los intersticios de algunas gravas. Estas aberturas pueden permitir la entrada de materia en suspensión en la capa acuífera. En tales casos, también pueden ser notables los sabores y olores de la vegetación en descomposición.

#### **Calidad microbiológica**

Las aguas del subsuelo están generalmente exentas de organismos muy pequeños (microbios) que causan enfermedades y que están normalmente presentes en las aguas superficiales. Este es otro de los beneficios que resultan de la acción de filtración lenta al circular el agua a través del suelo. Además, la falta de oxígeno y nutrientes en el agua del subsuelo la vuelve un medio inapropiado para que los organismos patógenos se desarrollen y multipliquen. Las excepciones a esta regla son, como ya se dijo, ocasionados por las fisuras y canales de disolución encontrados en algunas rocas consolidadas y en capas acuíferas de arena y grava poco profundas de donde se extrae el agua a proximidad de las fuentes de contaminación tales como retretes y fosas de excreta. Este último problema se trata con más detalle en el Capítulo 9, donde se examina la protección sanitaria de los suministros de agua del subsuelo. La construcción inadecuada de un pozo

también puede resultar en la contaminación de las aguas del subsuelo. Se recomienda al lector consultar la sección del Capítulo 4 que trata de la protección sanitaria de los pozos.

La solución a los problemas del suministro de agua potable de la ciudad de Nebraska, Nebraska, Estados Unidos de América, en 1957, proporciona un testimonio sorprendente de los beneficios derivados de la percolación del agua a través del suelo y las ventajas generales de un abastecimiento de agua del subsuelo sobre una fuente superficial. Por más de 100 años antes de 1957, la ciudad de Nebraska dependió del río Misurí para su suministro de agua doméstica. La calidad del agua en el río se deterioró con el paso de los años debido a que en él se desechaban aguas negras y otros desperdicios. A los problemas antiguos de concentraciones altas de materia en suspensión, coloración oscura por la vegetación descompuesta y las temperaturas altamente variables (demasiado caliente en verano y demasiado frío en invierno) se agregó la contaminación por bacterias. Tan mala era esta situación, que el río Misurí, en esta región, se conoció pronto como una alcantarilla virtualmente abierta y su agua dejó de cumplir con los requerimientos de las normas de agua potable del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos, sobre aguas apropiadas para tratamiento y utilización en municipios.

La búsqueda de una nueva fuente de abastecimiento para la ciudad de Nebraska condujo al uso de pozos perforados en las arenas que yacen bajo la zona de inundación del río Misurí a profundidades hasta de 100 pies (30.4 m). Los pozos perforados sólo a 75 pies (23 m) de la orilla del río y que reciben un considerable porcentaje de su agua desde él, proporcionaron un agua de muy alta calidad, clara, que no mostró indicios de contaminación bacteriana o variación notable de temperatura. Las enseñanzas de la ciudad de Nebraska se pueden aprovechar en muchas otras regiones del mundo.

### **Calidad química**

La calidad química del agua del subsuelo está también considerablemente influenciada por su movimiento relativamente lento a través del suelo. El agua ha sido siempre uno de los mejores solventes conocidos por el hombre. Su grado relativamente lento de precolación a través de la tierra proporciona tiempo más que suficiente para que muchos de los minerales que forman la corteza de la tierra se incorporen a la solución. Estos minerales tienen diferentes grados de disolución en el agua, dependiendo de cierto número de condiciones que pueden variar muy ampliamente en una región pequeña. Como resultado, puede haber variaciones apreciables en la calidad química del agua del suelo encontrada en regiones de extensión superficial relativamente limitada.

Los usos que puedan darse al agua del subsuelo dependen de su con-

tenido de minerales. Donde este contenido excede del límite recomendado, debe aplicarse un tratamiento para eliminar las cantidades excesivas del mineral que contiene. Se conocen métodos satisfactorios para la eliminación de cantidades excesivas de los minerales importantes que se encuentran usualmente en las aguas del subsuelo. Se debe recurrir a asesoría técnica experta sobre la necesidad y el uso de estos métodos.

El contenido de minerales en el agua se expresa, comúnmente, en partes por millón (ppm) que significa el número de partes por peso del mineral encontrado en un millón de partes de la solución. Por ejemplo, una concentración de 10 ppm de hierro significa que en cada millón de libras (o kilogramos) del agua examinada se encontrarán 10 libras (o kilogramos) de hierro. Otra forma de expresión muy común es la de miligramos por litro (mg/lit o mg por lit) que es el número de miligramos del mineral encontrado en un litro de agua. Esta última unidad difiere tan poco de la primera que se consideran, para todos los propósitos prácticos, iguales y se usan comúnmente en forma indistinta.

Las siguientes sustancias químicas y propiedades del agua del subsuelo se encuentran entre las más importantes, y son de interés para los propietarios de pozos pequeños, hierro, manganeso, cloruro, fluoruro, nitrato, sulfato, dureza, sólidos totales disueltos, pH y gases disueltos tales como oxígeno, sulfídrico y dióxido de carbono.

El *hierro* y el *manganeso* se consideran, usualmente, juntos a causa de sus semejanzas en el comportamiento químico y su presencia en el agua del subsuelo. Es importante hacer notar que el hierro y el manganeso, en las cantidades que usualmente se encuentran en el agua del subsuelo son indeseables porque su presencia es desagradable, aunque no amenaza la salud humana. Ambos producen manchas (pardo rojizo en el caso del hierro y negro en el del manganeso) en las tuberías y en las telas al lavarlas. Los depósitos de hierro se pueden acumular en las rejillas del pozo y en las tuberías, restringiendo el flujo del agua a través de ellas. Las aguas que contienen hierro también tienen un sabor característico que algunas personas encuentran desagradable. Tales aguas, cuando se obtienen inicialmente de una derivación o bomba, pueden ser claras e incoloras, pero al dejar de fluir ésta, el hierro se separa de la solución dando una apariencia turbia al agua y acumulándose más tarde en el fondo como un depósito colorado de herrumbre.

Los *cloruros* se encuentran en concentraciones muy altas en el agua de mar, usualmente del orden de 20,000 mg/lit. Sin embargo, el agua de lluvia contiene mucho menos de 1 mg/lit de cloruro. Las capas acuíferas que contienen concentraciones grandes de cloruro son, usualmente, las de las costas con acceso directo al mar, o las que estuvieron comunicadas con él alguna vez en el pasado. El bombeo excesivo de pozos de capas acuíferas con acceso directo al mar o a ríos de agua salada hacen que estas aguas

con alto contenido de cloruro invadan zonas, que de lo contrario tendrían agua dulce de las capas acuíferas. Debe solicitarse asesoría técnica experta para averiguar si existe este fenómeno.

Usualmente, el agua con un alto contenido de cloruro de sodio tiene un sabor desagradable y puede ser indeseable para ciertos propósitos agrícolas. El nivel al cual es notable el sabor varía de una persona a otra, pero generalmente es del orden de 250 mg/lt. Sin embargo, mucho depende del grado al cual la gente se ha acostumbrado a consumir tales aguas. Usualmente, los animales pueden beber agua con mucho más cloruro del que los humanos pueden tolerar. Se sabe que el ganado consume agua con un contenido de cloruro que varía de 3,000 mg/lt a 4,000 mg/lt.

Las concentraciones de *fluoruro* en el agua del subsuelo son generalmente pequeñas y provienen principalmente del deslave de las rocas ígneas. Notable entre los pocos casos de concentraciones altas es el informe de 32 mg/lt de un pozo surgente cerca de San Simón, Arizona, Estados Unidos de América. Se han señalado también concentraciones altas en algunas regiones de la India, Pakistán y África.

Cuando se encuentra en concentraciones menores de 1.0 mg/lt generalmente el fluoruro disminuye la incidencia de caries dental en los niños y es conveniente su presencia. Sin embargo, las concentraciones excesivas provocan una coloración parda y picaduras de los dientes llamada fluorosis dental. Esta afección es particularmente notable en los niños, pero también puede afectar a los adultos. El nivel de concentración al que ocurre este efecto adverso varía de una comunidad a otra, dependiendo de factores tales como la temperatura y la ingestión de fluoruro en el cuerpo por medio del alimento. También es probable que el consumo continuo de aguas que contienen fluoruro en exceso de 4 mg/lt puedan afectar la estructura ósea. Las aguas con concentraciones superiores a aproximadamente 3.5 mg/lt usualmente no se recomiendan para abastecimientos de agua potable.

El contenido de *nitrate* en las aguas del subsuelo varía considerablemente y, a menudo, no está relacionado con las formaciones geológicas de la zona. Las concentraciones elevadas de nitrato se deben muy frecuentemente a la percolación de las aguas superficiales que contienen desperdicios humanos y/o animales y otros productos de desecho agrícola en las capas acuíferas o al flujo directo de corrientes superficiales contaminadas hacia los pozos. Por lo tanto, deben tomarse precauciones en la localización y construcción de pozos poco profundos en áreas donde se encuentran retretes, resumideros y corrales. Estas precauciones se discuten en secciones posteriores que tratan sobre diseño de pozos (Capítulo 4) y la protección sanitaria de los abastecimientos de agua del subsuelo (Capítulo 9).

Las concentraciones elevadas de nitrato en el agua producen un efecto conocido como cianosis (metemoglobinemia) en los niños. Esta afección que se caracteriza por una coloración azulosa de la piel, indiferencia y ale-

targamiento, puede ser mortal. Por esta razón, el agua que contiene nitrato en exceso de 45 miligramos por litro no debe usarse en la preparación de alimentos para niños menores de seis meses de edad. Debe hacerse notar que al hervir este tipo de agua solamente se conseguirá aumentar la concentración de nitrato.

El *sulfato* en el agua del subsuelo se deriva principalmente de la lixiviación de los depósitos naturales de sulfato de magnesio (sales de Epsom) o de sulfato de sodio (sal de Glauber) las cuales, en cantidades suficientes, pueden producir efectos laxantes.

*Dureza* es la propiedad del agua que se demuestra mejor por la facilidad con la cual disuelve el jabón para producir espumas. No se producen éstas en un agua dura hasta que los minerales que causan la dureza se han eliminado por combinación química con componentes del jabón. Mientras más alta es la dureza, más jabón se requiere para producir espuma.

La dureza producida por los bicarbonatos de calcio y magnesio puede eliminarse casi por completo hirviendo el agua, y se llama *dureza temporal*. La dureza causada principalmente por los sulfatos y cloruros de calcio y magnesio no se puede eliminar por ebullición y se llama *dureza permanente*. La *dureza total* es la suma de dureza temporal y permanente.

La eliminación de la dureza temporal por medio del calor produce depósitos de carbonatos de calcio y magnesio como una costra dura en las marmitas, los utensilios de cocina, los serpentines de calentamiento y los tubos de las calderas, lo cual resulta en un desperdicio de combustible.

El término *sólidos totales disueltos* se refiere a la suma de todos los minerales tales como cloruros, sulfatos, etc., que se encuentran disueltos en el agua. Por lo tanto, debería esperarse que un agua con un alto contenido de sólidos totales disueltos presente los problemas de sabor, efectos laxantes y otros asociados con cada uno de los minerales. Tales aguas son, usualmente, corrosivas para las rejillas del pozo y otras partes de su estructura.

El *pH* es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua que indica si ésta es ácida o alcalina. Sus valores varían entre 0 y 14, siendo el valor 7 el que indica el agua neutra, los valores entre 7 y 0 la acidez creciente y entre 7 y 14 el aumento de alcalinidad en las aguas. La mayoría de las aguas del subsuelo en los Estados Unidos de América tienen valores de pH que varían, aproximadamente, de 5.5 a 8. La determinación del valor de pH es importante en el control de la corrosión y muchos procesos en el tratamiento del agua.

El contenido de *oxígeno* disuelto en las aguas del subsuelo es usualmente bajo, particularmente en las aguas que se encuentran a grandes profundidades. El oxígeno acelera el ataque corrosivo del agua sobre el hierro, el acero, el hierro galvanizado y el bronce. El proceso de corrosión también es más rápido cuando el pH es bajo.

El *sulfuro de hidrógeno* se reconoce por su olor característico de huevos podridos. Con frecuencia, se encuentra en las aguas de suelo que también contienen hierro. Además del olor, que es notable a una concentración tan baja como 0.5 miligramos por litro, el sulfuro de hidrógeno se combina con el oxígeno para producir corrosión en los pozos y también se combina con el hierro para formar un depósito de incrustación de sulfuro de hierro en las tuberías. La mayor parte del sulfuro de hidrógeno se puede eliminar del agua del suelo esparciéndola en el aire o permitiendo que caiga en capas delgadas sobre una serie de bandejas.

El *dióxido de carbono* entra en el agua en cantidades apreciables al percolarse ésta a través del suelo en el que crecen plantas. Disuelto en el agua forman ácido carbónico, el cual junto con los carbonatos y bicarbonatos controla el valor del pH de la mayoría de las aguas de suelo. Una reducción de la presión, tal como la causada por el bombeo de un pozo, redundaría en la liberación del dióxido de carbono y en un aumento en el valor del pH del agua. Por lo tanto, el ensayo de muestras de agua de suelo para investigar el contenido de dióxido de carbono y el pH, requiere técnicas especiales y debe efectuarse en el propio pozo. La liberación del dióxido de carbono de una agua también puede coincidir con la fijación de los depósitos de carbonato de calcio.

Si bien la lista anterior incluye las sustancias químicas que quizá más preocupan a los propietarios de pozos pequeños, no es por ningún concepto exhaustiva, ni trata de serlo. Las condiciones peculiares a regiones específicas pueden requerir análisis de las aguas del suelo para investigar otras sustancias. El grupo de elementos que a menudo se conocen como *huellas* a causa de la exigua concentración en que usualmente se encuentran en el agua, es necesario mencionarlos aquí. Entre éstos se encuentra el arsénico, el bario, el cadmio, el cromo, el plomo y el selenio, todos los cuales se consideran tóxicos para el hombre a niveles muy bajos de ingestión (del orden de una fracción de miligramo por litro). Como el paso de algunos de estos elementos a través del cuerpo es muy lento, los efectos de dosis repetidas son acumulativos y suelen producir envenenamiento crónico.

Los elementos de huellas generalmente no están presentes en concentraciones nocivas en las aguas del suelo, pero pueden estarlo en unas cuantas zonas determinadas. Por ejemplo, se ha informado que se ha encontrado arsénico en concentraciones suficientemente altas en las aguas del suelo de algunas partes de Argentina y México para considerarse perjudiciales a la salud. Es más probable que surjan problemas en los lugares donde las industrias descargan sus desperdicios, tales como la de electroplateado, y los escurrimientos superficiales que contienen concentraciones altas de parasiticidas (insecticidas y herbicidas) invaden los mantos acuíferos.

La presencia de estos elementos de huellas en el agua potable no es generalmente perceptible por el sabor, olor o por la apariencia física del

agua. Se requieren análisis químicos adecuados para su determinación. Los departamentos de Salud, los laboratorios, los departamentos de investigación geológica y otros organismos competentes se deben consultar en las zonas donde es probable que la eliminación de desperdicios aumente el contenido natural de estos elementos en el agua del subsuelo, o donde los niveles naturales tienen probabilidades de ser altos a causa de la geología local.

## CAPITULO 3

### EXPLORACIÓN DEL AGUA DEL SUBSUELO

El agua se puede encontrar casi en cualquier parte bajo la superficie de la tierra. Sin embargo, es necesario mucho más trabajo de exploración para el agua del suelo que la simple localización de la del subsuelo. El agua debe encontrarse en grandes cantidades, ser capaz de fluir sin interrupción hacia los pozos durante períodos largos de tiempo a velocidades razonables y ser de buena calidad. Para ser confiable, la exploración para localizar el agua del subsuelo debe combinar el conocimiento científico con la experiencia y el sentido común. No se puede lograr por la sola agitación de una horquilla mágica como lo pregonan los que practican lo que se conoce como brujería del agua, o varita para localizar agua.

Encontrar la ubicación correcta para un pozo que produce un buen abastecimiento de agua constante durante todo el año, suele ser el trabajo para científicos adiestrados en hidrología. Estos científicos se llaman hidrólogos. Su ayuda puede encontrarse en los departamentos de investigación geológica, organizaciones de ingeniería gubernamentales y privadas, universidades, siempre que cuenten con ellos. Para los proyectos de desarrollo de agua del suelo, en gran escala, debe consultarse siempre a estos expertos, porque usualmente implican grandes gastos de capital. Sin embargo, debe resultar evidente, de acuerdo con las secciones restantes de este capítulo, que un número suficiente de las herramientas de los hidrólogos están basados en la aplicación del sentido común, la inteligencia y el buen juicio para permitir su uso con éxito razonable por el individuo promedio que se interesa por la localización de pozos pequeños. La interpretación de los datos geológicos pueden presentar problemas aunque, con cierta ayuda, éstos no deben ser totalmente insolubles para algunos de nuestros lectores. El uso de los inventarios de pozos y de los indicios superficiales de la localización del agua del subsuelo no debe ofrecer dificultades y encuentra mayor aplicación general.

Las secciones siguientes describen las herramientas más simples de los hidrólogos así como su uso. Los métodos más complicados de exploración que implican la aplicación de la Geofísica se consideran fuera del alcance del presente manual y, por lo tanto, se han excluido. Es suficiente hacer notar que están a disposición del hidrólogo para proporcionarle información adicional para fundamentar su selección.

## DATOS GEOLOGICOS

Antes de visitar el área que se va a investigar, el hidrólogo busca y estudia todos los datos geológicos existentes que se refieren a ella. Estos deben incluir mapas geológicos, secciones transversales y fotografías aéreas.

### Mapas geológicos

Los mapas geológicos, de los cuales la figura 3.1 es un ejemplo, muestran los puntos en que las diferentes formaciones rocosas, consolidadas o no, salen o afloran a la superficie de la tierra, su veta o la dirección en la que descansan, su inclinación o el ángulo que tienen con respecto a la horizontal. Otra información útil debe incluir la localización de fallas y curvas de nivel indicando la profundidad hasta el lecho de roca en toda el área.

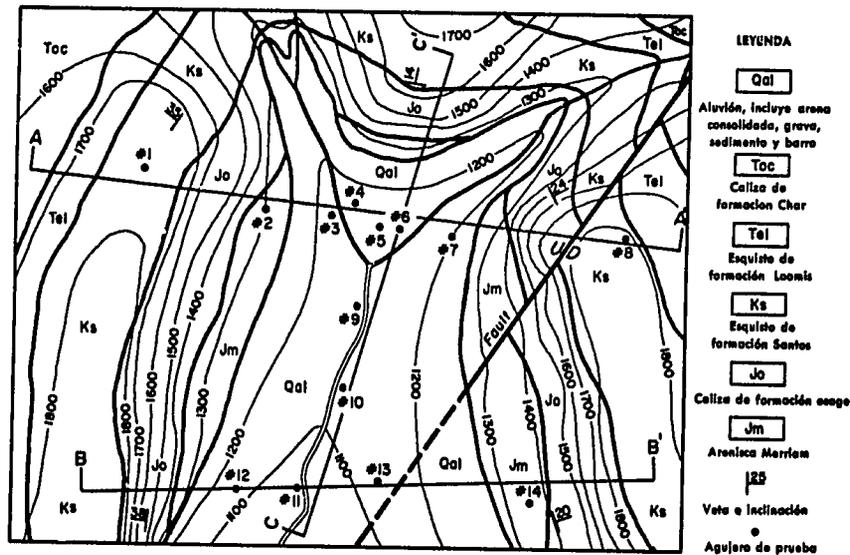


Figura 3.1 EJEMPLO DE UN MAPA GEOLOGICO MOSTRANDO LA LOCALIZACION DE LOS AGUJEROS DE PRUEBA.

Las fallas son líneas de fractura alrededor de las cuales están relativamente desordenadas las formaciones de roca. Son el resultado de fuerzas que actúan en la tierra para causar derrumbes laterales, deslizamientos o levantamientos. El hidrólogo puede determinar la ubicación y extensión superficial de las capas acuíferas por el tipo y localización del afloramiento de rocas y la localización de las fallas. Las fallas también son sitios probables para la aparición de arroyos. La anchura de la afloración y el ángulo de inclinación le indican el espesor aproximado de una capa acuífera y las profundidades a las que puede encontrarse. La combinación de la veta y la inclinación le dicen en qué dirección debe localizar un pozo para obtener el espesor máximo de la capa acuífera. Las afloraciones de la superficie también indican las áreas posibles de recarga para una capa acuífera y,

por deducción, la dirección del flujo en ella. El contorno del lecho de roca indica la profundidad máxima a la que debe perforarse un pozo en busca de agua.

### Secciones transversales geológicas

Las secciones transversales geológicas proporcionan algunos de los principales indicios de las características del agua del subsuelo de una localidad, indican el tipo, el espesor y la sucesión de las formaciones subyacentes y, por lo tanto, las profundidades y espesores de las capas acuíferas existentes. Las principales fuentes de información para la preparación de estas secciones son registros de pozos y exposiciones naturales donde las caras de la roca no se han alterado grandemente por la acción del tiempo. Ejemplos de los últimos se pueden ver en algunos valles de ríos y cañadas. Estas secciones también pueden indicar si existen rasgos de capa freática o artesianas en una formación acuífera. Las secciones transversales de la Figura 3.2, obtenidas del mapa geológico de la Figura 3.1, ilustran muchas de las características importantes antes mencionadas.

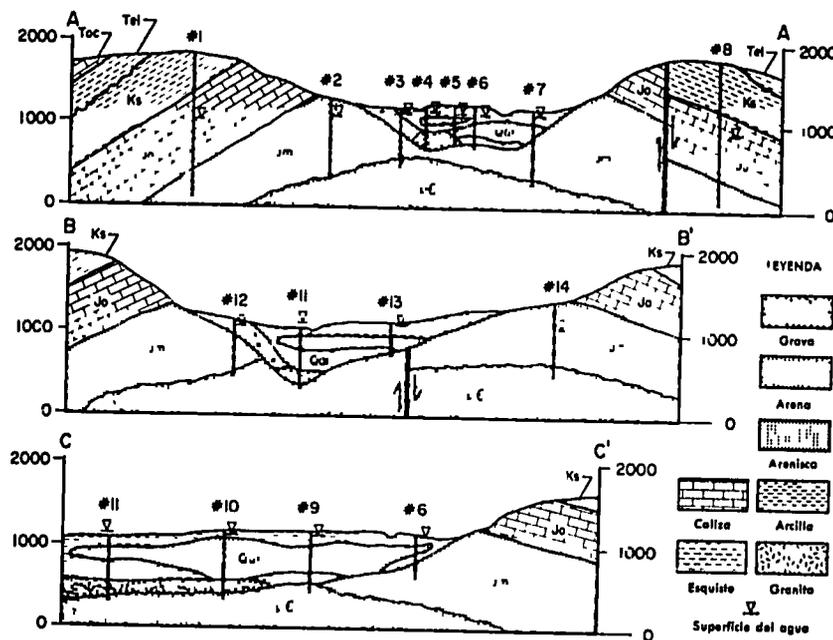


Figura 3.2 SECCIONES TRANSVERSALES GEOLOGICAS DEL MAPA DE LA FIGURA 3.1.

### Fotografías aéreas

Las fotografías aéreas, hábilmente interpretadas, proporcionan información valiosa sobre las características del terreno que influyen considerablemente en la existencia de agua en el subsuelo. Las características que

indican condiciones del subsuelo, tales como vegetación, forma y uso de la tierra, erosión, cauces de drenaje, terrazas, planos aluviales y depósitos de grava son evidentes en las fotografías aéreas. El intérprete avezado de las fotografías aéreas puede determinar las áreas más prometedoras para el alumbramiento del agua del suelo.

### **INVENTARIO DE POZOS EXISTENTES**

En seguida, el hidrólogo hace un estudio de toda la información disponible sobre los pozos existentes.

Los *registros de pozos*, que son notas de información concerniente a la perforación y construcción de los pozos, pueden ser las fuentes principales de información. De estos registros se puede obtener información como la localización y profundidad del pozo; profundidad, espesor y descripción de las formaciones de roca penetradas; variaciones del nivel del agua al penetrar los estratos sucesivos; rendimientos de las formaciones portadoras de agua penetradas, y la correspondiente aspiración; la forma de construcción del pozo, y el rendimiento y aspiración del pozo terminado. Muchas empresas perforadoras también conservan muestras de las rocas de las distintas formas penetradas. Junto con el registro del pozo debe existir un informe de la calidad del agua (características físicas y químicas) de los estratos portadores encontrados. De interés adicional para el hidrólogo serán los registros de cualquier prueba en que se emplean el pozo o sus materiales para determinar las características hidráulicas, tales como permeabilidad y transmisibilidad de la capa acuífera. Para completar el cuadro, debe interesarse en los registros de las variaciones de rendimiento y calidad del agua y una historia de cualquier problema relativo al pozo desde su terminación. El hidrólogo puede desear que se hagan nuevas comprobaciones en ciertos aspectos de estos registros, tales como la calidad del agua y el rendimiento.

Todos estos datos pueden no obtenerse de una sola fuente. Además de las distintas dependencias ya mencionadas, el hidrólogo puede tener que consultar a los propietarios de pozos y a las empresas perforadoras.

Con los registros de un número suficiente de pozos, el hidrólogo estaría capacitado para hacer un plano acotado de la capa freática o de la superficie superior de la zona de saturación. Para esto, emplea las profundidades medidas desde la superficie de la tierra hasta la capa freática en los pozos y la altura de la superficie de la tierra sobre el nivel del mar, que obtiene de mapas topográficos o de un levantamiento en el terreno. Entonces, une todos los puntos de igual elevación de la capa freática en un plano. Este plano acotado muestra la forma de la superficie del agua. Es un plano muy importante en el que se muestra no solamente la profundidad bajo la cual se almacena el agua del subsuelo, sino también la pendiente de la capa freática y la dirección en que fluye el agua.

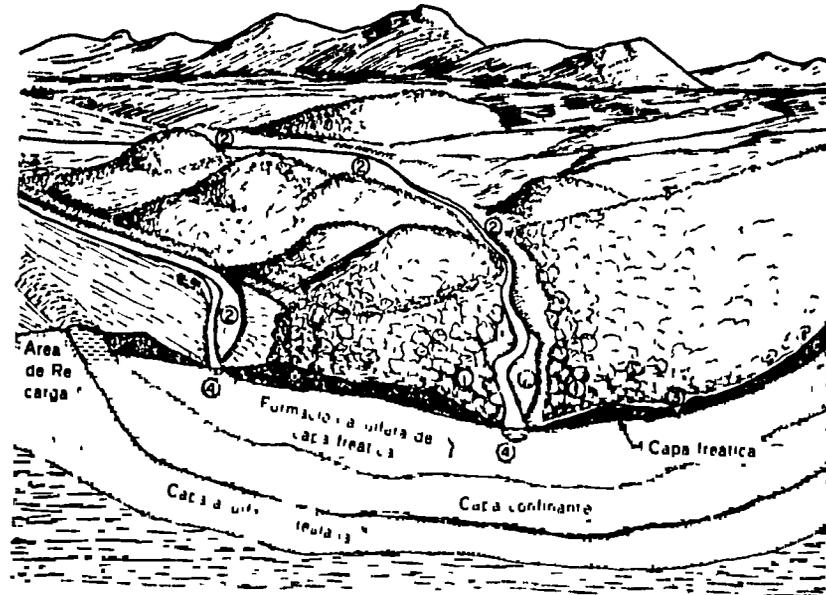
## **INDICIOS EN LA SUPERFICIE**

Ahora, el hidrólogo está preparado para visitar la zona y efectuar una observación más cercana de cualquier indicio superficial de agua subterránea. Examinará con mayor detalle las características superficiales importantes que había notado en los planos topográficos y las fotografías aéreas. Entre las características que le podrían proporcionar indicios valiosos, se encuentran los accidentes del terreno, la estructura de la red hidrográfica, los manantiales, los lagos y la vegetación. Es probable que el agua del suelo aparezca en mayor cantidad bajo los valles que bajo las colinas. Los rellenos del valle que contienen residuos de rocas deslavadas de las laderas de las montañas, a menudo resultan ser capas acuíferas muy productivas. El material puede haberse depositado por las corrientes o inundaciones junto con algo del material más fino que penetra en los lagos para formar sus lechos estratificados. Algunos de estos depósitos, también, se pueden haber transportado por el aire y vuelto a depositar como dunas de arena. Todos éstos y otros factores influyen sobre el ritmo de producción de agua del relleno del valle. Las terrazas de la costa, formadas por zonas costeras hundidas y elevadas con relación al nivel del mar en el pasado geológico, y las llanuras costeras y de los ríos son otras formaciones de tierra que indican la presencia de buenas capas acuíferas.

Cualquier indicio de agua superficial, tal como corrientes, arroyos, manantiales, pantanos o lagos, puede indicar, a su vez, la presencia de alguna forma de agua del suelo, aunque no necesariamente en cantidad aprovechable. Los depósitos de arena y grava que se encuentran en los lechos de los ríos pueden, muy frecuentemente, extenderse lateralmente en las riberas de los mismos y pueden penetrarse por medio de pozos poco profundos, altamente productivos.

Cuando se encuentra en regiones áridas plantas que requieren mucha humedad, esto constituye un buen indicio de la existencia de agua subterránea a poca profundidad. La presencia de vegetación exuberante es generalmente indicio seguro de la existencia de corrientes y otras aguas superficiales, cuyos alrededores serán sitios propicios para la búsqueda de agua del subsuelo. La Figura 3.3 demuestra la aplicación de algunos de los principios antes citados en la selección de sitios posibles para pozos.

En muchas zonas, el hidrólogo no dispondrá de algunos de los registros, mapas y otras informaciones pertinentes que ya hemos mencionado. Cuando lo justifique la magnitud del proyecto, tratará de producir toda la información dentro de lo factible. En otras situaciones, muy probablemente el caso para el tamaño de los pozos aquí considerados, simplemente empleará su criterio basado en la información a su alcance.



**Figura 3.3 INDICIOS SUPERFICIALES DE LA EXISTENCIA DE AGUA SUBTERRANEA.** (Adaptado de la figura 4, *Water Supply for Rural Areas and Small Communities*, serie de monografías WHO número 42, 1959).

1. Vegetación densa indicando una posible capa freática poco profunda y la proximidad de una corriente superficial.
2. Llanuras fluviales: sitios posibles para pozos en formaciones acuíferas del tipo de capa freática.
3. Manantial donde aflora el agua subterránea. Los manantiales también pueden encontrarse al pie de las colinas y en las orillas de los ríos.
4. Los lechos de ríos atraviesan formaciones arenosas portadoras de agua. Esto indica la posibilidad de que sus márgenes sean buenos sitios para pozos.

## CAPITULO 4

### DISEÑO DE POZOS DE AGUA

Generalmente, el objetivo del diseño de ingeniería es conseguir la mejor combinación posible de rendimiento, vida útil y costo razonable. El diseñador de pozos pequeños, a menudo, encontrará que sus soluciones óptimas comprenden una serie de conciliaciones y que debe adoptar un enfoque flexible para cada problema. Entre estas conciliaciones está la necesidad de sacrificar rendimiento o eficiencia a fin de reducir costos. Por ejemplo, en la situación en que se requiere un rendimiento pequeño de una capa acuífera muy gruesa y permeable, puede justificarse el empleo de un tipo menos eficiente de sección de admisión tal como tubería ranurada en un pozo pequeño, para ahorrar el costo adicional de una rejilla más eficiente hecha en una fábrica. En este caso, el rendimiento limitado en comparación con la naturaleza altamente productiva de la capa acuífera hace que el costo y la disponibilidad de fondos desempeñen un papel más importante que la eficiencia hidráulica. También se puede considerar aconsejable la conciliación de la vida útil de un pozo pequeño con su costo. Con materiales de acero inoxidable y otros materiales no-corrosivos que cuestan dos o tres veces más que el acero ordinario, un diseñador puede usar este último material en condiciones corrosivas para el entubado del pozo, a sabiendas de que tendrá que reemplazarlo tal vez en la mitad del tiempo que hubiera tenido que hacerlo si hubiese usado acero inoxidable. Puede también haber basado su decisión en el hecho de que al fin de la vida útil más corta, podrá disponer de fondos adicionales para una sustitución del pozo existente.

Para propósitos de diseño, un pozo que se va a construir en materiales no consolidados puede considerarse que consiste en dos partes principales. La parte superior o *sección cubierta* del pozo sirve de albergue para el equipo de bombeo, y como conducto vertical a través del cual fluye el agua desde la capa acuífera hasta la bomba o el tubo de descarga de un pozo de tipo artesiano surgente. Usualmente es de construcción impermeable y se extiende hacia abajo desde la superficie hasta la formación impermeable situada inmediatamente encima de una capa acuífera o a una profundidad segura bajo el nivel anticipado de bombeo de agua. (Véase la última sección de este capítulo que trata de la protección sanitaria de los pozos). También se conoce como *entubado del pozo*.

La parte inferior o *sección de admisión* del pozo es la parte de su estructura en que el agua de la capa acuífera entra al pozo. La sección de admisión puede ser simplemente el extremo inferior abierto del entubado del pozo, aunque esto sería un arreglo muy defectuoso en formaciones no consolidadas. Las desventajas son los grandes diámetros del pozo requeridos para la infiltración natural del agua dentro de él y la tendencia del material de la capa acuífera a ascender en el entubado del pozo al efectuarse el bombeo. Un mecanismo de rejilla conocido como *colador de pozo* debe usarse en su lugar. Esa rejilla permite el empleo de técnicas encaminadas al aumento del grado de infiltración natural en el pozo (véase la última sección sobre ingeniería de pozo), ofreciendo así la conveniencia de un pozo mucho más pequeño. Además de asegurar que no se obstruya la entrada del agua en el pozo a baja velocidad, el colador debe proporcionar soporte estructural contra el derrumbe del material de formación no consolidado y evitar la entrada de éste con el agua en el pozo.

### SECCION ENTUBADA

La selección del *diámetro* de la tubería del pozo se controla, usualmente, por el tipo y tamaño de la bomba que se espera instalar para el rendimiento potencial o deseado del pozo. El entubado del pozo debe ser suficientemente grande para alojar la bomba con bastante holgura para su instalación fácil y funcionamiento eficaz. Para pozos más grandes, tales como los que se usan para abastecimiento municipal e industrial, el diámetro del revestimiento debe escogerse dos tamaños nominales (nunca menos de un tamaño nominal) mayor que el de las cajas de la bomba. Para pozos de cuatro pulgadas o menos de diámetro, es satisfactorio escoger un diámetro de entubado que sea un tamaño nominal mayor que el de las cajas, el cilindro, o el cuerpo de la bomba. Lo anterior supone el uso de una bomba de tipo de pozo profundo que usualmente se suspende por medio de una columna de tubo y/o flecha dentro del entubado del pozo. Una bomba que tenga un diámetro de caja (ver Figura 8.11) mayor de tres pulgadas (7.5 cm) no debe, de acuerdo con esta regla, instalarse en una tubería de cuatro pulgadas de diámetro.

En pozos pequeños, donde se sabe que los niveles de bombeo del agua bajo la superficie del suelo se encuentran dentro de los límites prácticos de succión (quince pies (4.5 m) o menos) de la mayor parte de las bombas del tipo de superficie, tales máquinas se conectan, ya sea directamente en el extremo del entubado del pozo, o con una tubería de succión suspendida dentro del entubado del pozo. El diámetro de éste puede luego seleccionarse en relación al diámetro de la succión o admisión de la bomba, teniendo en mente que no es aconsejable restringir la capacidad de succión de la bomba empleando tubería de diámetro más pequeño que el de su lado de succión.

En pozos más grandes y más profundos que los que se consideran, algunas veces es ventajoso, por razones económicas y de otro tipo, reducir el diámetro del revestimiento a niveles inferiores a la mayor profundidad de bombeo prevista. Esto se hace instalando, en forma de telescopio, una o más secciones de entubado de tamaño más pequeño a través de la superior. Esto ahorra el costo adicional de prolongar el entubado de diámetro mayor todo el trayecto hacia abajo hasta la capa acuífera, cuando un tamaño menor de tubería sería suficiente para alojar el flujo previsto sin excesiva pérdida de carga. Sin embargo, hay poca justificación para este tipo de diseño en pozos de cuatro pulgadas (10 cm) o menos de diámetro y no más de cien pies (30 m) de profundidad.

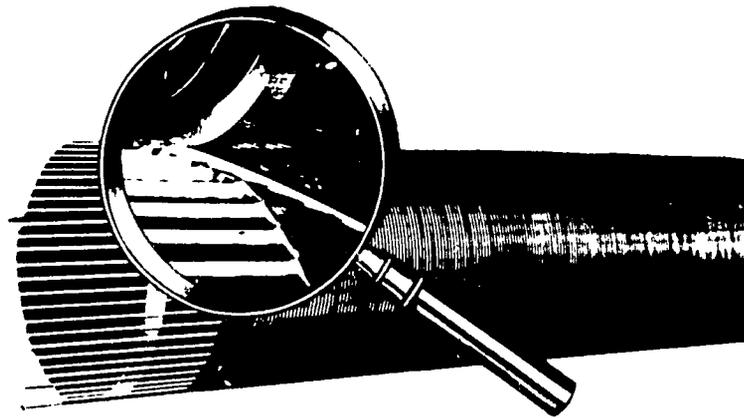


Figura 4.1 FABRICACION DE UN COLADOR DE POZO DEL TIPO DE RANURA CONTINUA.

## SECCION .DE .ADMISION

### Tipo y construcción de la rejilla

El factor que más influye en el funcionamiento eficiente de un pozo es el diseño y la construcción de su rejilla. Una rejilla propiamente diseñada combina un alto porcentaje del área abierta para el flujo relativamente libre, dentro del pozo, con potencia suficiente para resistir las fuerzas a que puede quedar sujeta la rejilla durante la instalación en el pozo y después de ella. Las aberturas de la rejilla, preferiblemente, deberán tener una forma que facilite el flujo dentro del pozo, a la vez que dificulte a las partículas pequeñas alojarse permanentemente en ella restringiendo así el flujo. En los párrafos siguientes se examinan varios tipos de rejillas de pozo y sus aplicaciones.

En la Figura 4.1 se presenta la rejilla de pozo de tipo de *ranura continua*, hecha de alambre estirado en frío, de sección aproximadamente triangular, enrollado en forma de espiral alrededor de un conjunto circular

de varillas longitudinales. El alambre se suelda a las varillas en todos los puntos de contacto.

La rejilla de pozo cilíndrico resultante viene a ser una unidad rígida de una pieza.

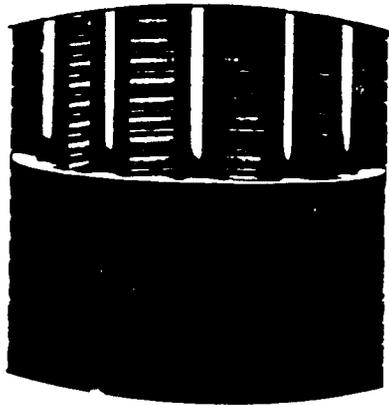
Mientras más fuerte sea el material usado en la construcción, más pequeñas serán las dimensiones de las varillas de alambre y, por lo tanto, mayor la relación de espacio abierto y área compacta de la superficie de la rejilla. Estas están hechas de metales tales como hierro galvanizado, acero, acero inoxidable y varios tipos de latón. También se están experimentando, con este fin, materiales plásticos.

El porcentaje de espacio abierto es el factor que más influye en la eficiencia de un colador. Como se verá más adelante, el tamaño de la abertura de una rejilla de pozo se determina por el tamaño de las partículas del material que compone la capa acuífera. Con este tamaño fijado, el objetivo del diseño de la rejilla es obtener el máximo espacio abierto total posible en una longitud dada de rejilla. Mientras más grande sea el área abierta total, menor será la resistencia al flujo dentro del pozo. La velocidad de entrada a través de la mayor área de admisión es, también, más baja y lo mismo sucede con la pérdida de carga resultante del flujo a través de la rejilla. Por lo tanto, tenemos una rejilla de pozo más eficiente. Mientras más grande sea el porcentaje del área abierta en una rejilla, mayor será el área abierta total en una longitud dada del colador.

Visto de otra manera, mientras mayor sea el porcentaje de área abierta en una rejilla, más corta será la longitud necesaria para un gasto determinado a una velocidad dada. Esto significa que puede obtenerse un ahorro en los costos de construcción con el empleo de una menor longitud de rejilla. La rejilla de tipo de ranura continua proporciona más área de admisión por unidad de superficie de rejilla o por unidad de longitud de rejilla, que ningún otro tipo conocido y, por lo tanto, puede redundar en ahorros su empleo.

Junto con el máximo de área abierta en una rejilla de pozo, el diseño también debe ser tal, que las aberturas no se obstruyan por las partículas de arena una vez colocada la rejilla en la capa acuífera. Esto se logra mediante aberturas en forma de V constituidas por el alambre triangular, como se muestra en la Figura 4.2.

En la Figura 4.3 se muestra un grano de arena entrando y pasando a través de una abertura en forma de V, que nunca la obstruye, mientras que permanece en otros tipos conocidos de abertura y sí las obstruye. Esta propiedad de la abertura en forma de V es de importancia especial cuando se diseña el pozo, ya que el proceso de captación está basado en el paso de los tamaños más pequeños de partículas de arena a través de la rejilla y su eliminación del pozo. Este proceso, indispensable para la terminación del pozo, se describe más adelante en este capítulo.



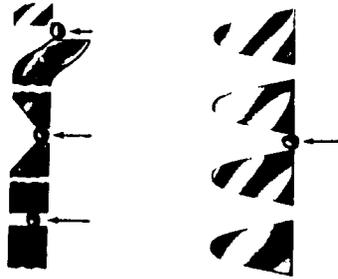
**Figura 4.2 SECCION DE UNA REJILLA DE TIPO DE RANURA CONTINUA MOSTRANDO LAS ABERTURAS EN FORMA DE V.**

Otra característica notable de la rejilla de tipo de ranura continua es el hecho de que las aberturas de la ranura pueden variar fácilmente en tamaño, aun dentro de la misma sección de la rejilla, si las condiciones geológicas así lo requieren. Esto se hace simplemente modificando el espaciamiento en que se envuelven los alambres adyacentes. De esta manera, una sola sección de rejilla puede hacerse con uno o más tamaños diferentes de abertura de ranura. La anchura de las aberturas de ranura puede también mantenerse a tolerancias muy ajustadas.

Las rejillas de pozos de ranura continua se hacen prácticamente con cualquier anchura de abertura, de 0.006 pulgadas (0.015 cm) y más grandes. Las aberturas de la ranura están designadas por números correspondientes a la anchura de la abertura en milésimas de pulgada. De este modo, una rejilla con una ranura del número 10 tiene abertura de 0.010 pulgadas de ancho (0.025 cm).

Las rejillas de pozo del tipo de *lumbrera* o de *persiana* tienen hileras de aberturas en la forma de persianas (Figura 4.4). Los fabricantes pueden y así lo hacen, disponer las aberturas en ángulos rectos o paralelas al eje de la rejilla. Las aberturas se practican en la pared de un tubo soldado por una operación de troquelado utilizando una matriz. La variedad de tamaños de aberturas está limitada por los tamaños del juego de matrices usado por cada fabricante. Una variedad ilimitada de tamaños de matrices no sería práctica. Esta es una deficiencia de este tipo de rejilla comparada con la de ranura continua. Otra deficiencia importante es el porcentaje mucho menor de área abierta en las rejillas de tipo de persiana. Esto se debe a los espacios vacíos adecuados que deben dejarse entre aberturas adyacentes si el metal no se desprende en el proceso de troquelado.

Otro inconveniente de la rejilla de tipo de persiana es la tendencia de las aberturas a obstruirse durante el desarrollo de los pozos (Figura 4.3) cuando el material de la capa acuífera contiene una proporción apreciable de arena. Por lo tanto, este tipo de rejilla se utiliza mejor en los pozos artificialmente empacados con grava, cuya descripción se presenta posteriormente en este capítulo.



**Figura 4.3 LAS ABERTURAS EN FORMA DE V DE LA REJILLA DEL TIPO DE RANURA CONTINUA (DERECHA) PERMITEN QUE LOS GRANOS DE ARENA LIGERAMENTE MAS PEQUEÑOS QUE LA ANCHURA DE LAS ABERTURAS PASEN LIBREMENTE SIN OBSTRUIRLAS. LAS ABERTURAS SIN EL AHUSAMIENTO TIENDEN A DETENER LAS PARTICULAS SUFICIENTEMENTE PEQUEÑAS PARA PENETRAR EN ELLAS.**

La rejilla de pozo *con base de tubería* es otro tipo que se usa. Consiste en una chaqueta alrededor de un tubo de metal perforado. La chaqueta puede ser en forma de un alambre trapezoidal enrollado directamente alrededor de la tubería (se llama rejilla de tubería envuelta). También puede enrollarse el alambre en una serie de varillas longitudinales espaciadas a intervalos fijos alrededor de la circunferencia del tubo. Este último es un tipo más eficiente de rejilla ya que las varillas sostienen el alambre alejado de la superficie del tubo para reducir la obstrucción de las aberturas de la rejilla. Una rejilla más fuerte puede obtenerse em-

pleando una chaqueta de deslizamiento hecha de una unidad integral de rejilla de pozo soldada.

Las perforaciones o agujeros en el tubo y los espacios entre las vueltas adyacentes del alambre de envoltura forman dos juegos de aberturas en este tipo de rejilla. Usualmente, el área abierta total de los agujeros en el tubo es menor que la que existe entre el alambre de envoltura. Por lo tanto, son los agujeros del tubo los que controlan el rendimiento de la rejilla. El porcentaje del área abierta en el tubo es, generalmente reducido y por lo tanto, este tipo de rejilla es relativamente ineficaz.

Muy frecuentemente se emplea este tipo de construcción a fin de evitar la fabricación de una rejilla hecha en totalidad con las costosas aleaciones no-corrosivas tales como el acero inoxidable, el bronce o el latón. En tal caso, estas aleaciones se usan solamente en la chaqueta mientras que el tubo es de acero. Una rejilla así construida, con dos o varios metales, estaría expuesta a fallas por corrosión galvánica. La construcción de la rejilla exclusivamente con una de las aleaciones no-corrosivas, si bien es más costosa, resolverá este problema y resultará en una rejilla más durable.

*Las puntas de hincar o puntas coladoras*, como se conocen comúnmente, son trozos cortos de rejilla de pozo que se han unido a longitudes sucesivas de tubo y se han hincado por medio de golpes repetidos hasta la posición deseada en una capa acuífera o en una formación que va a desaguarse. Generalmente, una punta de acero forjado se encuentra unida al extremo inferior para facilitar la penetración en el terreno.

Las puntas coladoras se fabrican en diferentes tipos y tamaños. Por lo general, están diseñadas para unirse directamente a tubos de 1 1/4 ó 2 pulgadas (3.1 a 5 cm). Pueden hacerse del tipo de rejilla de pozo de *ranura continua* (Figura 4.5), aprovechando así todas las características deseables de ese tipo de rejilla. Estas rejillas soportarán una fuerte impulsión, pero debe tenerse cuidado de evitar que se tuerzan mientras se hincan.

Un tipo común de punta coladora es el de *chaqueta de latón*. Consiste en un tubo perforado cubierto con malla de alambre de bronce que a su vez, se cubre con una hoja perforada de latón para protegerlo de daños. La punta del extremo inferior, hecha de acero forjado, lleva un reborde más ancho para proteger la rejilla contra daños causados por la grava o las piedras al ser hincada. Las limitaciones de las rejillas de base de tubo también se aplican a este tipo de punta coladora.

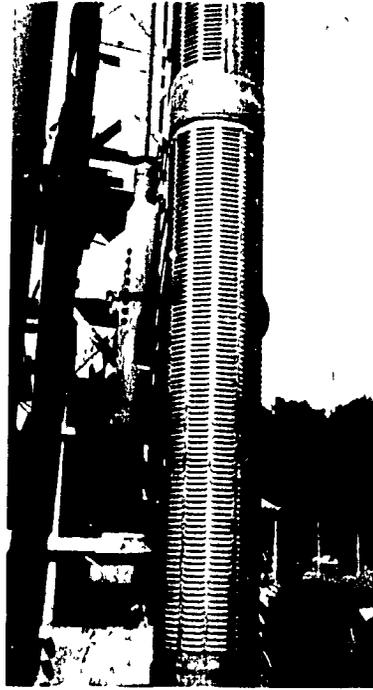
Otro modelo de punta coladora es el de *tubo de latón*, que consiste en un tubo de este material ranurado que se desliza en un tubo perforado. Tiene la ventaja, sobre el tipo de chaqueta de malla de alambre, de que no se desgarran ni se dañan tan fácilmente.

Los tamaños de las aberturas para el tipo de ranura continua de puntas coladoras se designan como se describió para las rejillas de pozo de ranura continua. Las aberturas de la punta coladora cubierta de malla se designan por el tamaño de la malla en términos del número de aberturas por pulgada lineal. Los tamaños comunes de malla son 40, 50, 60, 70 y 80.

Algunas veces, el *tubo ranurado* se usa como un sustituto para las rejillas de pozo, particularmente en los de tamaño más pequeño que se estudian en este manual. Las aberturas por ranuras en el tubo, usualmente se cortan con una sierra afilada, accionada eléctricamente, si es posible, para mantener exactitud y regularidad en el tamaño. Sin embargo, se han usado otros métodos tales como el corte con soplete de oxiacetileno y por medio de un cincel y matriz, o un perforador de revestimiento.

El método de construcción supone inmediatamente cierto número de limitaciones importantes al uso de tubo ranurado como rejilla para pozo. Estas son: (1) La resistencia estructural requiere espaciamiento amplio de las ranuras, resultando en un porcentaje bajo de área abierta; (2) las aberturas pueden ser inexactas, variando en tamaño en toda la longitud de cada ranura; (3) las aberturas suficientemente estrechas para controlar las arenas finas son difíciles, si no imposibles, de practicar; (4) la falta de continuidad de las aberturas reduce la eficiencia del proceso de captación del pozo; y (5) el ranurado y la perforación del tubo de acero lo exponen con mayor facilidad a la corrosión, particularmente en los bordes y superficies aserradas.

El tubo ranurado de plástico está encontrando uso creciente en los pozos de diámetro pequeño en años recientes. Su peso ligero y facilidad



**Figura 4.4 REJILLA DE POZO DEL TIPO DE LUMBRERA O PERSIANA, MEJOR EMPLEADA EN POZOS EMPACADOS ARTIFICIALMENTE CON GRAVA. (de Layne y Bowler, Inc., Memphis, Tennessee).**

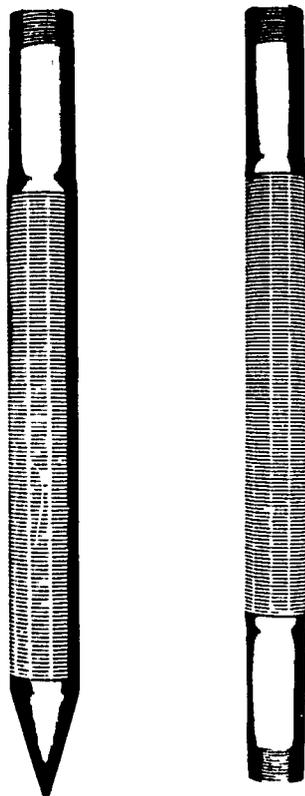
de manejo lo hacen adecuado para zonas remotas, poco accesibles para vehículos motorizados. Este no es corrosivo y cuesta menos que el tubo de acero en tamaños de 4 pulgadas (10 cm) de diámetro y más pequeños. Además, las ranuras se pueden hacer fácilmente en la posición con una sierra afilada dentro de los límites razonables de exactitud. Las ranuras cortadas en forma de espiral alrededor de la circunferencia del tubo como se muestra en la Figura 4.6 resultarían en un debilitamiento menor del tubo y un espaciado más cerrado de las ranuras que si se hacen en ángulos rectos con el eje. Consecuentemente, el porcentaje de área abierta es más grande. Las ranuras hechas en ángulo recto con el eje del tubo de plástico están sujetas a desgarraduras en ambos extremos si el tubo ranurado se dobla al manejarlo durante la instalación. Esta tenden-

cia se reduce por el uso del diseño en espiral.

El tipo más conveniente de unión para usarse con tubos de plástico de diámetro pequeño en la construcción de pozos es el de espiga. Para efectuar estas uniones, los fabricantes proporcionan un cemento de secado rápido que da una fuerza bastante adecuada y durable. La rejilla del tubo de plástico ranurado puede bajarse en un agujero previamente perforado en el extremo de la envoltura del mismo material. Se emplean abrazaderas de acero para suspender la línea de tubos mientras se agregan nuevos tramos. También puede lavarse, con los extremos abiertos, con un chorro de agua en un agujero previamente perforado. Debe usarse lodo de perforación adecuado durante las operaciones rotatorias de perforación para evitar que el agujero abierto se derrumbe mientras se está colocando en posición la línea de tubo de plástico. Debe tenerse cuidado de lavar el agujero para limpiarlo de recortes antes de colocar el tubo. Generalmente, las operaciones de manejo e instalación del tubo de plástico requieren mayor cuidado que los tubos de metal.

No puede asegurarse que el tubo de plástico sea tan eficiente en calidad de rejilla para pozo como el tipo de ranura continua. Sin embargo,

cuando solamente se requieren pequeñas cantidades de agua de capas acuíferas relativamente gruesas de arena y grava, o de grava, la eficiencia pierde parte de su importancia con respecto a la economía y la facilidad de construcción. Bajo estas condiciones, junto con las ya mencionadas, el tubo de plástico ranurado es una variante atractiva de las rejillas de pozo del tipo de ranura continua o de otros modelos de fabricación. Es adecuado, particularmente, para abastecer de agua zonas aisladas e inaccesibles.



**Figura 4.5 PUNTA COLADORA DEL TIPO DE RANURA CONTINUA Y SECCION DE EXTENSION.**

#### **Longitud de la rejilla, tamaño de las aberturas y diámetro**

La longitud, tamaño de las aberturas y diámetros de la rejilla del pozo son demás las características de diseño que influyen en el buen funcionamiento de un pozo. Además, determinan la velocidad de entrada del flujo en el pozo a través de la rejilla. Esta velocidad de entrada, a su vez, afecta la pérdida de carga o presión requerida para mantener el

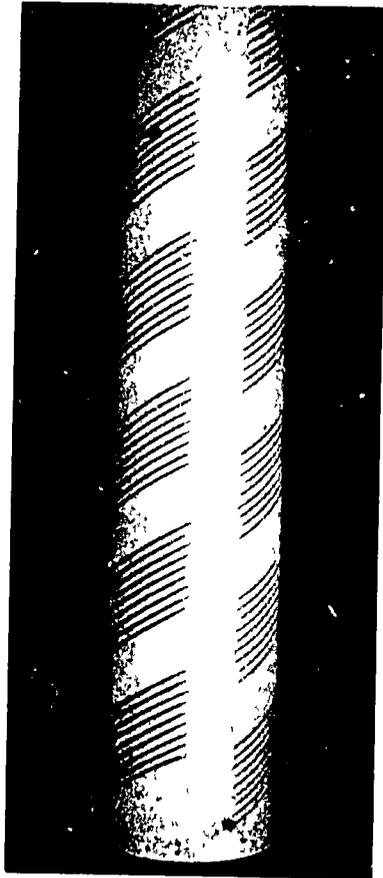
flujo, y como consecuencia, también influye en la eficiencia de la rejilla para esa velocidad de flujo.

Si se diseña un pozo para obtener el rendimiento máximo de una capa acuífera, entonces, el procedimiento deberá ser seleccionar, primero, la longitud de la rejilla y tamaño de las aberturas, basándose en las características naturales de la capa acuífera. El diámetro de la rejilla deberá seleccionarse para proporcionar un área total suficiente de aberturas para que la velocidad de entrada no exceda las normas de diseño escogidas. Sin embargo, de ordinario, los pozos pequeños se diseñan para proporcionar cierto rendimiento limitado, bastante inferior al óptimo, y el diámetro de la rejilla se

escoge con la intención primordial de mantener los costos lo más bajos posible. El diámetro seleccionado deberá ser, por lo tanto, el más pequeño que sea práctico, de acuerdo con el rendimiento esperado y el diámetro del revestimiento. Normalmente, no se considera aconsejable emplear una rejilla para el pozo, de diámetro más grande que el de la envoltura. El tamaño de las aberturas de la rejilla, como ya se dijo, se determina por las características de la capa acuífera, pero la longitud de la rejilla, en este caso, se calcula por el área total de las aberturas de la rejilla, requeridas para mantener la velocidad de entrada al ritmo calculado en el proyecto, o bajo éste. Si la longitud de la rejilla determinada sobre esta base es más grande de lo que permite la capa acuífera por su espesor y otras características entonces la

longitud de la rejilla se escoge al máximo compatible con estas limitaciones. Después de esto, se selecciona un diámetro apropiado de acuerdo con las normas de diseño para la velocidad de entrada en la rejilla. Una discusión más detallada de las normas de diseño para la velocidad de entrada se presenta después de la exposición de los efectos de las características de la capa acuífera en la selección de la longitud de la rejilla y el tamaño de las aberturas.

Los fabricantes hacen las rejillas para el pozo en dos series de tamaños, el tamaño telescopio y el tamaño para tubo o ID. Las rejillas de *tamaño telescopio* están diseñadas para "telescopiarse" o bajarse a través de la cubierta del pozo a la posición final. El diámetro de cada rejilla es sólo suficientemente más pequeño que el diámetro interior del tamaño correspondiente de tubo normal, para permitir que se baje libremente la rejilla a través del tubo.



**Figura 4.6 TUBO DE PLASTICO RANURADO.**

La serie de rejillas para pozo del *tamaño de tubo* o *ID* tienen el mismo diámetro interior que el tamaño correspondiente de tubo normal. Este tipo de rejilla se usa cuando se desea mantener el mismo diámetro en toda la profundidad del pozo. Comercialmente se encuentran en los tamaños pequeños que son objeto de este estudio, con los extremos dispuestos para conectarse por medio de soldadura o uniones roscadas.

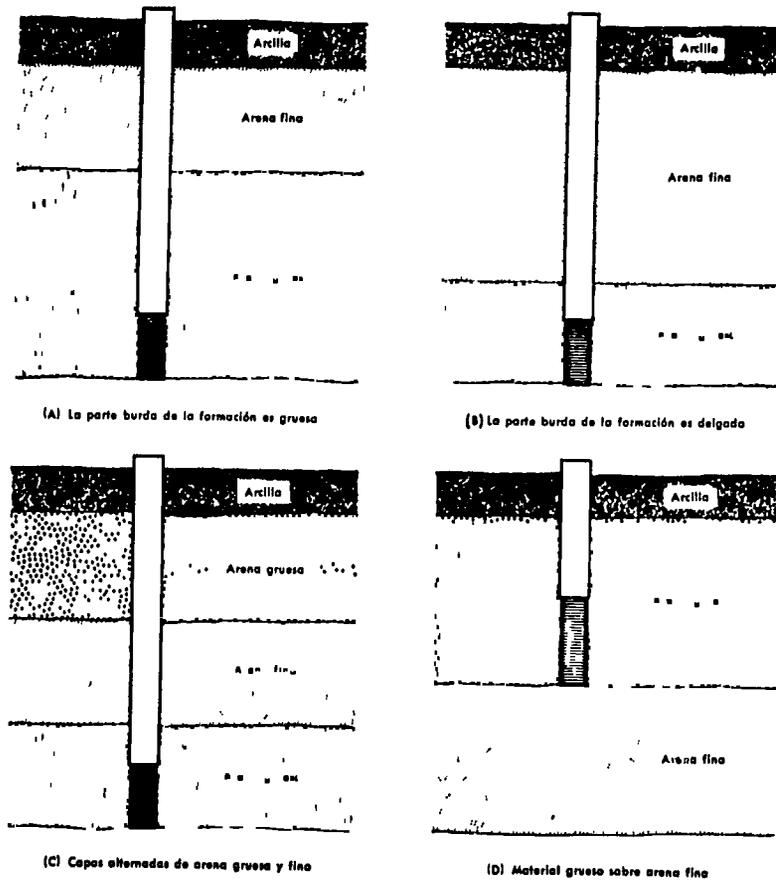
*Longitud de la rejilla:* la selección de la longitud de la rejilla puede estar determinada por el espesor de la capa acuífera. Si bien pueden establecerse reglas definidas, basadas en esta relación, para pozos grandes, no sería conveniente hacerlo para los pequeños. Un granjero o propietario de casa no debe echarse a cuestras una rejilla para pozo, grande y costosa, en una capa acuífera gruesa cuando sus requerimientos son tan pequeños que no lo justifican. La longitud de la rejilla deberá ser suficiente para satisfacer sus necesidades con una extracción razonable del pozo. Como ya se dijo, debe hacerse una conciliación entre el costo del pozo y su eficiencia. El otro extremo también debe evitarse. La economía no debe tomarse hasta el punto en que la longitud de la rejilla instalada sea tal que el rendimiento apenas llene las necesidades presentes del propietario. Debe preverse un margen razonable para necesidades futuras. La falta de esta precaución, con el tiempo, resulta más costosa para el propietario.

Es importante notar que en una capa acuífera gruesa, el rendimiento del pozo se aumenta mucho más eficientemente aumentando la longitud de la rejilla que incrementando proporcionalmente el diámetro de ésta. Por ejemplo, duplicar su diámetro solamente dará por resultado un aumento de 10 a 15% en el rendimiento. En la mayoría de los casos, sin embargo, duplicar la longitud de la rejilla hará que casi se duplique el rendimiento. Por lo tanto, es mucho mejor emplear la longitud de la rejilla como factor de control del rendimiento del pozo y no el diámetro de la misma en capas acuíferas gruesas.

El papel desempeñado por las características de la capa acuífera en la selección de la longitud de la rejilla se demuestra mejor al presentar unos cuantos ejemplos. Si una capa gruesa de arena burda o grava yace bajo una de arena fina como se muestra en la Figura 4.7 A, la longitud de la rejilla debe ser, por lo menos, 1/3 del espesor de la capa de arena gruesa. Para las situaciones mostradas en la Figura 4.7 B y la Figura 4.7 C, casi el espesor total de la capa inferior de arena gruesa debe quedar cubierta por la rejilla. Si esto resulta inadecuado para obtener el rendimiento deseado, entonces será necesario extender la rejilla un poco más hasta la capa siguiente de arena fina. Cuando una capa de arena gruesa descansa sobre una de arena fina, como en la Figura 4.7 D, normalmente debe ser suficiente colocar la rejilla en la capa de arena gruesa, siendo la longitud igual a, aproximadamente, la mitad del espesor de esa capa.

En capas acuíferas delgadas cautivas en arcilla particularmente las

que tienden a erosionarse fácilmente cuando se exponen al agua, las longitudes de la rejilla deben seleccionarse de manera de evitar la posibilidad de colocar las aberturas de la rejilla frente a estas arcillas. El filtrado de estas capas de arcilla puede ocasionar su derrumbe durante el proceso de captación del pozo haciendo que éste produzca continuamente agua lodosa.



**Figura 4.7 COLOCACION RECOMENDABLE DE LAS REJILLAS PARA POZO EN DIVERSAS FORMACIONES ESTRATIFICADAS, DE ARENA QUE CONTIENE AGUA.**

*Abertura de la ranura de la rejilla:* un conocimiento del método de selección del tamaño de las aberturas de la ranura de la rejilla requiere ante todo conocimiento del proceso y los objetivos del desarrollo del pozo. Como se dijo previamente, el material fino ocupa parte de los espacios de poro, que de otra manera serían más grandes, de las formaciones que contienen agua, aumentando así las pérdidas de carga debidas a la fricción y reduciendo la cantidad de agua suministrada por unidad de aspiración

en un pozo (capacidad específica). El objeto del *desarrollo del pozo* es retirar el material más fino en la mayor cantidad posible, de una zona alrededor del pozo, para mejorar la capacidad específica y la eficiencia del mismo. Existen diversos métodos que se usan para inducir el flujo de este material fino a través de la rejilla del pozo y, después, extraerlo por bombeo o achicando. Algunos de estos métodos se describen en el Capítulo 6; es suficiente hacer notar en este punto que el desarrollo del pozo comprende la extracción del material más fino de la capa acuífera en las cercanías de un pozo y que esta operación tiene lugar a través de la rejilla y fuera del revestimiento.

Por lo tanto, el tamaño limitante del material que se retira determina el tamaño de las aberturas de la ranura de la rejilla. Para determinar este tamaño limitante, primero debe llevarse a cabo un análisis del tamaño de

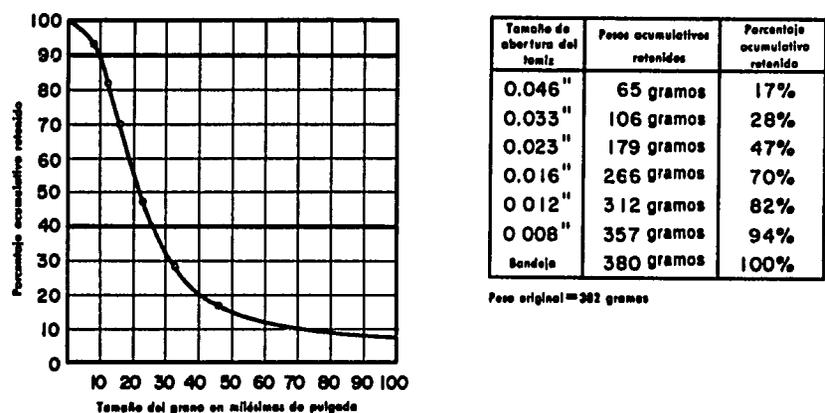
la partícula del material de la capa acuífera. Aproximadamente una taza de material seco y bien mezclado de la capa acuífera se pasa a través de un juego normal de tamices (Figura 4.8) y se anota el peso de las fracciones retenidas en cada uno. Estos pesos se expresan, entonces, como porcentajes del peso total de la muestra, y se traza una gráfica del porcentaje acumulativo de la muestra retenido en una malla determinada y en los demás tamices superiores, en relación con el tamaño del tamiz dado expresado en milésimas de pulgada (Figura 4.9). Se dibuja una curva continua a través de los puntos de la gráfica. Esta curva muestra en una ojeada qué cantidad del material es más pequeño o más grande que un tamaño dado de partícula. Por ejemplo, la curva de la figura 4.9 indica que el 90% de la muestra consiste en granos de arena mayores de 10 milésimas de pulgada o que el 10% es más pequeño que este tamaño. Expresado en otra forma,



**Figura 4.8 JUEGOS RECOMENDABLES DE TAMICES NORMALES PARA ANALIZAR MUESTRAS DE ARENA O GRAVA QUE CONTIENE AGUA.**

ma, podemos decir que el 90% de la arena es de 10 milésimas de pulgada.

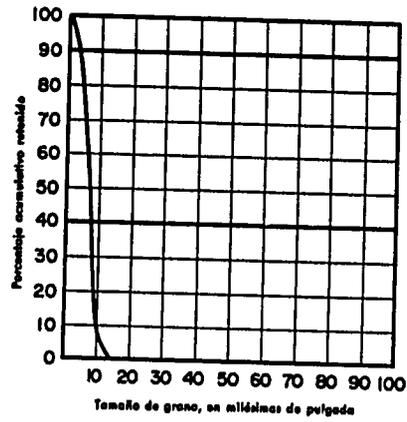
Antes de describir el uso de estas curvas de análisis por tamices para la selección de las aberturas de ranura de rejilla, conviene señalar otro empleo importante al cual se destinan. En este caso, se refiere al uso de la forma y localización de la curva para determinar la uniformidad en el tamaño del material y la clasificación de éste en tipos tales como arenas finas, arenas gruesas y gravas. Por ejemplo, una curva ampliamente extendida, casi vertical, indica un tipo uniforme de material. Si esta curva ocupa el lado izquierdo de la gráfica (Figura 4.10 A) en la región de los tamaños pequeños de tamiz, entonces representa una arena fina uniforme. Por otra parte, una curva ampliamente extendida a través de la gráfica, como en la figura 4.10 B, indica una mezcla de arena y grava que contiene muy poca arena fina. Una capa acuífera de ese material tendrá una permeabilidad más alta y debe ser mejor productora de agua que la que contenga arena fina de la figura 4.10 A.



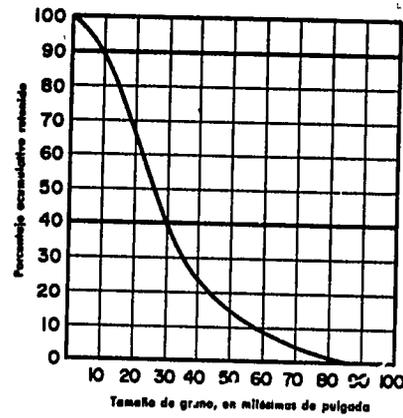
**Figura 4.9 LA CURVA TIPICA DE ANALISIS POR TAMIZ MUESTRA LA DISTRIBUCION POR TAMAÑOS DEL GRANO EN PORCENTAJE POR PESO.**

Examinando atentamente la Figura 4.10 B se observa que, extrayendo todo el material más fino del tamaño de 40%, quedaría solamente material más grueso de 0.050 pulgadas en la formación. Este material relativamente grueso tendría espacios de poros grandes a través de los cuales el flujo sería más o menos libre. Un pozo construido en un material de capa acuífera de este tipo, con una rejilla que posea aberturas de ranura de 0.050 pulgadas, o una rejilla de ranura número 50, tendría una eficiencia alta después de un desarrollo apropiado para retirar el material fino.

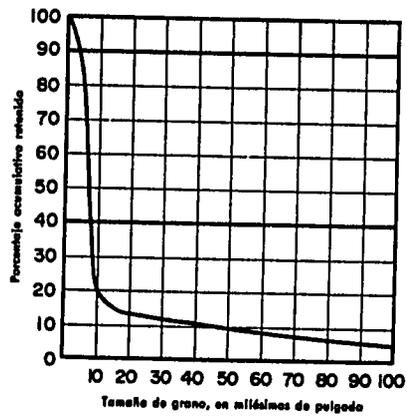
Generalmente, las aberturas de ranura del pozo se diseñan para retener de 30 a 50% del material de la formación, según las condiciones de la



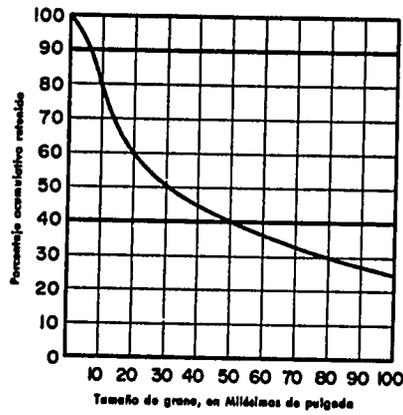
**A. Arena fina, uniforme, que suministra agua a velocidades limitadas.**



**B. Mezcla de arena mediana y gruesa con buena permeabilidad.**



**C. Arena fina con 10 a 20% de partículas gruesas.**



**D. Mezcla de arena y grava con buena permeabilidad.**

**Figura 4.10 CURVAS TÍPICAS DE ANÁLISIS POR TAMIZ PARA ARENAS Y GRAVAS QUE CONTIENEN AGUA.**

capa acuífera. La selección tendería hacia el valor más alto para las arenas finas, uniformes, que contienen aguas corrosivas y hacia el valor más bajo para arenas gruesas y formaciones de grava. Por ejemplo, el tamaño de 40% se recomienda para una arena fina, uniforme, si el agua no es corrosiva. Sin embargo, si el agua fuera corrosiva, causaría un agrandamiento gradual de las aberturas de la ranura con el transcurso del tiempo y resultando un flujo constante de arena dentro del pozo. El diseñador debe ser más conservador bajo tales circunstancias y escoger la abertura más pequeña que sería dada por el uso de un tamaño de 50%. En una formación de arena gruesa y grava, sin embargo, el agrandamiento de la abertura de la ranura seleccionada por unas cuantas milésimas de pulgada no crearía un problema constante de arena y puede escogerse el tamaño de 30% para la abertura de la ranura.

La selección de un tamaño de ranura de 30% significa que el 70% de la formación en la proximidad del pozo se retirará en el proceso de desarrollo. Igualmente, el 60% de la formación se remueve con una abertura de ranura del tamaño de 40%. Seleccionando el tamaño de 30% contra el de 50% significa que se retira más material, causando el desarrollo de una zona más grande en el material que rodea la rejilla. Usualmente, esto aumenta la capacidad específica del pozo y, por lo tanto, su eficiencia en proporción suficiente para compensar el costo adicional de desarrollo. Esto solamente es factible si las condiciones de la formación son tales que requieran el uso del tamaño mayor de abertura de ranura (30%). Una selección más conservadora de tamaño de ranura se recomienda siempre que exista duda acerca de la confiabilidad de las muestras suministradas para el análisis.

La mayor parte de las formaciones geológicas son estratificadas, con capas cuyo tamaño de partícula varía en la distribución. En estos casos, deben seleccionarse aberturas de ranura para secciones diferentes de la rejilla, según convenga a la distribución del tamaño de partícula de los diferentes estratos. Deben seguirse dos reglas más en las capas acuíferas donde yace una arena fina sobre material grueso.

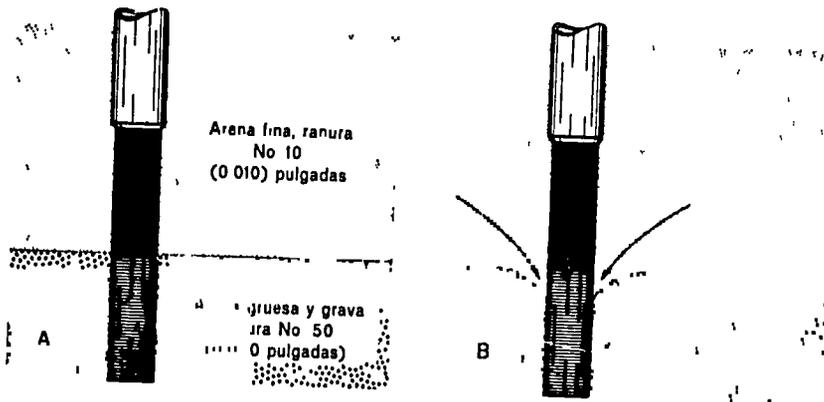
1. La rejilla con el tamaño de ranura diseñada para el material más fino debe extenderse por lo menos 2 pies (61 centímetros) en el material grueso.

2. El tamaño de ranura de la rejilla diseñada para el material grueso nunca debe ser mayor que el doble del tamaño de ranura para el material más fino de la capa superior.

Estas reglas están encaminadas a reducir la posibilidad de que el pozo continuamente extraiga arena procedente de la capa fina superior. La figura 4.11 ilustra cómo puede surgir esta posibilidad. También debe recordarse que las profundidades para los cambios de la formación no siempre se miden con exactitud y a veces no es posible colocar las rejillas a los ni-

veles exactos. Entonces, la observación de estas reglas asume mayor importancia.

El método de selección de las aberturas de la ranura de la rejilla hasta aquí explicado supone condiciones que hacen factible ordenar las rejillas del pozo después de efectuar análisis con tamiz de los materiales de la formación. En muchos países y en partes remotas de algunos otros, este procedimiento redundaría en retardos costosos mientras se espera una rejilla importada. Bajo tales condiciones, el diseñador de pozos pequeños justificaría la selección de aberturas de ranura basadas en experiencias anteriores con pozos existentes en la misma capa acuífera, aun antes de iniciar las operaciones de perforación. También sería aconsejable escoger un tamaño normal de abertura de ranura para un programa múltiple de pozos en la misma capa acuífera a fin de aprovechar los costos reducidos resultantes



**Figura 4.11 LA SECUENCIA ILUSTR LA POSIBILIDAD DE ENTRADA DE LA ARENA FINA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA SECCION INFERIOR DE LA REJILLA, DESPUES DEL DESARROLLO DEL POZO SI LAS ABERTURAS MAS GRANDES DE ESTA SECCION INFERIOR DE LA REJILLA SE EXTIENDEN HASTA ALCANZAR LA CAPA DE MATERIAL GRUESO.**

y el ahorro de tiempo. Sin embargo, esto puede imponer el empaque con grava de algunos de los pozos, para impedir que extraigan arena fina. La eficiencia de otros pozos puede ser menos que óptima. Esto, empero, no constituye un problema primordial en pozos pequeños. Generalmente, las ventajas de la estandarización de las aberturas de ranura de los pozos pequeños bajo las condiciones antes citadas superarían sus desventajas.

La *velocidad de entrada* se determina dividiendo el rendimiento esperado o deseado del pozo, expresado en pies cúbicos por segundo, por el área total de las aberturas de la rejilla, expresada en pies cuadrados.

El área total de las aberturas de la rejilla es la superficie de las aberturas practicadas, por pie de rejilla, multiplicada por la longitud escogida de la rejilla, expresada en pies. La mayoría de los fabricantes proporcionan

tablas que indican el área abierta por pie de rejilla para cada tamaño de diámetro de ella y para diferentes anchuras de aberturas de ranura. La tabla 4.1 es un ejemplo de una de ellas. Por medio de esta tabla se ve que una ranura del número 40, de 3 pulgadas de diámetro, telescópico, contiene 42 pulgadas cuadradas de área abierta por pie de longitud de la rejilla. Por lo tanto, una sección de 10 pies de esa rejilla contendría 420 pulgadas cuadradas de área abierta total.

El diseño estándar para la velocidad de entrada se escoge de tal manera que las pérdidas por fricción en las aberturas de las rejillas serán despreciables y el grado de incrustación y corrosión será mínimo. Las pruebas de laboratorio y la experiencia práctica han demostrado que estos objetivos se alcanzan si la velocidad de entrada en la rejilla es igual, o inferior a 0.1 pie por segundo. De preferencia, la longitud de la rejilla, o el diámetro cuando sea factible, debe aumentarse si esta velocidad es mayor que

**TABLA. 4.1**  
**AREAS DE ADMISION PARA ANCHURAS SELECCIONADAS DE**  
**ABERTURAS DE RANURA, (pulgadas cuadradas por pie lineal de rejilla)**

Tamaño nominal de rejilla	Diámetro exterior real de la rejilla	Ranura No. 10 (0.010") (0.25 mm)	Ranura No. 20 (0.020") (0.50 mm)	Ranura No. 40 (0.040") (1.00 mm)	Ranura No. 60 (0.060") (1.50 mm)
2" TS	1-3/4"	10	16	26	32
1½" PS	2-3/8"	13	22	36	45
2" PS	2-5/8"	14	25	41	50
3" TS	2-3/4"	15	26	42	52
2½" PS	3-1/8"	17	30	48	59
3" PS	3-5/8"	20	34	54	68
4" TS	3-3/4"	21	35	56	71
4" PS	4-5/8"	25	44	68	86

(Cortesía de UOP - Johnson Division, Universal Oil Products Company, St. Paul, Minnesota.)

Notas. TS significa rejilla de pozo de tamaño telescópico.

PS significa rejilla de pozo tamaño de tubería.

0.1 pie por segundo. Por otra parte, si la velocidad de entrada es apreciablemente menor que 0.10 pies por segundo —digamos 0.05 pies por segundo— la longitud de la rejilla debe reducirse hasta que la velocidad de entrada casi coincida con la normal de 0.10 pies por segundo.

### **SELECCION DE MATERIALES PARA EL REVESTIMIENTO Y LA REJILLA**

La selección de los materiales que entran en la construcción de un pozo es un aspecto muy importante del diseño del mismo. Un pozo construido con materiales de poca o ninguna resistencia a la corrosión puede ser destruido hasta quedar inservible, por un agua altamente corrosiva a los pocos meses de su terminación. Este será el caso a pesar de que los demás aspectos del diseño sean excelentes. Una selección inadecuada de los materiales puede ocasionar también el derrumbe del pozo debido a una

resistencia inapropiada. Los anteriores son factores que tienen influencia considerable en lo que se llama la vida útil de un pozo. Además de estas influencias, la selección de los materiales también afecta considerablemente el costo del pozo. Los metales resistentes a la corrosión, por ejemplo, son mucho más costosos que el acero ordinario. La selección de un metal adecuado o el empleo de un espesor más grande del mismo metal para llenar los requerimientos de resistencia, redundan invariablemente en costos más elevados. Por lo tanto, estas consideraciones indican que el diseñador debe tener gran cuidado en la selección de los materiales para un pozo.

De ordinario, el diseñador toma su decisión en la selección de materiales después de considerar tres factores principales. Estos son *calidad del agua, requerimientos de resistencia y costo.*

### **Calidad del agua**

La calidad del agua en este contexto, se refiere primordialmente al *contenido mineral* del agua que producirá el pozo. Sus efectos sobre el metal pueden ser de dos tipos básicos. Pueden causar *corrosión* o *incrustación*. Ciertas aguas causan corrosión e incrustación al mismo tiempo. Los análisis químicos de muestras de agua pueden indicar al intérprete hábil si es probable que un agua sea corrosiva, que produzca incrustaciones, o ambos defectos. A menos que ya se disponga de conocimiento sobre la naturaleza del agua en una capa acuífera, sería recomendable solicitar la asesoría de un químico con experiencia al respecto antes de escoger los materiales que se usarán en el pozo.

La *corrosión* es un proceso que destruye los metales. Usualmente, las aguas corrosivas son ácidas y pueden contener concentraciones relativamente altas de oxígeno disuelto que, a menudo, es necesario para la existencia y el aumento del grado de corrosión. Concentraciones altas de bióxido de carbono, sólidos totales disueltos y sulfuro de hidrógeno con su olor característico de huevos podridos son otras indicaciones de un agua que tiene probabilidades de ser corrosiva.

Además de la calidad del agua, hay otros factores tales como *velocidad del flujo y disimilitud de los metales* que contribuyen al proceso de corrosión. Mientras mayor sea la velocidad del flujo, mayor será la eliminación de los productos finales protectores de la corrosión de la superficie del metal y, por lo tanto, la exposición de esa superficie a corrosión posterior. Esta es otra razón importante para mantener la velocidad a través de las aberturas de la rejilla dentro de límites aceptables. El uso de dos o más tipos diferentes de metales, como por ejemplo acero inoxidable y acero ordinario, o acero y latón o bronce, debe evitarse siempre que sea posible. Usualmente, la corrosión es más grande en los puntos de contacto o en las proximidades de los metales.

La corrosión puede ocurrir en las rejillas del pozo así como en el

revestimiento o entubado. También puede ser más crítica en las rejillas porque allí puede alcanzar proporciones de daño mucho antes que en el entubado. Esto se debe a que solamente se requiere un pequeño agrandamiento de las aberturas de la rejilla para permitir la entrada de arena a través de ella, mientras que el espesor total del entubado de metal debe ser penetrado para ocasionar una falla en el pozo debida a la corrosión de su revestimiento. Sin embargo, ésta no es una razón para desdeñar el efecto de la corrosión en los vestimientos. La falla del revestimiento por corrosión arruina un pozo del mismo modo que una falla de la rejilla. Puede provocar la introducción de barro y agua contaminada o inadecuada en el pozo. En Guyana, se observó que las aguas corrosivas de un pozo destruyeron el entubado de acero en menos de seis meses, arruinando así muchos pozos.

El acero ordinario y el hierro no resisten la corrosión. Sin embargo, existe cierto número de aleaciones de metal con varios grados de resistencia a la corrosión. Entre éstos se encuentran los aceros inoxidable que combinan el níquel y el cromo con el acero y también varias aleaciones basadas en cobre, tal como el latón y el bronce que combinan huellas de silicón, zinc y manganeso con el cobre. Los fabricantes, mediante análisis de agua, pueden aportar consejos sobre el tipo de metal o aleaciones de metal que deben usarse.

El tubo de plástico del tipo de cloruro de polivinilo (cpv) es una posibilidad atractiva para substituir el uso de los metales en los pozos pequeños, particularmente bajo condiciones corrosivas. Este combina resistencia a la corrosión con fuerza adecuada y economía.

La *incrustación*, a diferencia de la corrosión, no destruye el metal, pero provoca el depósito de minerales sobre él y en la capa acuífera que circunda el pozo. Los cambios físicos y químicos en el agua del pozo y la formación adyacente hacen que los minerales disueltos adopten a su estado insoluble y se fijan como depósitos. Estos causan la obstrucción de las aberturas de la rejilla y la formación de poros inmediatamente alrededor de ella, con la consiguiente reducción en el rendimiento del pozo.

Las aguas incrustantes son, usualmente, alcalinas, o sea lo opuesto a las aguas corrosivas, las cuales son ácidas. La dureza por exceso de carbonatos es una causa común de incrustación en los pozos. Los depósitos de costras de carbonato de calcio (costra de cal) ocurren en los tubos que conducen aguas duras. El hierro y el manganeso, en un grado menor, son otras fuentes comunes de incrustación en los pozos. El hierro causa depósitos característicos de color pardo rojizo, mientras los de manganeso son negros.

Asociadas a menudo con aguas de suelo que contienen hierro, se encuentran las bacterias del hierro. Estos diminutos organismos vivos no son perjudiciales a la salud, pero al favorecer los depósitos del hierro, producen acumulaciones de material limoso, de aspecto gelatinoso, que obstruyen las

aberturas de la rejilla del pozo y los espacios porosos de la capa acuífera.

A menudo se usan soluciones fuertes de ácido clorhídrico en los procesos de tratamiento para la remoción de todos los depósitos de incrustación antes mencionados. El efecto corrosivo de este tratamiento ácido, que debe repetirse cuando surja la necesidad, hace necesario el empleo de rejillas construidas de materiales resistentes a la corrosión. La tubería de cloruro de polivinilo no plastificado también resistiría tal tratamiento. Una discusión adicional sobre la rehabilitación de los pozos incrustados se presenta en el capítulo 7.

### **Requerimientos de resistencia**

Los requerimientos de resistencia son importantes tanto en el entubado como en las rejillas, pero, generalmente, en mayor grado en estas últimas. Las rejillas deben ser bastante fuertes para soportar las presiones radiales externas que pueden causar su derrumbe, así como la carga vertical debida al peso del entubado colocado sobre ellas.

Algunos metales tienen características de resistencia más elevadas que otros. Por ejemplo, el acero inoxidable puede ser dos veces más fuerte que algunas aleaciones de cobre. Las rejillas y las envolturas de resistencia adecuada pueden hacerse con cualquiera de los metales y aleaciones usados comúnmente en la construcción de pozos. Usualmente, los fabricantes especifican las condiciones en que sus tubos y rejillas pueden emplearse satisfactoriamente. A menudo es útil consultarlos sobre la selección de materiales adecuados para usarse en un pozo.

### **Costo**

Con frecuencia, las consideraciones de costo pueden ser el factor decisivo en la selección de los materiales de construcción empleados en los pozos pequeños. Por ejemplo, puede darse el caso de que el acero inoxidable sea el material más adecuado, combinando la resistencia a la corrosión con excelente fuerza y una larga vida útil. Sin embargo, su costo puede hacer que el diseñador recomiende el uso de otros materiales menos adecuados después de pesar los beneficios de la mayor vida útil contra el costo inicial más bajo, el costo de la substitución en una fecha posterior y la capacidad financiera del propietario.

### **Diversos**

Otros factores diversos también desempeñan papeles importantes en la selección de los materiales para el entubado y la rejilla. Entre éstos, los principales, tratándose de pozos pequeños, serían la accesibilidad del sitio, la facilidad de manejo, la disponibilidad, y la fabricación en el lugar. En áreas no accesibles para vehículos a motor y necesitándose el uso del transporte por aire, el peso de los materiales puede ser la consideración más

decisiva. Los materiales de plástico más ligeros llevan entonces la preferencia sobre los metales. La facilidad de manejo, tanto para el transporte como para la construcción, favorecerían, también, el uso de los materiales de plástico.

Las anteriores son solamente algunas de las consideraciones principales en la selección de los materiales. Las soluciones no pueden transferirse ciegamente de una zona geográfica a otra. Cada conjunto de circunstancias, y las ventajas y desventajas de cada solución posible, deben considerarse cuidadosamente antes de tomar una decisión final.

### **EMPAQUE CON GRAVA Y ESTABILIZACION DE LA FORMACION**

El empaque con grava y la estabilización de la formación son auxiliares para el proceso de desarrollo del pozo descritos inicialmente en este capítulo. Una semejanza más es la adición de grava en el caso del empaque con grava, y de gruesa, o arena y grava, en el caso de la estabilización de la formación en el espacio anular entre la rejilla y la formación acuífera. Sin embargo, en este punto terminan las semejanzas. Las diferencias entre el empaque con grava y la estabilización de la formación son, ciertamente, muy fundamentales y deben entenderse claramente.

Se recordará que el proceso de desarrollo en un pozo captado naturalmente consiste en eliminar el material más fino de las cercanías de la rejilla del pozo, dejando una zona de material más gruesa alrededor del pozo. Esto no puede lograrse en una formación que consiste en arena fina uniforme debido a la ausencia de todo material más grueso. El objeto de *empacar* un pozo con *grava* es proporcionar artificialmente la grava o arena más gruesa que está faltando en la formación natural. Un pozo tratado de este modo se conoce como empacado artificialmente con grava para distinguirlo del pozo desarrollado naturalmente.

La perforación por el método rotatorio a través de una formación acuífera no consolidada resulta necesariamente en un agujero algo más grande que el diámetro exterior de la rejilla del pozo. Esto proporciona la holgura necesaria para permitir el descenso de la rejilla hasta el fondo del agujero sin interferencia. El objeto de la *estabilización de la formación* es llenar el espacio anular alrededor de la rejilla (quizá 2 pulgadas (5 cm) o más de anchura) por lo menos parcialmente, para evitar que los materiales de sedimento y arcilla situados encima de la capa acuífera formen cuevas o se derrumben cuando se inicie el trabajo de desarrollo. Evitando tal circunstancia, se puede efectuar el desarrollo adecuado del pozo empleando menor tiempo y esfuerzo. Nótese que el proceso de desarrollo mencionado aquí es del tipo natural, con el material grueso procedente de la misma capa acuífera y no de material estabilizador agregado. Los objetivos del

empaques con grava y la estabilización de la formación, por lo tanto constituyen la diferencia principal entre los dos procesos. Estas diferencias en los objetivos forman también la base para las divergencias en las características de diseño de los dos procesos.

### **Empaque con grava**

Esencialmente, hay dos estados en las formaciones no consolidadas que tienden a favorecer la construcción con empaque artificial con grava.

El primero de ellos, la *arena fina uniforme*, ya se ha mencionado. Este tipo de arena requeriría una rejilla con aberturas de ranura muy pequeñas y, aun así, el proceso de desarrollo no sería satisfactorio a causa de la uniformidad de las partículas de arena. Además, las rejillas con aberturas de ranura muy pequeñas tienen bajos porcentajes de área abierta a causa del espesor relativo de los alambres de metal que deben usarse para proporcionar resistencia. Para los pozos artificialmente empacados con grava en tales formaciones, deben usarse rejillas con aberturas de ranura más grandes y el desarrollo mejorado permite mayor eficiencia del pozo. La construcción de empaque artificial con grava se recomienda en las formaciones donde la abertura de la ranura de la rejilla, seleccionada sobre la base de un pozo desarrollado naturalmente, es menor de 0.010 pulgadas (ranura número 10).

Las *formaciones laminadas extensamente* constituyen la segunda serie de condiciones para las que se recomienda la construcción con empaque de grava. Esto se refiere a las capas acuíferas que consisten en fajas alternadas de arena fina, delgada, mediana y gruesa. En tales capas acuíferas es difícil determinar con exactitud la posición y espesor de cada capa y seleccionar la longitud apropiada para cada sección de una rejilla de ranura múltiple. El empleo de empaque artificial con grava en tales formaciones reduce las posibilidades de error que resultarían del desarrollo natural.

*Selección del material para empacar con grava:* la selección de la calidad del material para empacar con grava usualmente se basa en la capa de material más fino de una capa acuífera. El material para empacar con grava debe ser tal que (1) su tamaño de 70% sea de 4 a 6 veces el tamaño de 70% del material en la capa más fina de la capa acuífera, y (2) su coeficiente de uniformidad sea menor de 2.5, mientras más pequeño mejor. El *coeficiente de uniformidad* es un número que expresa la relación del tamaño de 40% del material y el de 90%. Es conveniente recordar aquí que los tamaños se refieren al porcentaje retenido en un tamiz determinado.

De ordinario la primera condición asegura que el material para empacar con grava no restringirá el flujo de las capas del material más grueso, siendo la permeabilidad del empaque varias veces superior a la del estrato más grueso. La segunda condición asegura que las pérdidas de material de empaque durante el trabajo de desarrollo sean mínimas. Para lograr esta

meta, se escogen las aberturas de la rejilla de manera que retengan el 90% o más del material de grava para empaque.

El material de grava para empaque debe consistir en granos limpios, bien redondeados y suaves. Son preferibles el cuarzo y otros materiales a base de sílice. La caliza y el esquistos son indeseables como materiales de grava para empaque.

*Espesor de las envolturas de grava para empaque:* usualmente, las envolturas de grava para empaque son de tres a ocho pulgadas de grueso. Esto no es absolutamente necesario, ya que las pruebas han demostrado que uno o dos centímetros detendrían y controlarían satisfactoriamente la arena de la formación. Los espesores más grandes se usan a fin de asegurar que la rejilla del pozo esté completamente rodeada por la grava del empaque.

### **Estabilización de la formación**

La cantidad de estabilizador de la formación debe ser suficiente para llenar el espacio anular alrededor de la rejilla y el entubado hasta un nivel de aproximadamente 30 pies, o tanto como sea factible, sobre el extremo de la rejilla. Esto impedirá el asentamiento y las pérdidas de material a través de la rejilla durante el desarrollo. Si es necesario, debe agregarse material al avanzar el desarrollo para evitar que su nivel superior quede bajo el de la rejilla. El asentamiento del material es benéfico porque erosiona la pared de lodo formada al taladrar los agujeros por el método rotatorio, facilitando así el desarrollo del pozo.

La arena ordinaria de hormigón o mortero se emplea ampliamente como estabilizador de formación. Las condiciones de la capa acuífera bajo las cuales es adecuado varían desde las que requieren una abertura de ranura del número 20 (0.020 pulgadas) a las del número 50 (0.050 pulgadas). No es necesario un material especialmente clasificado.

### **PROTECCION SANITARIA**

En el capítulo 2 se ha establecido que las aguas del subsuelo generalmente son de buena calidad sanitaria y seguras para beber. El diseño del pozo debe encaminarse a la extracción de esta capa de alta calidad sin contaminarla ni volverla en modo alguno inapropiada para el consumo humano. La penetración de una formación acuífera por un pozo abre dos conductos principales a la posible contaminación del agua del suelo. Estos son el extremo superior abierto del entubado y el espacio anular entre dicho entubado y el agujero. El diseñador debe preocuparse de prevenir la contaminación a través de estos dos conductos.

#### **Terminal superior**

El entubado del pozo debe extenderse por lo menos, un pie (30 cm) sobre el nivel general de la superficie circundante. Debe estar rodeado, en

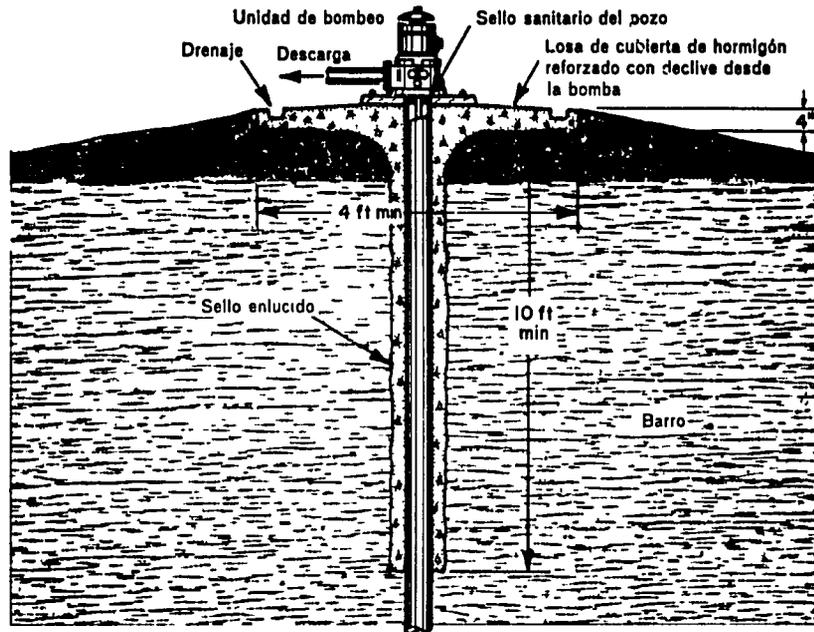


Figura 4.12 PROTECCION SANITARIA DE LA TERMINAL SUPERIOR DEL POZO.

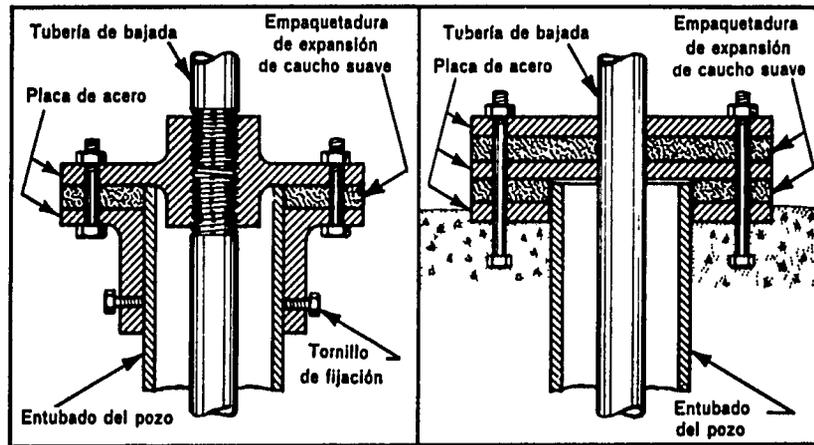


Figura 4.13 SELLOS DE POZO SANITARIO. (Adaptado de la Figura 7 del Manual of Individual Water Supply Systems, Publicación No. 24 del Servicio de Salud Pública, 1962)

la superficie del suelo, por una losa de concreto de 4 pulgadas (10 cm) de espesor que se extienda por lo menos 2 pies (60 cm) en todas direcciones. La superficie superior de esta losa y sus alrededores inmediatos deben inclinarse ligeramente para drenar el agua del pozo, como se muestra en la Figura 4.12. También es aconsejable colocar un drenaje alrededor del borde exterior de la losa y extenderlo hasta un punto de descarga a cierta distancia del pozo. Debe proveerse un sello sanitario para el pozo, en la parte superior de éste, para evitar la entrada de agua contaminada u otro material conveniente directamente dentro del pozo. En la Figura 4.13 se muestran ejemplos.

### **Terminal inferior del entubado**

Para capas acuíferas artesianas, el entubado a prueba de agua debe extenderse hacia abajo dentro de la formación impermeable (como arcilla) que cubre la capa acuífera. El propósito de esto es retener la presión artésiana de la capa acuífera proporcionando un sello contra filtraciones ascendentes de la misma por el exterior del entubado. El agujero no debe prolongarse en la capa acuífera artésiana hasta que se haya instalado y reforzado el entubado.

En las formaciones acuíferas de capa freática, el entubado debe prolongarse, por lo menos, 5 pies (1.5 m) bajo el menor nivel de bombeo esperado. Esta distancia limitante debe aumentarse a 10 pies (3 m) en lugares donde el nivel de bombeo es menor de 25 pies (7.5 m) de la superficie.

Las anteriores son reglas generales que deben aplicarse con cierta flexibilidad cuando las condiciones geológicas así lo requieran.

### **Enlucido y sellado del entubado**

Necesariamente, el agujero perforado debe ser mayor que la tubería usada para el entubado del pozo. Esto ocasiona la creación de un espacio anular de forma irregular alrededor del entubado después que se ha colocado en posición. Es importante llenar este espacio a fin de evitar la filtración de agua contaminada de la superficie a lo largo del exterior del entubado dentro del pozo y también para impedir la entrada de agua de calidad inapropiada de los estratos que están sobre la formación acuífera deseada.

En material expuesto a desplomarse, tal como la arena o la arena y la grava, el espacio anular se llena muy pronto como resultado de los hundimientos. Por lo tanto, en tales circunstancias, no es necesario hacer arreglos especiales para llenar el espacio anular. Sin embargo, en sitios donde el material que se encuentra sobre la formación acuífera no es de ese tipo, como por ejemplo arcilla o esquisto, debe reforzarse el espacio anular con cemento o lechada de arcilla hasta una profundidad mínima de 10 pies

(3 m) bajo la superficie. Donde el espesor de los materiales arcillosos lo permiten, el aumento de la profundidad del refuerzo hasta aproximadamente 15 pies (4.5 m) proporcionaría seguridad adicional. El diámetro del agujero perforado debe ser de 3 a 6 pulgadas (7.5 a 15 cm) más grande que el entubado del pozo permanente para facilitar la colocación del refuerzo. Es importante retirar temporalmente el entubado cuando se aplique el refuerzo, en vez de llenar simplemente el espacio entre los dos entubados, ya que la infiltración vertical puede ocurrir fácilmente por la parte exterior de cualquier entubado sin sellar. Los métodos de mezcla y colocación del refuerzo se examinan en el capítulo 5.

## CAPITULO 5

### CONSTRUCCION DEL 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 es necesario, y la instalación de la rejilla.

#### METODOS DE PERFORACION DE POZOS

El término métodos de perforación de pozos se emplea aquí para incluir todos los métodos encaminados a practicar agujeros en el suelo con propósitos de construcción de pozos. Como tal, incluye métodos como el de barrenar e impulsar, los cuales no son métodos de perforación en un sentido puro. La clasificación es conveniente a falta de una descripción mejor. Las limitaciones sobre el diámetro del pozo (4 pulgadas (10 cm) y menos) excluyen el tipo de sondeo de esta consideración. Las secciones que siguen describen los pozos perforados por los sistemas de barrenado e impulsión, percusión, rotación hidráulica y chorro.

#### Barrenado

El barrenado de los pozos de diámetro pequeño se efectúa comúnmente con barrenas para tierra accionadas manualmente, aunque en algunas ocasiones se usan barrenas operadas mecánicamente. En la figura 5.1 se muestran dos tipos comunes de barrenas de mano. Cada una se compone

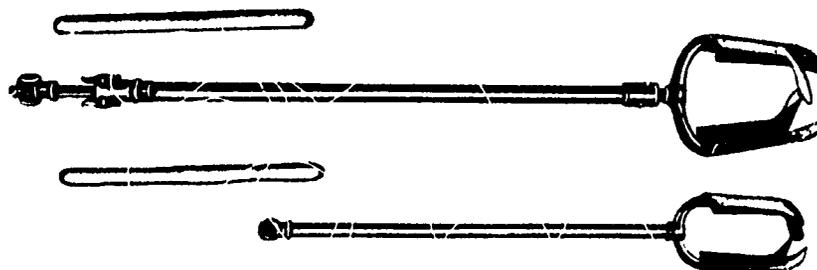
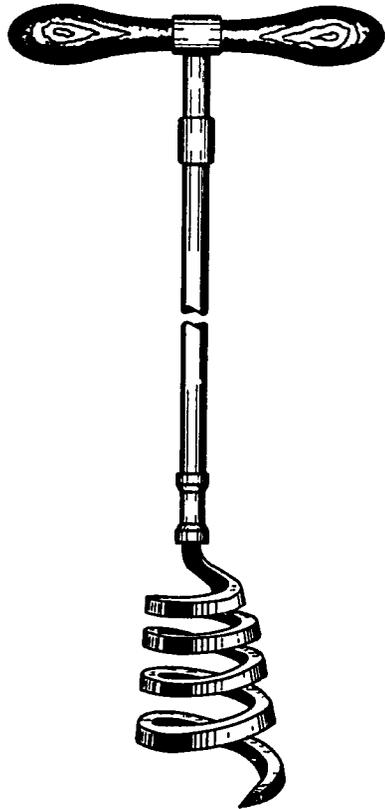


Figura 5.1 BARRENAS DE MANO. (De la Figura 6, *Wells, Manual Técnico del Departamento del Ejército, 1957*).

de un vástago con un mango de madera en el extremo y una punta con hojas curvas en la parte inferior. Las hojas son, usualmente, del tipo fijo, pero también existen barrenas con hojas que se adaptan a diámetros diferentes. Usualmente, los vástagos se fabrican en secciones de 5 pies (1.5 m) con acoplamientos de fácil sujeción.

El agujero se inicia empujando las hojas de la punta para hincarlas en el suelo con un movimiento de rotación. El giro se continúa hasta que la punta de la barrena se encuentra llena de material. Entonces se saca la

herramienta del agujero, se vacía y vuelve a usarse. Se agregan extensiones del vástago, según se necesite, para perforar hasta la profundidad deseada. Ordinariamente, los pozos de profundidad menor de 15 pies (4.5 m) no requieren más equipo que la barrena. Sin embargo, para pozos de mayor profundidad, es necesario emplear un trípode ligero con una polea en el extremo, o una plataforma elevada, de manera que el vástago de la barrena se pueda insertar y extraer del agujero sin desconectar todas las secciones del vástago.



**Figura 5.2 BARRENA ESPIRAL.**

La punta del pozo debe hundirse hasta cierta profundidad en la formación acuífera y bajo la capa freática. La parte ascendente de la tubería sobre la punta del pozo actúa como el entubado de éste.

El equipo usado incluye un martillo de impulsión, una tapa para hincar, para proteger el extremo de la tubería ascendente durante la operación, un trípode, una polea y cuerda fuerte con o sin un malacate. Puede usarse un aparejo ligero de perforación en vez del conjunto del trípode.

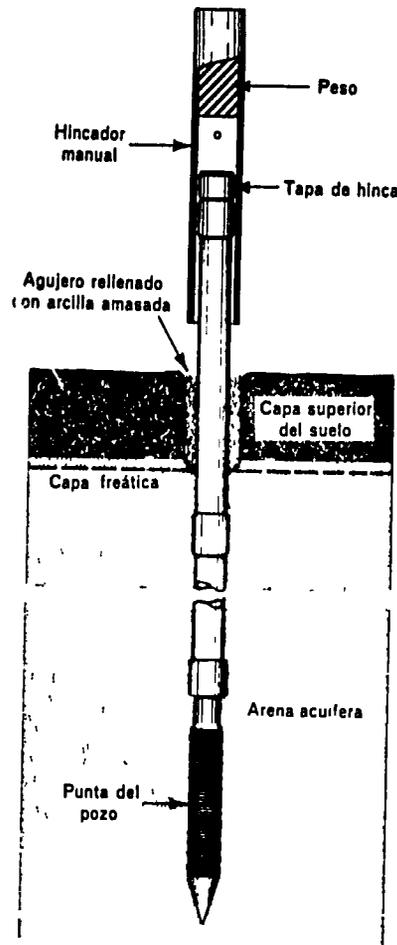
La barrena espiral mostrada en la Figura 5.2 se usa en lugar de la punta de corte normal para separar piedras o guijarros encontrados durante las operaciones de barrenado. Cuando se hace girar en la dirección de las manecillas del reloj, la espiral se tuerce alrededor de una piedra de manera que puede levantarla a la superficie. El método se usa en el barrenado a profundidades de aproximadamente 50 pies en formaciones de arcilla, limo y arena no sujetas a hundimiento. El barrenado en estas últimas formaciones puede hacerse bajando el entubado hasta el fondo del agujero y continuando la perforación poco a poco mientras se hinca dicho entubado.

#### **Hinca**

Los pozos perforados por el método de hinca se construyen introduciendo en el terreno una punta de pozo ajustada al extremo inferior de las secciones fuertemente acopladas de una tubería.

Las puntas del pozo se pueden impulsar, bien sea por métodos manuales o con la ayuda de máquinas. La Figura 5.3 muestra el conjunto para un método totalmente manual. En la Figura 5.4 se muestran las instalaciones del aparato de hincado operado comúnmente por un montaje de perforación o a mano con la ayuda de un trípode y una polea o motón.

Cualquiera que sea el método de hincado, primero se practica un agujero inicial barrenando o cavando hasta una profundidad de aproximadamente 2 pies (60 cm) o más. Como la hincado es, generalmente, más fácil en una formación saturada, el agujero inicial debe hacerse lo bastante hondo para penetrar en la capa freática si la última no es muy profunda. El agujero



**Figura 5.3 HERRAMIENTA SENCILLA PARA HINCAR PUNTAS DE POZO A PROFUNDIDADES DE 15 A 30 PIES. (4.50 a 9 m.)**

inicial debe ser vertical y ligeramente mayor en diámetro que la punta del pozo. La punta del pozo se inserta en este agujero y se hincado a la profundidad deseada, agregándose tramos de 5 pies (1.50 m) de tubería vertical según sea necesario. Los acoplamientos de la tubería deben tener extremos rebajados y cuerdas ahusadas para proporcionar conexiones más fuertes que los acoplamientos de plomería ordinaria. Las cuerdas de la tubería y acoplamiento deben cubrirse con compuesto para roscas, a fin de obtener uniones herméticas. El conjunto de la punta del pozo debe guiarse tan verticalmente como sea posible y la herramienta de hincado, al estar suspendida, debe colgar directamente sobre el centro del pozo. El peso de la herramienta de hincado puede variar entre 75 y 300 libras (34 y 135 Kg). Herramientas más pesadas requieren el uso de un elevador mecánico o un aparato ligero de perforación. La acción perforante de una máquina de perforación del tipo de herramienta-cable (Figura 5.14) es apropiada para hincado con rapidez la punta del pozo. Las unio-

nes flojas deben apretarse periódicamente, haciendo girar ligeramente la tubería con una llave. El giro violento de la tubería no facilita la hinca y puede ocasionar daños a la punta del pozo. Por lo tanto, esto debe evitarse.

#### Método del chorro

El método del chorro para la perforación de pozos emplea la fuerza de un chorro o corriente de alta velocidad de algún líquido para cavar un agujero en el suelo. El chorro de fluido afloja los materiales del subsuelo y los transporta hacia arriba y fuera del agujero. El grado de corte puede mejorarse con el uso de una punta de barrena (Figura 5.5) que puede hacerse girar así como moverse en forma intermitente hacia arriba y hacia abajo.

El sistema de circulación del fluido es similar al de perforación rotatoria convencional descrito más adelante en este capítulo. En realidad, el equipo puede ser idéntico al que se emplea para la perforación rotatoria, con la excepción de la punta de barrena. En la Figura 5.6 se muestra el equipo sencillo para la perforación por el método del chorro. Se emplea un trípode hecho de tubería de hierro galvanizado de 2 pulgadas (5 cm)

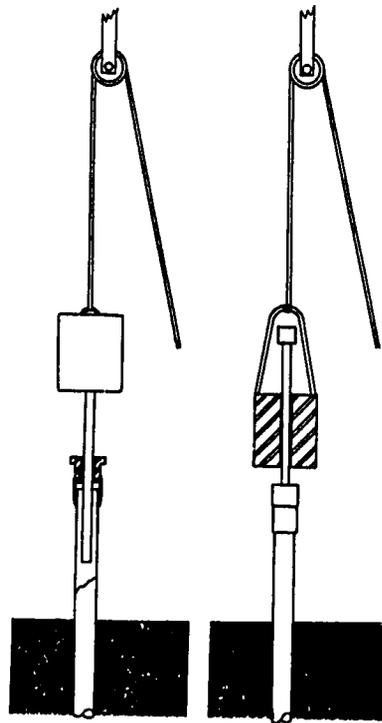


Figura 5.4 UNIDADES DE APAREJO DE IMPULSION PARA HINCAR PUNTAS DE POZO.

para suspender el tubo de perforación del mismo material y el trépano por medio de un gancho en forma de U (en el vértice del trípode), un aparejo de polea sencilla y cable de manila. Se usa una bomba con capacidad de aproximadamente 150 galones (565 lt) por minuto a una presión de 50 a 70 libras por pulgada cuadrada (3.5 a 5 kg por  $\text{cm}^2$ ) para impulsar el fluido de perforación a través de una manguera apropiada y una pequeña articulación giratoria entre la tubería de perforación y el trépano. El fluido, al salir del agujero perforado, circula en una zanja estrecha hacia un foso de asentamiento donde se sedimentan los materiales extraídos (cortes) y después a un foso de almacenamiento donde la bomba lo toma y circula nuevamente. Las características importantes de los fosos de asentamiento y almacenamien-

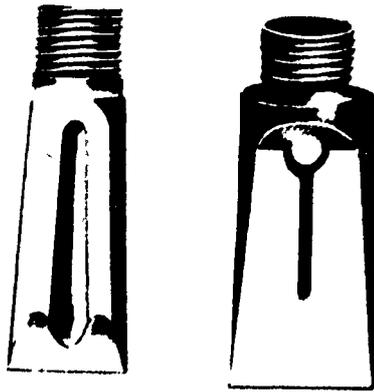


Figura 5.5 BROCAS PARA PERFORACION POR CHORRO. (de la figura 17, Wells, Manual Técnico TM 5 — 297 del Departamento del Ejército, 1957).

to se describen en la última sección de este capítulo, que trata de la perforación rotatoria hidráulica. Una bomba recíproca del tipo de pistón sería preferible a una centrífuga a causa del mantenimiento más grande requerido por la última, como resultado de fugas en los sellos e impulsores gastados y otras partes movibles.

La percusión inicial para perforar puede impartirse a la broca, bien sea por medio de un torno elevador o por trabajadores que tiran y liberan con rapidez el extremo del cable de manila en el lado del aparejo opuesto a la

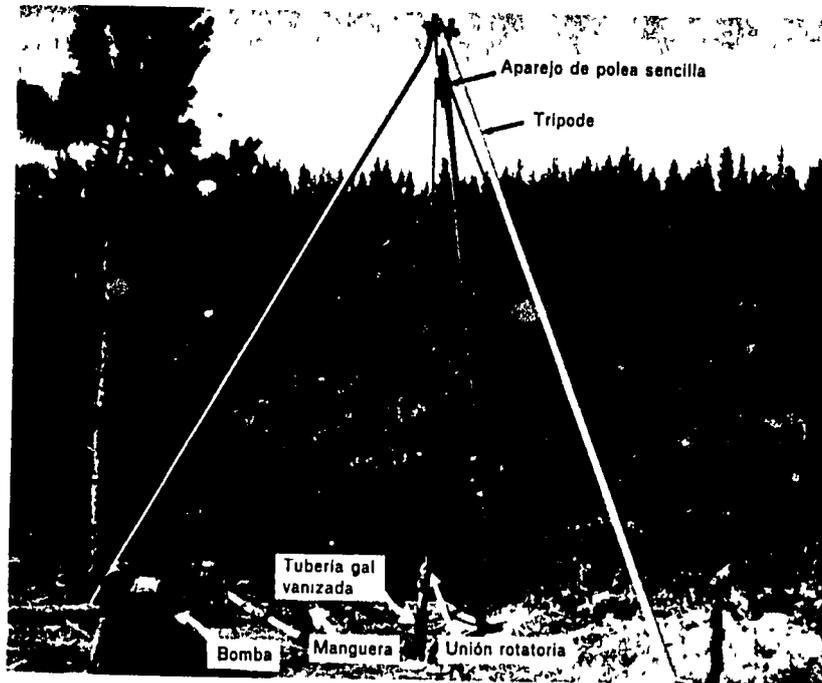


Figura 5.6 EQUIPO SENCILLO PARA PERFORACION POR CHORRO O ROTATORIA.

unión rotatoria. Esto puede hacerse mientras otros trabajadores hacen girar la tubería de perforación. El fluido de perforación puede ser, y con mucha frecuencia lo es, agua simple. Las profundidades del orden de 50 pies

(15 m) pueden lograrse en algunas formaciones empleando agua, como fluido de perforación, sin ocasionar derrumbes. Cuando éstos ocurren, debe usarse un lodo de perforación como se indica en la última sección que trata de la perforación hidráulica rotatoria.

El método de chorro es particularmente satisfactorio en las formaciones arenosas. En estas condiciones se obtiene un alto grado de penetración. Las arcillas duras y guijarros presentan problemas.

### **Percusión hidráulica**

El método de percusión hidráulica emplea una tubería de perforación similar a la del método de chorro. La broca es también semejante, excepto por la válvula de retención de bola colocada entre la broca y el extremo inferior de la tubería de perforación. Continuamente se introduce agua en el agujero en la parte exterior de la tubería de perforación. Un movimiento de vaivén, hacia arriba y hacia abajo, aplicado a la tubería de perforación impulsa el agua con los cortes en suspensión a través de la válvula de retención y en la tubería de perforación, en la carrera descendente, atrapándola cuando la válvula se cierra en la carrera ascendente. El movimiento oscilante continuo produce una acción de bombeo, elevando el fluido y los cortes hasta el extremo de la tubería de perforación donde se descargan en un tanque de asentamiento. Entonces se completa el ciclo de circulación. Usualmente, el entubado se hinca a medida que avanza la perforación.

El método requiere un mínimo de equipo y proporciona muestras exactas de las formaciones penetradas. Se adapta bien para el uso en formaciones de arcilla y arena que están relativamente libres de guijarros o cantos rodados.

### **Achicador**

El método de cubeta sacalodos es el nombre dado a un precursor del método de percusión hidráulica de la sección anterior. Se realiza enteramente con herramientas manuales, empleando materiales localmente disponibles, tales como el bambú para los andamios, y está adaptado particularmente para emplearse en zonas remotas donde la mano de obra es abundante y barata. Se cree que la primera descripción del método llegó del Paquistán Oriental donde se ha usado extensamente.

En el método de cubeta sacalodos, como se emplea en Paquistán Oriental, se levanta un andamio como se muestra en la Figura 5.7 El movimiento oscilante, hacia arriba y hacia abajo, de la tubería de perforación se imparte por medio de la palanca de bambú operada manualmente a la que se sujeta la tubería de perforación con una cadena. Se usa un acoplamiento afilado, a manera de broca, en el extremo inferior de la tubería de perforación. El hombre que aparece sentado sobre el andamio usa su mano para efectuar las funciones de la válvula de retención, como se usa en el



Figura 5.7 ANDAMIO, PIVOTE Y PALANCA DE BAMBU USADOS EN LA PERFORACION POR EL METODO DE CUBETA SACALODOS. (De "Jetting Small Tubewells by Hand' Water Supply and Sanitation in developing Countries AIB-UNC/ITSED, Artículo número 15, junio de 1967).

método de percusión hidráulica, aunque, en este caso, en el extremo superior, y en vez del inferior, de la tubería de perforación. Un foso de aproximadamente 3 pies cuadrados ( $0.3 \text{ m}^2$ ) y 2 pies (60 cm) de profundidad, alrededor de la tubería de perforación se llena con agua que entra en el agujero al progresar la perforación. En la carrera ascendente de la tubería de perforación, se cubre su extremo superior con la mano. La mano se quita en la carrera descendente (Figura 5.8), permitiendo así que algo del fluido y los cortes, aspirados en el fondo de la tubería de perforación, se eleven y derramen. La repetición continua del proceso causa la penetración de la tubería de perforación en la formación y crea una acción de bombeo semejante a la del método de percusión

hidráulica. Se agregan secciones de la tubería de perforación cuando es necesario. El trabajador cuya mano opera como válvula de aleta, cambia su posición en el andamio, hacia arriba y abajo, de acuerdo con la del extremo superior de la tubería de perforación. Se añade agua al foso alrededor de la tubería, conforme desciende el nivel. Cuando el agujero se ha perforado hasta la profundidad deseada, se extrae la tubería de perforación en secciones, teniendo cuidado de evitar el derrumbe del agujero. Entonces, se bajan a su posición la rejilla y el entubado.

Por este método se han perforado pozos hasta de 250 pies (75 m) de profundidad en formaciones finas o arenosas. Se pueden obtener muestras razonablemente exactas de la formación durante la perforación. Los costos se limitan a la mano de obra y al importe de la tubería, y, por lo tanto, pueden ser muy bajos. El método no requiere gran habilidad.

### Rotación hidráulica

La perforación por rotación hidráulica combina el uso de una broca rotatoria para cortar el agujero, con el de un fluido de perforación que circula continuamente para extraer los cortes. Las partes básicas de una

máquina o aparejo ordinario de perforación rotatoria son una torre de perforación y elevador; una mesa giratoria operada mecánicamente, que hace girar el vástago del barrenador con su broca; una bomba para impulsar el fluido de perforación a través de una sección de manguera y una unión giratoria entre el vástago y la punta de la broca; y una unidad motriz o



**Figura 5.8 EL TRABAJADOR EN EL ANDAMIO RETIRA LA MANO DE LA TUBERIA PERMITIENDO QUE ESCAPEN EL FLUIDO DE PERFORACION Y LOS CORTES. "Jetting Small Tubewells By Hand", *Water Supply and sanitation in developing Countries*. AID-UNC/IPSED, Artículo número 15, junio de 1957).**

motor. El vástago de la broca es, en realidad, una pieza tubular larga que consiste en tres partes: el vástago; los tramos o secciones de tubería de perforación que se requiera para la profundidad del trabajo, y una o más secciones de collar de perforación.

El vástago, o la sección superior de la barra de perforación, se hace unos cuantos decímetros más largo y de un espesor de pared mayor que una sección de la tubería de perforación. Su forma exterior suele ser cuadrada (algunas veces hexagonal o redonda con ranuras longitudinales), que ajusta en una abertura de forma similar en la mesa rotatoria de manera que el vástago pueda

moverse libremente hacia arriba o hacia abajo, en la abertura, al mismo tiempo que gira. En el extremo superior del vástago se encuentra la unión giratoria que se suspende del gancho de un aparejo elevador viajero.

Debajo del vástago se encuentran los tubos de perforación, usualmente en uniones de aproximadamente 20 pies (6 m) de largo. Secciones extrafuertes de tubería de perforación, llamadas collares de perforación, se conectan inmediatamente sobre la broca. Estas aumentan peso al extremo inferior de la barra de la broca y, de esta manera, la ayudan a cortar un agujero recto, vertical.

Las brocas más indicadas para usarse en formaciones no consolidadas de arcilla y arena son las barrenas de fricción de cualquiera de los diseños de cola de pescado o de tres direcciones (Figura 5.9). Las barrenas de fricción tienen hojas cortas forjadas a manera de delgados filos cortantes y superficies de metal endurecido. El cuerpo de la barrena es hueco y lleva agujeros o boquillas de salida que dirigen la corriente de fluido hacia el centro de cada filo cortante. Este flujo limpia y enfría las hojas al avanzar la perforación. La barrena de tres direcciones funciona con más suavidad

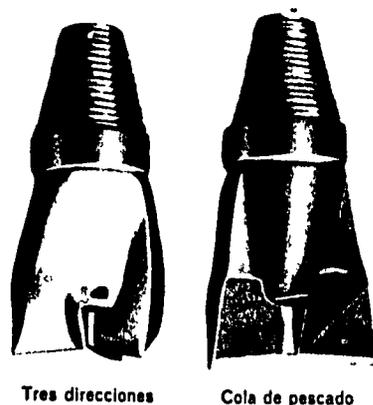
y rapidez que la de cola de pescado en formaciones irregulares y semi-consolidadas, y tiene menos tendencia a combarse. Sin embargo, corta un poco más lentamente que la de cola de pescado en formaciones verdaderamente no consolidadas y de arena.

Las formaciones de grava gruesa y las que contienen guijarros pueden requerir el empleo de barrenas de rodillos o trépanos como la que se muestra en la Figura 5.10. Estas ejercen una acción de trituración y corte al girar, cortando eficazmente de esta manera, las formaciones más duras. Cada rodillo está provisto de una boquilla que sirve para el mismo propósito, con respecto a los rodillos, que las de las brocas de fricción en relación con sus hojas.

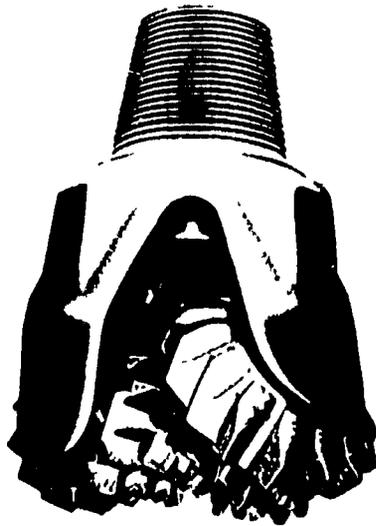
La bomba impulsa el fluido de perforación a través de la manguera, la junta rotatoria, el vástago y la barrena en el agujero perforado. El fluido de perforación, al fluir hacia arriba y afuera del agujero perforado, eleva los cortes hasta la superficie. En la superficie, el fluido corre en una zanja apropiada hacia un foso de asentamiento donde se depositan los cortes. De aquí se derrama a una fosa de almacenamiento donde nuevamente se eleva y recircula por medio de la bomba. La fosa de asentamiento debe ser de un volumen igual a, por lo menos, tres veces el volumen del agujero que se está perforando. Debe ser relativamente poco profundo (siendo satisfac-

toria, usualmente, una profundidad de 2 a 3 pies (60 a 90 cm) y, aproximadamente, en la dirección del flujo, de longitud doble de su anchura y profundidad. De acuerdo con las reglas anteriores, una fosa de asentamiento de 6 pies (1.8 m) de largo, 3 pies (0.9 m) de ancho y 3 pies de profundidad sería adecuada para la perforación de pozos de 4 pulgadas (10 cm) (diámetro de agujero de 6 pulgadas (15 cm), y 100 pies de profundidad. También puede usarse un sistema de desviadores para proporcionar un tiempo adicional de recorrido en la fosa y de esta manera mejorar el asentamiento.

El objeto de la fosa de almacenamiento es, principalmente, proporcionar suficiente volumen para el bombeo. Una fosa de 3



**Figura 5.9 BARRENAS PARA PERFORACION ROTATORIA.** (De la Figura 41, *Wells, Manual Técnico TM5-297 del Departamento del Ejército, 1957*).



**Figura 5.10 BARRENA ROTATORIA DE TREPANO DEL TIPO DE RODILLOS. (De Reed Drilling Tools, Houston, Texas).**

pies cuadrados ( $0.30 \text{ m}^2$ ), y 3 pies (0.9 m) de profundidad sería satisfactoria. Igualmente, puede estar combinada con la fosa de asentamiento para formar un solo depósito, más grande, o separada de ella por una zanja de comunicación. Los cortes extraídos del agujero deben removerse periódicamente de las fosas y zanjas cuando sea necesario.

El fluido de perforación efectúa otras funciones importantes en el agujero perforado además de las ya mencionadas. Estas se examinan posteriormente en este capítulo.

La Figura 5.11 muestra algunas partes componentes de un conjunto de perforación rotatoria.

Los mecanismos de cadena mostrados se usan principalmente para aplicar una fuerza descendente más grande a la tubería de perforación y a la broca, pero no se requieren normalmente para

la perforación de pozos pequeños en formaciones no consolidadas.

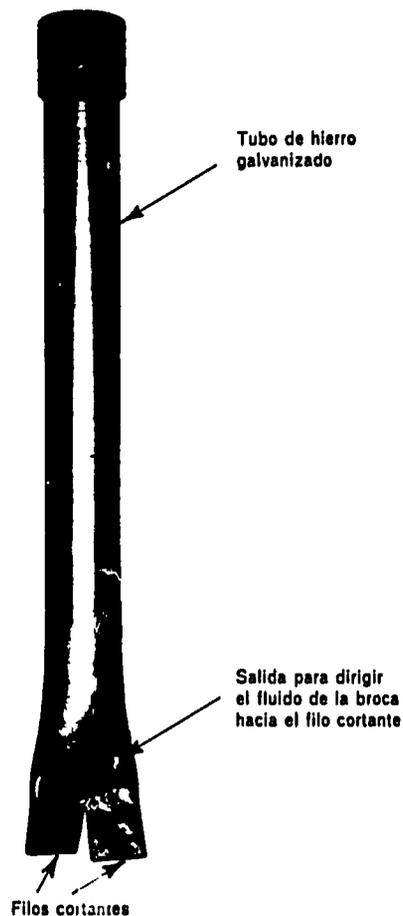
El equipo de perforación rotatoria para pozos poco profundos de diámetro pequeño puede ser mucho menos complicado que los ya descritos. La torre de perforación o mástil montado en un camión, remolque o plataforma puede substituirse por un trípode hecho de tubo de hierro galvanizado de 2 ó 3 pulgadas (5 ó 7.5 cm). Una pequeña unión giratoria apropiada puede suspenderse mediante una cuerda, a través de un aparejo de polea sencilla, de un gancho en forma de U sujeto por un pasador en el vértice del trípode. Entonces, la tubería de perforación y las brocas, hechas ambas de tubo de hierro galvanizado, una bomba adecuada, una sección de manguera y una torre, completan los requerimientos. Uno o dos hombres pueden usar los alicates de cadena para hacer girar la tubería de perforación. Con excepción de la barrena de perforación, este equipo puede ser idéntico al descrito para el método de chorro, que aparece en la Figura 5.6. Este sencillo equipo de perforación es ligero, manuable y fácilmente transportable a zonas inaccesibles para aparejos más grandes.



**Figura 5.11 APAREJO DE PERFORACION ROTATORIA. (De la compañía Winter Weiss, Denver, Colorado)**

La Figura 5.12 muestra una broca de perforación del tipo de cola de pescado hecha de un tramo corto de tubo galvanizado. Este tipo de broca ha sido usado con éxito por los perforadores del Ministerio de Obras Públicas e Hidráulica de Guyana, para la perforación de pozos poco profundos, de pequeño diámetro en formaciones de arcilla deltaica y arena. Las barrenas son baratas y fáciles de fabricar. Además, ofrecen oportunidad de aprovechar los tramos cortos, que nunca faltan, de tubo galvanizado.

Los agujeros perforados por el método rotatorio en las formaciones no consolidadas generalmente tienden a derrumbarse, a menos que las propiedades del fluido de perforación (lodo de perforación) sean tales que proporcionen soporte adecuado para la pared del agujero. Usualmente, los lodos de perforación son mezclas viscosas de agua, arcillas naturales o comerciales tales como bentonita y, algunas veces, otros materiales para propósitos especiales. El peso de este fluido lodoso en el agujero debe bastar para suministrar suficiente presión para exceder la de la tierra y cualquier



**Figura 5.12 BARRENA DE PERFORACION ROTATORIA DEL TIPO DE COLA DE PESCADO HECHA DE TUBO DE HIERRO GALVANIZADO.**

El perforador también debe emplear su buen juicio para lograr una consistencia adecuada del fluido. Un fluido demasiado ligero provoca derrumbes en el agujero y la pérdida del líquido en las formaciones permeables. Por otra parte, el fluido demasiado espeso puede causar dificultades en el bombeo. El fluido de perforación no debe ser más espeso de lo necesario para mantener un agujero estable y la remoción satisfactoria de los cortes del mismo. El perforador experimentado, a menudo puede ajustar su mezcla de fluido a un nivel satisfactorio por medio de la inspección.

presión artesiana en la capa acuífera que pudieran causar el derrumbamiento. Además, el lodo de perforación forma una torta o una especie de recubrimiento semejante al caucho sobre la pared del agujero. Esta torta de lodo sostiene en su lugar, las partículas sueltas de la formación, protege la pared de la erosión producida por la corriente ascendente del fluido y sella la pared para evitar pérdida de éste en las formaciones permeables tales como arenas y gravas. Los perforadores deben tener cuidado de no aumentar la velocidad de bombeo hasta el punto en que se causa la destrucción de la torta de lodo y se produzcan derrumbes en el agujero.

El fluido de perforación también debe ser de tal naturaleza que la arcilla no se separe de la mezcla cuando cese el bombeo, sino permanezca un poco elástico, manteniendo así los cortes en suspensión. No todas las arcillas naturales exhiben esta propiedad, conocida como *gelificación*. Las arcillas de bentonita muestran fuerza de gel satisfactoria y se agregan a las naturales para aproximar sus propiedades de gel a los niveles deseados.



**Figura 5.13 BALANZA PARA DETERMINAR EL PESO DEL LODO, CRO-  
NOMETRO, EMBUDO MARSH PARA MEDIR LA VISCOSIDAD DEL LODO  
Y UNA TAZA MEDIDORA DE UN LITRO.**

Sin embargo, existen dos auxiliares que el perforador puede usar en la práctica para comprobar las características del fluido y ejercer el control necesario. Estos son, una balanza para determinar la densidad del lodo y un embudo Marsh para medir su viscosidad. Ambos se muestran en la Figura 5.13. La balanza tiene una taza en un extremo y un peso deslizante en la otra porción de su barra. El peso se mueve hasta que equilibra la taza llena con el fluido de perforación. La densidad de éste se lee, entonces, en el brazo de la balanza que está calibrado en libras por galón (kg por l). Para la mayoría de las perforaciones de pozos de agua, suele ser satisfactorio un fluido con densidad de aproximadamente 9 libras por galón (1.1 kg por l).

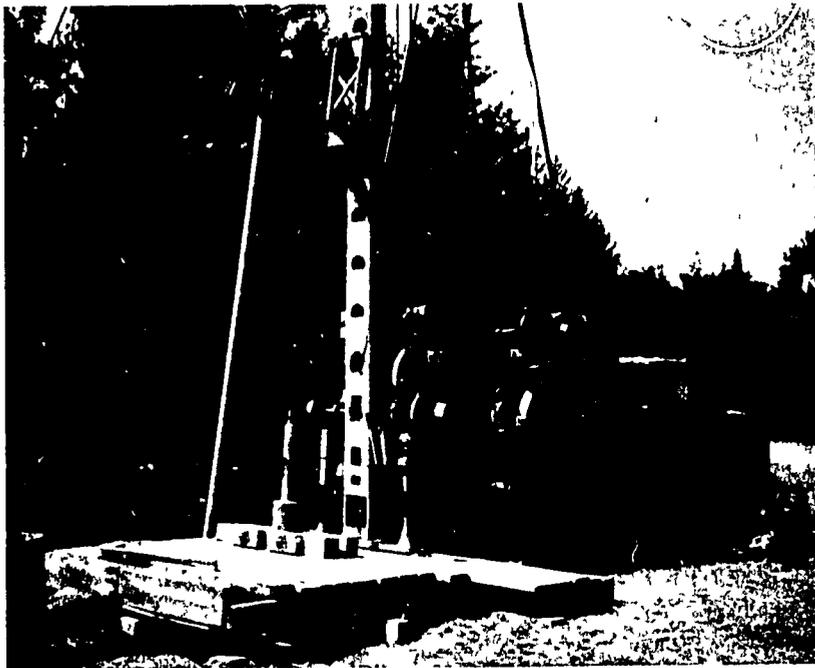
Para determinar la viscosidad, se tapa con un dedo el extremo inferior del embudo Marsh mientras se llena hasta el nivel apropiado (un volumen de 1,500 centímetros cúbicos). Después, se separa el dedo para permitir que descargue el fluido desde el embudo. El tiempo, en segundos, requerido para descargar 1000 centímetros cúbicos (un litro) del líquido, se define como la viscosidad por embudo Marsh expresada en segundos.

Un buen lodo de perforación, de densidad de 9 libras por galón (1.1 kg por l), debe tener una viscosidad por embudo Marsh del orden de 30 a 40 segundos. La arena levantada por el lodo de perforación de los cortes tiene el efecto de aumentar la densidad mientras se reduce la viscosidad por el embudo Marsh. En contraste, se puede esperar que las arcillas originales aumenten tanto la densidad como la viscosidad del fluido. El

agua y/o la arcilla deben agregarse periódicamente al lodo de perforación, según sea necesario para mantener la densidad y la viscosidad dentro de los límites mencionados.

Usualmente, la perforación por el método de rotación hidráulica penetra con más rapidez las formaciones no consolidadas de lo que se posible por cualquier otro método. Esto puede resultar en ahorros apreciables en tiempo y costo, los cuales pueden ser consideraciones importantes en un programa de construcción de pozos. Como el agujero no necesita entubarse hasta que se termine la perforación, puede abandonarse si es necesario sin el problema de tirar o dejar detrás la línea del entubado. Una tercera ventaja es la mayor facilidad con que pueden construirse los pozos empacados artificialmente con grava en formaciones no consolidadas, particularmente cuando se van a desarrollar dos o más.

El método de rotación hidráulica también tiene algunas desventajas. El muestreo exacto y el registro de las formaciones penetradas puede ser difícil para el perforador inexperto a causa de las distintas velocidades de arrastre de los cortes fuera del agujero. La necesidad de control adecuado del lodo de perforación también requiere considerable experiencia por parte del perforador que utiliza este sistema. El adiestramiento de estos operadores puede ser más largo y difícil. A pesar de estas desventajas, el método



**Figura 5.14 APAREJO DE PERFORACION DE CABLE Y HERRAMIENTA STAR 71.**

encuentra aplicación considerable en la construcción de pozos en todos los tipos de formaciones y particularmente en las no consolidadas.

### **Percusión por cable y herramienta**

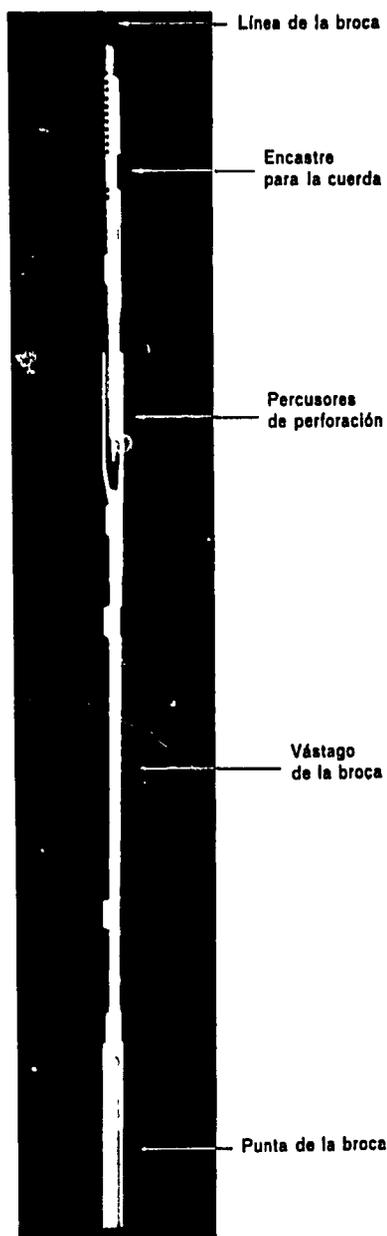
El método de percusión con herramienta y cable es uno de los más antiguos empleados en la construcción de pozos. Utiliza el principio de la caída libre de una broca pesada aplicando golpes contra el fondo de un agujero y penetrando, de esta manera, en el suelo. Los cortes se retiran periódicamente por medio de un achicador o bomba de arena. Las herramientas para perforar y achicar se llevan en líneas o cables separados enrollados en tambores elevadores independientes.

Los componentes básicos de un aparejo perforador de cable y herramientas son: una unidad de fuerza motriz para impulsar el carrete del cable (que lleva el cable de perforación) y el carrete de arena (que lleva el cable para achicar), y un balancín para impartir el movimiento de perforación a las herramientas, montados todos en un bastidor que lleva una grúa o mástil de peso adecuado para el uso de una línea de herramientas de perforación. La Figura 5.14 muestra un aparejo de perforación de cable y herramienta en posición.

Una línea completa de herramientas de perforación comprende cuatro partes. Estas son: la punta de la broca, la barra de la broca, los percursoros de perforación y el encastre para la cuerda (Figura 5.15). La punta de la broca, en forma de cincel, se usa para aflojar los materiales de roca no consolidada y, al oscilar, los mezcla con un lodo que se extrae posteriormente por medio de achicadores. Cuando se perfora en formaciones secas, debe agregarse agua para formar el lodo. El paso del agua sobre la broca permite el movimiento del lodo relativo a ella, y por lo tanto facilita el movimiento oscilante de caída libre de la broca. El vástago de la broca situado inmediatamente sobre la punta, sólo proporciona peso adicional a ésta y agrega longitud a la línea de herramientas para percibir que la perforación sea recta.

Los percursoros son un par de barras de acero, unidas que pueden moverse entre sí en una dirección vertical. El juego o carrera de los percursoros de perforación es de 6 a 9 pulgadas (15 a 22 cm). Los percursoros se usan para aplicar golpes hacia arriba cuando sea necesario liberar una línea de herramienta atascada o acuñaada en el agujero que se está perforando. Los percursoros de perforación deben diferenciarse de los percursoros de pesca, de igual diseño que tienen una carrera de 18 a 36 pulgadas (45 a 90 cm) y se utilizan para pescar o recuperar herramientas que se han soltado de la línea de perforación en el agujero.

El encastre de la cuerda conecta la línea de herramientas al cable. Está construido de tal manera que proporciona una ligera rotación en el sentido de las manecillas del reloj a las herramientas de perforación en



**Figura 5.15 COMPONENTES DE UNA LÍNEA DE HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN PARA EL METODO DE PERCUSION DE CABLE Y HERRAMIENTA.** (De la compañía Acme Fishing Tool, Parkersburg, West Virginia).

relación con el cable. Esta rotación de las herramientas asegura la perforación de un agujero redondo. Otra función del encastre de la cuerda es proporcionar, con su peso, parte de la energía de los golpes ascendentes de los percusores.

Usualmente, los componentes de la línea de herramientas se unen por medio de conexiones del tipo de caja y pasador, con diseños y dimensiones normales del American Petroleum Institute (API).

El achicador es, simplemente, una sección de tubo con una válvula de retención en el fondo. La válvula puede ser del modelo plano o del tipo de campana y lengüeta, llamado válvula de dardo. La Figura 5.16 muestra un achicador de válvula de dardo descargándose, haciendo descansar su lengüeta en un bloque de madera.

La bomba de arena (Figura 5.17) es un achicador ajustado con un émbolo, que al subir crea un vacío que abre la válvula de retención y succiona los cortes en el lodo hacia el achicador. Las bombas de arena se fabrican siempre con válvulas de retención del tipo plano.

Es importante para el buen funcionamiento que el movimiento de perforación se mantenga al mismo ritmo que la caída de la línea de herramientas. El perforador debe ver que la velocidad de la máquina tenga la misma sincronización que la caída de las herramientas y la extensión

del cable. Esto es un talento que sólo posee un perforador experimentado.

La perforación por medio del método de percusión por cable y herramienta en formaciones no consolidadas requiere que el entubado siga muy de cerca la punta de la broca según se va profundizando el agujero. Esto es necesario para evitar derrumbes. El procedimiento usual es cavar un agujero inicial en el cual se coloca la primera sección del entubado. Este se hinca de uno o varios pies dentro de la formación, se añade agua y el material que se encuentra dentro del entubado se reduce a masilla y se retira por medio de achicadores. Luego, se hinca nuevamente el entubado y se agrega agua al material que contiene si es necesario, se perfora y se extrae con los achicadores. Se repite el procedimiento, agregando secciones de entubado hasta que se alcance la profundidad deseada.

La operación de hinca del tubo requiere que el extremo inferior de la primera sección del entubado se cubra con una zapata protectora (Figura 5.18). El extremo superior del entubado se protege con un cabezal de hinca que sirve de yunque. Abrazaderas para hincar, hechas de dos piezas pesadas de acero forjado y unidas al



**Figura 5.16 DESCARGA DE UN ACHICADOR DE VALVULA DE DARDO.**

cuadro de la llave superior del vástago de la broca, se usan a manera de martillo (Figura 5.19). La línea de herramientas, que proporciona el peso necesario para la hinca, se levanta y se deja caer repetidamente por la acción de balanceo de la máquina de perforación, hincando, así el entubado en el suelo. Otro sistema para hincar entubados en pozos de diámetro pequeño emplea un aparejo de hinca como se mostró previamente en la Figura 5.4. El aparejo hinca se eleva y se deja caer en el cabezal por medio de una cuerda de manila enrollada en un carrete.

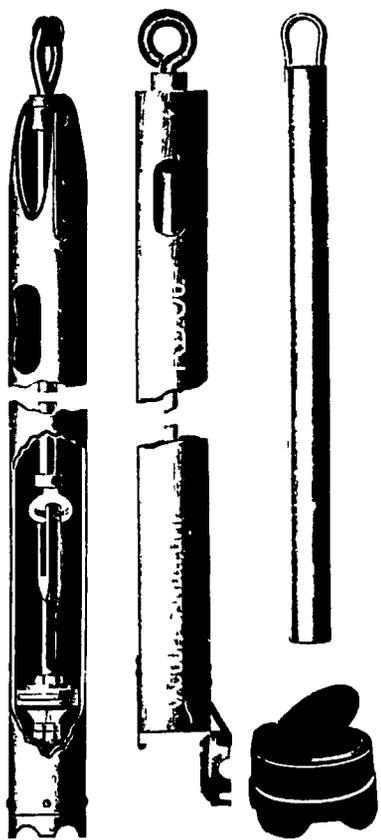
Es importante que los primeros

40 a 60 pies (12 a 18 m) del entubado se dirijan verticalmente. El alineamiento apropiado de la línea de herramientas, concéntricamente dentro del entubado, cuando se permite que las herramientas cuelguen libremente, es una precaución necesaria. Deben efectuarse comprobaciones periódicas con una plomada o nivel de carpintero usados a lo largo del tubo en dos posiciones, aproximadamente en ángulos rectos uno con respecto al otro, para asegurar que se está perforando un agujero recto y vertical.

El método de percusión de cable y herramienta puede usarse en todos los tipos de formaciones. Sin embargo, está mejor adaptado que otros métodos para perforar en formaciones no consolidadas que contienen rocas y pedruscos grandes.

Las desventajas principales del método de percusión de cable y herramienta son su escasa velocidad de perforación y la necesidad de cubrir el agujero según avanza la perforación. Sin embargo, hay cierto número de ventajas que explican su amplia aceptación. Se puede lograr, fácilmente, un muestreo razonablemente exacto del material de la formación. Igualmente, se pueden efectuar comprobaciones someras del rendimiento y la calidad del agua de cada estrato acuífero según progresa la perforación. Se necesita mucho menos agua para la operación que en los métodos de

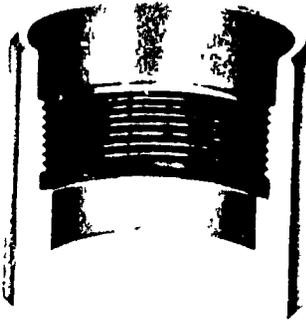
rotación hidráulica y de chorro. Esta puede ser una consideración importante en regiones áridas. Cualquier encuentro con formaciones acuíferas se advierte inmediatamente, ya que el agua brota dentro del agujero. Sin embargo, el perforador no necesita bajo ciertos aspectos ser tan hábil como su colega del método de rotación.



**Figura 5.17 ACHICADOR DE BOMBEO DE ARENA CON VALVULA PLANA EN EL FONDO.**

#### **INSTALACION DEL ENTUBADO DEL POZO**

Algunos métodos de perforación de pozos, como el de percusión con cable y herramienta, requieren que el entubado siga muy de cerca la punta de la broca según avanza la operación. En pozos construidos por estos métodos, usualmente, el entubado se coloca en posición por cualquiera de los sistemas ya descritos. Esta sección trata de la colocación del entubado en un agujero abierto, perforado por los métodos de rotación hidráulica, de chorro, de percusión hidráulica o de cubeta sacalodos.



**Figura 5.18 ZAPATA DE HINCA DEL ENTUBADO.**

Primero, es necesario asegurarse de que el agujero esté libre de obstrucciones en toda su profundidad antes de intentar colocar el entubado. En los métodos de rotación hidráulica y de chorro, el perforador puede asegurar un agujero limpio manteniendo la circulación del fluido con la broca cerca del fondo del agujero durante un período suficientemente largo para extraer todos los cortes hasta la superficie. Algunas veces el perforador también puede barrenar el agujero un poco más profundamente de

lo necesario, de manera que cualquier material de derrumbe llene la profundidad adicional de éste sin afectar la colocación del entubado a la profundidad deseada.

Al colocar el entubado, éste puede suspenderse desde el interior de un acoplamiento en su extremo superior, por medio de un adaptador llamado submarino que se sujeta al dispositivo de una grúa (Figura 5.20), un elevador para entubado (Figura 5.21) o una abrazadera de tubería colocada alrededor del entubado debajo del acoplamiento. La primera sección del entubado se baja hasta que el acoplamiento el elevador o la abrazadera de tubería descansa en la mesa rotatoria u otro soporte colocado sobre el suelo alrededor del entubado. Si se levanta por medio de un submarino, éste en la primera sección del entubado o envolvente, se desconecta y se une a la segunda sección de aquélla. Si se levanta por medio de elevadores o abrazaderas para tubería, entonces se liberan los cubos del elevador o su equivalente de la envolvente en el agujero y se fijan a otro elevador o abrazadera en la segunda sección de la envolvente. Después, esta parte de la envolvente se levanta y se coloca en posición y se atornilla en el acoplamiento de la primera sección. Las cuerdas de la envolvente y del acoplamiento deben cubrirse con un aceite delgado. Las uniones deben atornillarse fuertemente para evitar fugas; entonces, se remueve el elevador u otro soporte de la envolvente y se hace bajar su línea y se suspende de su acoplamiento superior. Se repite el procedimiento hasta que se instalen todas las secciones sucesivas de la envolvente. Si los derrumbes son tales que evitan el descenso de la envolvente, el eslabón giratorio se puede unir a la envolvente con un submarino y se despeja la obstrucción por medio de la circulación del fluido. También puede hincarse el entubado.

## ENLUCIDO Y SELLADO DEL ENTUBADO



Figura 5.19 HINCA DEL ENTUBADO CON ABRAZADERAS DE HINCAR A MANERA DE MARTILLO Y CABEZAL COMO YUNQUE.

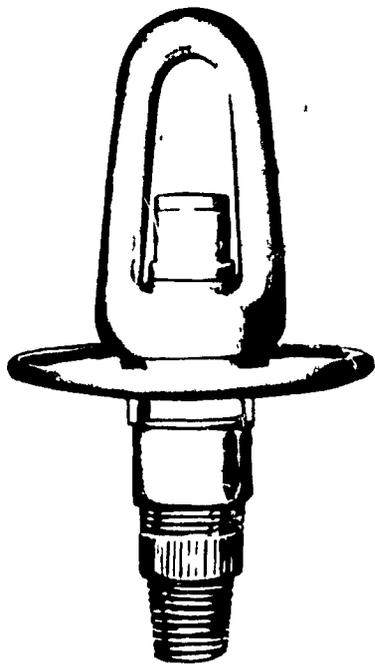


Figura 5.20 TAPON ELEVADOR. (De la figura 51 Wells, Manual TM5-297 del Departamento Técnico del Ejército, 1957).

*Enlucido* es el nombre que se da al proceso que emplea un lodo o mezcla acuosa de cemento o barro para llenar el espacio anular entre la envolvente y la pared del agujero, para sellar la entrada de aguas contaminadas de la superficie y otros estratos sobre la capa acuífera deseada. Si el pozo se construye con envolventes permanentes tanto en el interior como en el exterior, el espacio entre las envolventes lo mismo que entre la pared del agujero y la envolvente exterior deben enlecharse o enlucirse.

La arcilla nativa amasada del tipo adecuado para usarse como fluido de perforación puede emplearse para enlechar y se puede aplicar bombeando con la bomba de circulación de lodo que se usa normalmente para los propósitos de perforación. Debe emplearse a profundidades debajo de los primeros metros de la superficie, donde no esté sujeto a escasez o disminución de agua. No debe usarse a profundidades en donde sea probable que el movimiento del agua arrastre las partículas de arcilla.

El cemento para enlucir es el tipo más comúnmente empleado y constituye el tema del resto de esta sección. Se prepara mezclando agua y cemento en la proporción de 5 a 6 galones (19 a 22 lt) de agua para un saco de 94 libras (42 kg) de cemento Portland. Usualmente, esta mezcla es suficientemente fluida para circular



Figura 5.21 ELEVADOR DE ENTUBADO.

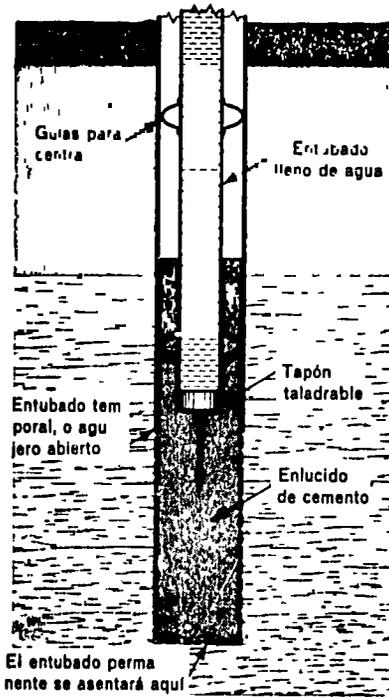


Figura 5.22 METODO DE COLOCACION POR GRAVEDAD DEL ENTUBADO DEL POZO ENLECHADO CON CEMENTO. EL ENTUBADO TAPONADO DESLIZADO EN LODO DE CEMENTO EMPUJA EL LODO HACIA EL ESPACIO CIRCUNDANTE.

a través de los tubos enlucidos. Cantidades de agua en exceso de 6 galones (22 lt) por saco de cemento, resultan en el asentamiento de éste, lo cual no es deseable. Es mejor inclinarse por la mezcla más seca basada en la cantidad menor de 5 galones (19 lt) de agua por saco de cemento. Una mezcla que fluye mejor puede obtenerse agregando de 3 a 5 libras (1 ó 2 kg) de arcilla de bentonita por saco de cemento, en cuyo caso deben usarse 6.5 galones (24 lt) de agua por saco. Donde el espacio que debe llenarse es grande, puede agregarse arena al lodo para proporcionar volumen adicional. Sin embargo, esto aumenta la dificultad de instalación y manejo. El agua empleada en la mezcla debe estar exenta de aceite u otro material orgánico tal como hojas de plantas y trozos de madera. El cemento de los tipos normal o de endurecimiento rápido debe ser satisfactorio. El empleo del último permite una más pronta reanudación de las operaciones de perforación.

La *mezcla* para enlechar o enlucir puede hacerse en una mezcladora para hormigón, si se dispone de ella y se pueden almacenar temporalmente algunas cantidades hasta que se tenga suficiente para el trabajo a desarrollar. Sin embargo, las cantidades normalmente requeridas para los pozos pequeños se pueden mezclar adecuadamente en un tambor de aceite limpio de

50 galones (190 lt). A 20 galones (76 lt) de agua en el tambor, deben agregarse, lentamente, 4 sacos de cemento mientras se agita el líquido vigorosamente por medio de una paleta.

La *aplicación* del enlucido debe efectuarse en una operación continua antes que ocurra el fraguado inicial del cemento. Independientemente del método empleado para la aplicación, la lechada para enlucir debe introducirse en el fondo del agujero de manera que, al abrirse camino hacia el espacio circundante, lo llene completamente sin dejar ninguna brecha. El agua o el lodo de perforación debe bombearse a través del entubado y hacia el espacio circundante para liberarlo de cualquier obstrucción antes de aplicar el enlucido de cemento. Para hacer esto, el extremo de la envolvente debe estar adecuadamente tapado. Si el agujero se ha perforado mucho más profundamente que el nivel al cual se va a apoyar el entubado, la profundidad adicional puede rellenarse con una arena fina. Hay varios métodos de aplicar el enlucido, de los cuales se describen adelante algunos de los más simples. Bombas apropiadas, presión de aire o agua pueden usarse para impulsar la lechada en el espacio circundante. Sin embargo, en agujeros poco profundos, también se puede aplicar por gravedad.

Un *método de aplicación por gravedad* se indica en la Figura 5.22. Una cantidad de lodo en exceso de la requerida para llenar el espacio anular circundante se introduce en el agujero. La envolvente con su extremo inferior taponado con material fácilmente perforable (madera blanda por ejemplo) y con guías para centrar, se hace descender en el agujero, impulsando el lodo hacia arriba a través del espacio anular y al exterior para que llegue hasta la superficie. La envolvente se puede llenar con agua o hacerse más pesada por otros medios para ayudarla a hundirse y desplazar el lodo. Si se emplea temporalmente una envolvente exterior, debe retirarse mientras la lechada está aún fluida.

En la Figura 5.23 se muestra el método de *tubería interior* para el enlucido de la envolvente del pozo. La lechada se aplica en el fondo del agujero a través de una tubería colocada en el interior de la envolvente y se impulsa hacia arriba por el espacio anular ya sea por gravedad, o de preferencia bombeando a presión a fin de completar la operación antes que ocurra el fraguado inicial del cemento. La aplicación de la lechada debe continuarse hasta que el lodo rebase el extremo del agujero. Un obturador adecuado o tapón de cemento ajustado con una válvula de bola se instala en el extremo del fondo de la envolvente para evitar fugas del enlucido hacia el interior de la envolvente. Este obturador también debe estar hecho de materiales fácilmente perforables. La tubería para la lechada debe ser de un diámetro de 3/4 de pulgada (2 cm), o mayor, y debe llenarse el entubado con agua para evitar que flote. El diámetro del agujero perforado debe ser, por lo menos, 2 pulgadas (5 cm), mayor que el entubado del pozo.

El método de *tubería exterior* mostrado en la Figura 5.24 requiere un agujero de diámetro 4 a 6 pulgadas (10 a 15 cm) mayor que la envolvente del pozo. Esta debe centrarse en el agujero y dejarse descansar en su fondo. La tubería para la lechada, de tamaño similar al empleado en el método de tubería interior, se extiende inicialmente hasta el fondo del espacio

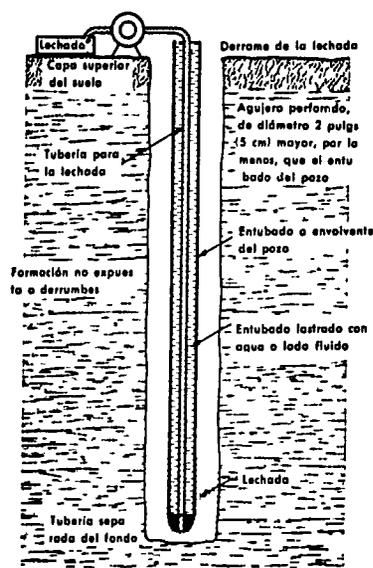


Figura 5.23 METODO DE TUBERÍA INTERIOR PARA EL ENLUCIDO DE CEMENTO DEL ENTUBADO DEL POZO.

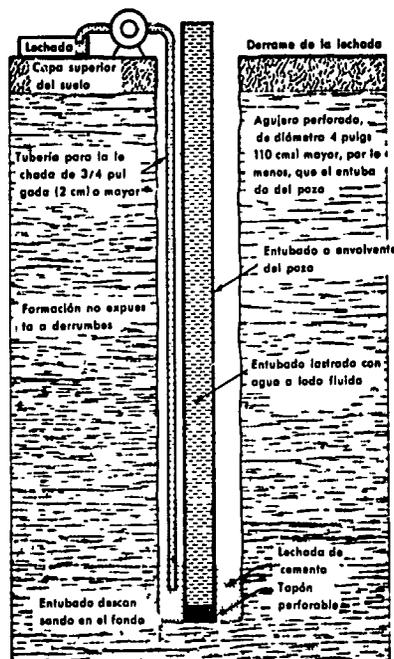
anular y debe permanecer sumergida en el lodo durante las operaciones de instalación. Esta tubería debe separarse gradualmente al elevarse el lodo en el espacio anular. Si las operaciones de enlucido se interrumpen por alguna razón, la tubería de la lechada debe retirarse por encima del enlucido aplicado. Antes de bajar la tubería nuevamente en el lodo, debe emplearse lechada para desalojar el aire y el agua de la tubería. El lodo se aplica mejor por medio de bombeo, aunque puede fluir por gravedad. El entubado se puede tapar y lastrar con agua para evitar que flote. El peso de las herramientas de perforación también puede usarse para mantener la envolvente en su sitio.

Después que se ha aplicado al enlucido de cemento, no debe hacerse ningún trabajo adicional hasta que aquél se haya endurecido. El tiempo requerido para el fraguado puede determinarse colocando una muestra de la lechada en una lata abierta y sumergiéndola en una cubeta con agua. Cuando se ha endurecido firmemente la muestra, puede proseguir el trabajo. Generalmente, se debe esperar 72 horas, por lo menos, para que la lechada de cemento se endurezca. Si se emplea cemento de fraguado rápido, se puede reducir la espera a 36 horas aproximadamente.

### ALINEACION DEL POZO

La alineación se emplea aquí para incluir los conceptos de verticalidad y rectitud de un pozo. Es importante comprender estos conceptos y cuál es su diferencia. La *verticalidad* se refiere a la desviación, con la profundidad, del eje central del pozo respecto a la verticalidad trabada a través del centro de éste y el extremo superior del entubado. La *rectitud*, sin embargo, solamente considera si el eje central del pozo es recto. De esta

manera, un pozo puede ser recto, pero no vertical, ya que su alineamiento estará desviado en una u otra dirección con respecto a la vertical.



**Figura 5.24 METODO DE TUBERIA EXTERIOR PARA ENLUCIR CON CEMENTO EL ENTUBADO DEL POZO.**

La verticalidad y la rectitud de un pozo son consideraciones importantes en su construcción, porque determinan si se puede instalar una turbina vertical o bomba sumergible de un tamaño dado a una profundidad determinada. En este aspecto, la rectitud es el factor más importante. Si bien se puede instalar una bomba vertical en un pozo razonablemente recto que no sea vertical, no se puede instalar en otro que esté oblicuo más allá de cierto límite. Sin embargo, la verticalidad debe controlarse dentro de límites razonables, ya que la desviación de la línea vertical puede afectar el funcionamiento y duración de algunas bombas. La mayoría de las normas de construcción de pozos y los contratos de perforación especifican límites para el alineamiento de los pozos profundos de gran diámetro. Generalmente, estos límites no pueden aplicarse prácticamente a los pozos poco profundos de diámetro pequeño.

Estos últimos deben construirse suficientemente rectos y verticales para permitir la instalación y funcionamiento del equipo de bombeo.

### **Factores que afectan la alineación de un pozo**

Si bien es deseable que un pozo sea absolutamente recto y vertical, usualmente este ideal no se puede alcanzar. Diversos factores tales como la naturaleza del subsuelo que se está taladrando, la exactitud o rectitud de la tubería de perforación y la envoltorio del pozo, y la fuerza descendente en la tubería de perforación en el sistema rotatorio, se combinan para causar desviaciones de la rectitud y verticalidad exactas. Las variaciones en la dureza de los materiales penetrados pueden desviar la broca de la vertical. Igualmente lo pueden hacer las piedras que se encuentran en las formaciones de morenas. Un agujero recto no puede perforarse con

una tubería de perforación encorvada. Demasiada fuerza aplicada en el extremo superior del vástago de la broca rotatoria doblará la delgada columna de la tubería de perforación y cavará un agujero oblicuo. Sin embargo, el peso, representado por collares de perforación colocados en el extremo inferior del vástago de la barrena, justamente sobre la punta, ayudará a superar la tendencia a alejarse de la vertical. Aun después de perforado el agujero, los tubos de la envolvente doblados o encorvados y las roscas mal alineadas pueden dar por resultado un pozo con discrepancias apreciables de las líneas vertical y recta.

### **Medición de la alineación del pozo**

De ordinario, se hacen mediciones de alineación en el agujero cubierto. Cuando la perforación se ha hecho por el método rotatorio, estas mediciones deben hacerse antes de enlucir y sellar el entubado. Por el método de percusión de cable y herramienta, y otros, en los cuales la envolvente sigue la broca según avanza la perforación, pueden efectuarse comprobaciones periódicas de la rectitud y verticalidad durante la perforación. Cuando se ha iniciado un agujero por el método de cable y herramienta con los utensilios suspendidos directamente sobre el centro del extremo superior de la envolvente, cualquier desviación subsecuente del cable con respecto al centro indica una discrepancia del agujero con relación a la vertical. El desgaste de las esquinas de la broca de percusión de cable y herramienta de un lado solamente también sirve para indicar que se está perforando un agujero oblicuo. Estos primeros indicios ayudan a que el perforador tome medidas para corregir la falla. Puede encontrar necesario cambiar la posición del aparato de perforación o rellenar una porción del agujero y volver a taladrarlo.

Por lo general se emplea una plomada suspendida de un cable de alambre desde la grúa del aparejo de perforación o desde un trípode para medir tanto la rectitud como la verticalidad de un pozo. La plomada debe tener la forma de un cilindro de 4 a 6 pulgadas (10 a 15 cm) de largo, con diámetro exterior  $1/4$  de pulgada (6 mm), aproximadamente, menor que el diámetro interior de la envolvente. Debe ser lo suficientemente pesada para mantener tirante el alambre. Un bloque de guía se fija a la grúa o trípode de manera que el centro de su pequeña polea o motón esté 10 pies (3 m) sobre el extremo superior del entubado y ajustada de tal manera que la plomada cuelgue exactamente en el centro del mismo. El cable debe estar marcado a intervalos exactos de 10 pies (3.04 m).

Cuando se baja una plomada a determinada marca de 10 pies, bajo el extremo superior del entubado, la desviación medida de la línea del cable desde el centro del extremo de la envolvente, multiplicada por un número que es una unidad más grande que la del número de secciones de 10 pies del cable en la envolvente, indica la desviación a la profundidad

de la plomada. Por ejemplo, si la desviación del centro en el extremo superior de la envolvente cuando la plomada está 30 pies (9.12 m) bajo el extremo de la envolvente es de 1/8 de pulgada (3 mm) la desviación a 30 pies de profundidad con respecto a la vertical en la envolvente es 3 más 1, o sea 4 por 1/8 de pulgada, o sea 1/2 pulgada (13 mm). Igualmente, con la plomada a 40 pies (12.16 m) dentro del agujero, el factor es 5, y al encontrarse a 100 pies (30.4 m), el factor es 11.

Para determinar la rectitud, la desviación se mide a intervalos de 10 pies (3.04 m) en el pozo. Si la desviación de la vertical aumenta uniformemente por cada intervalo sucesivo de 10 pies, el pozo es recto hasta la última profundidad comprobada. La desviación o separación calculada de la vertical puede graficarse contra la profundidad para representar las posiciones del eje o línea de centro del pozo. Esta gráfica puede emplearse para determinar si puede instalarse una bomba de longitud y diámetro determinados a una profundidad dada dentro del pozo. Esto también puede comprobarse *in situ*, haciendo bajar dentro del pozo una sección de tubería de las mismas dimensiones que la bomba.

### **INSTALACION DE LAS REJILLAS DEL POZO**

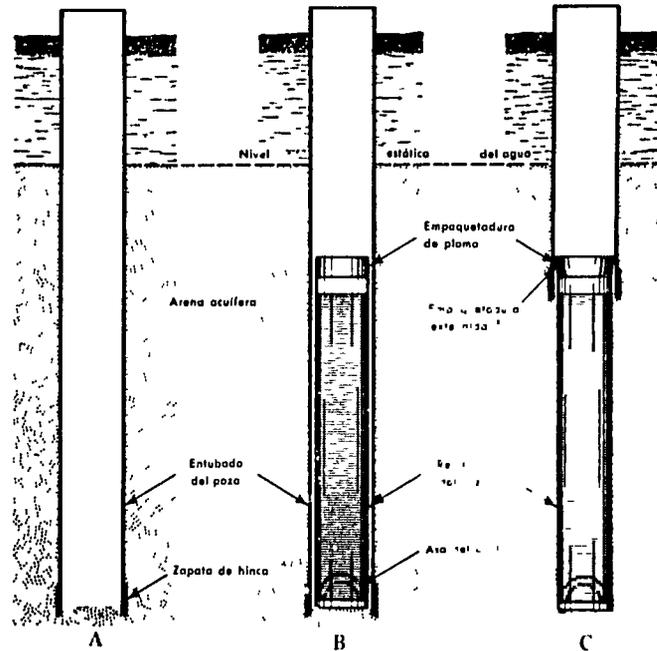
Hay varios métodos para instalar las rejillas del pozo. Algunos de ellos se describen enseguida. La selección del método para un pozo en particular puede estar influenciada por el diseño del pozo, el método de perforación y el tipo de problemas que se encuentren en la operación del barrenado.

#### **Método de retroceso**

El método de retroceso es, con mucho, el más seguro y sencillo de los sistemas empleados. Si bien se usa comúnmente en pozos perforados por el método de percusión por cable y herramienta, es igualmente aplicable en los que se perforan por rotación. La rejilla se baja dentro del entubado, que luego se tira hacia atrás hasta una distancia suficiente para exponerla. Esta debe ser del tipo de telescopio con diámetro exterior apenas más pequeño que el diámetro interior del entubado para permitir telescopiar la rejilla a través de éste. El extremo de la rejilla se ajusta con un empaque de plomo que se recalca para formar un sello a prueba de arena entre el extremo de la rejilla y el interior del entubado.

Las operaciones básicas en la instalación de una rejilla por el método de retroceso se indican en la serie de ilustraciones de la figura 5.25. Primero, el entubado se hunde a la profundidad en que se va a ajustar el fondo de la rejilla. Toda la arena u otros cortes dentro del entubado deben extraerse achicando o lavando. Entonces, se instala la rejilla, suspendida dentro del entubado, y a continuación se sujeta al asa del achicador el gancho que aparece en la figura 5.26 en el fondo de la rejilla. Después, se baja todo el conjunto mediante la línea de la grúa hasta el fondo del

agujero. Sin embargo, si la profundidad hasta el nivel del agua en el agujero es menor de 30 pies (9.2 m), la rejilla montada puede, simplemente, dejarse caer en el entubado. Habiendo comprobado que esté en su posición



**Figura 5.25 METODO DE RETROCESO PARA INSTALACION DE REJILLAS DE POZO.**

- A. El entubado se hunde hasta el fondo del pozo.
- B. La rejilla del pozo se hace descender dentro del entubado.
- C. El entubado se tira hacia atrás para exponer la rejilla en la formación acuífera.



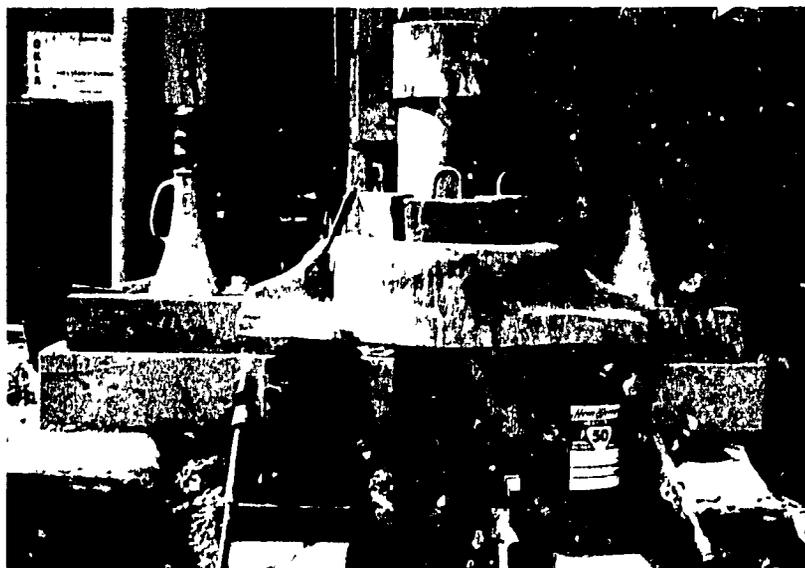
**Figura 5.26 GANCHO DE DESCENSO.**

exacta la rejilla, el gancho se libera y retira. Después, se corre por dentro una línea de tubería pequeña y se deja descansar en el fondo de la rejilla para sostenerla en posición mientras se retrae el entubado para exponer la rejilla. Si el entubado se ha hincado por el método de percusión por cable y herramienta, entonces se puede tirar de el operando las herramientas de perforación o con un aparejo de martinete, este último se muestra en la Figura 5.27 En ciertos casos, aun puede ser



**Figura 5.27 CABEZAL DE CHOQUE EMPLEADO PARA TIRAR DEL ENTUBADO DEL POZO. (De Bergerson-Caswell, Inc., Minneapolis, Minnesota).**

posible extraer el entubado con su línea en la máquina de perforación. También pueden usarse gatos hidráulicos o mecánicos (Figura 5.28) en combinación con un anillo de tracción o cubo de garras con calzas o cuñas. El entubado debe retirarse hacia atrás lo suficiente para dejar su extremo del fondo de 6 pulgadas a 1 pie (15 a 30 cm) debajo de la empaquetadura de plomo. Se retira la tubería que sostiene la rejilla en su lugar y se emplea un bloque para estampar (Figura 5.29) para ensanchar la empaquetadura de plomo y formar un sello a prueba de arena contra el interior del entubado. Para hacer esto, se atornillan dos o tres secciones de tubería de diámetro pequeño a la barra deslizante que pasa a través del bloque de es-



**Figura 5.28 RETIRO DEL ENTUBADO POR MEDIO DE GATOS HIDRAULICOS EN COMBINACION CON UN ANILLO DE ENTUBADO Y CUÑAS RECALCADAS.**

tampar. El conjunto se baja dentro del pozo hasta que el bloque descansa sobre la empaquetadura de plomo. El peso aplicado por el tubo unido a la barra deslizante se levanta, entonces, de 6 a 8 pulgadas (15 a 25 cm) y se deja caer varias veces. El bloque de estampar no debe separarse de la empaquetadura de plomo. Simplemente se debe forzar hacia abajo en la empaquetadura por los golpes repetidos de la pesada barra deslizante.

### Método de agujero abierto

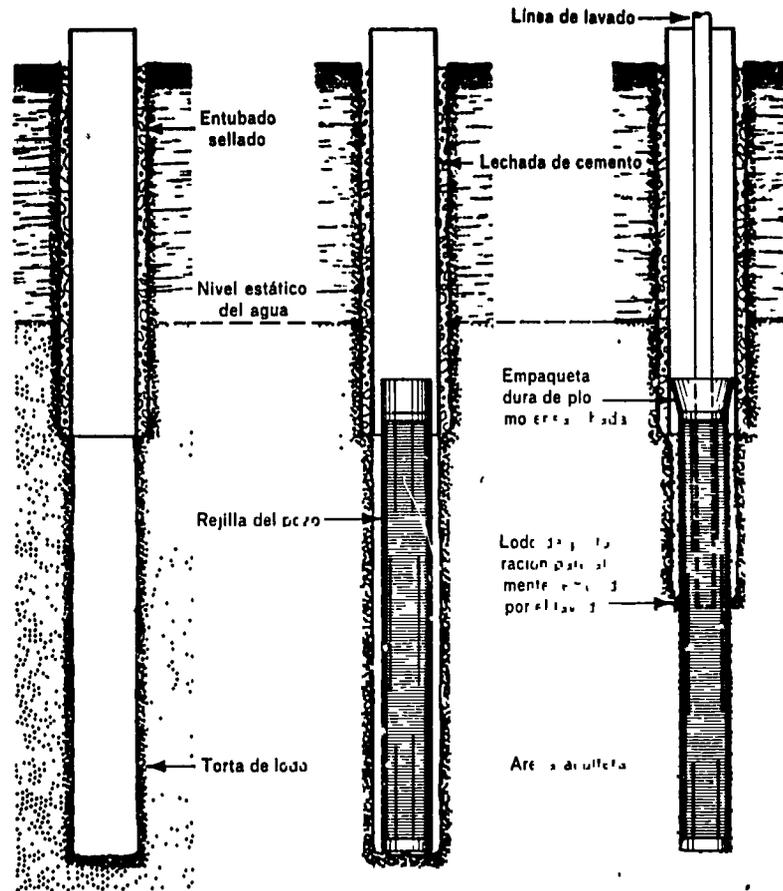
El método de agujero abierto ilustrado en la figura 5.30 implica la instalación de la rejilla en un agujero abierto perforado debajo del entubado previamente instalado. El método es aplicable a pozos perforados por rotación.



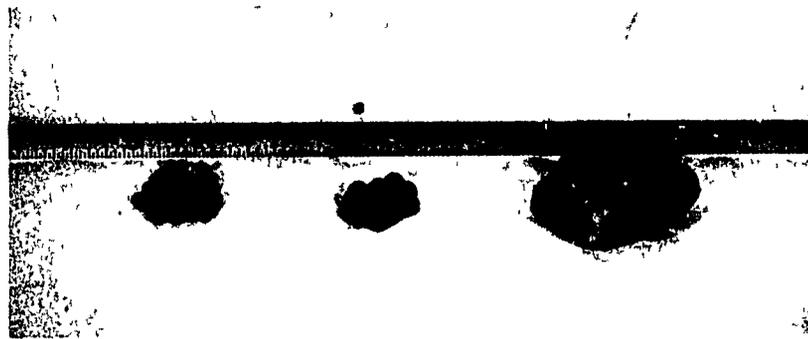
**Figura 5.29 BLOQUE DE RE-CALCAR.**

Primero, se perfora el agujero a la profundidad en que se va a colocar permanentemente el entubado. Este se instala en el agujero y se aplica al enlucido requerido. Usando una barrena sólo lo suficientemente larga para atravesar el entubado, se perfora el agujero a través de la formación acuífera debajo del entubado. Debe emplearse un lodo de perforación adecuado para impedir que el agua fluya desde la formación hacia el agujero, evitando

derrumbamientos, y transportando los cortes hacia afuera. La circulación de fluido debe mantenerse bastante tiempo después de que se alcance la profundidad deseada, para asegurar que todos los cortes se hayan sacado del agujero. El vástago de la barrena puede, entonces, retirarse y se hace una rejilla de tamaño telescópico dentro del agujero por cualquier método conveniente. Primero, debe comprobarse la profundidad del agujero para asegurar que, con la rejilla descansando en su fondo, la empaquetadura de plomo permanezca dentro del extremo inferior del entubado. Puede usarse grava para rellenar un agujero que se ha perforado a demasiada profundidad. Por este método, se puede fijar una rejilla con un fondo de achicador cerrado, siempre que se hayan tomado precauciones para obtener un agujero sin derrumbes libre de cortes, y que se haya empleado un lodo de perforación adecuado que impida a los cortes salir antes que se baje la rejilla en el pozo. Si se experimentan dificultades en mantener tal agujero "limpio" puede unirse una extensión corta de tubería al fondo de una rejilla de extremo abierto para poder lavarla con fluido de perforación.



**Figura 5.30 INSTALACION DE LA REJILLA DEL POZO EN UN AGUJERO ABIERTO PERFORADO DEBAJO DEL ENTUBADO DEL POZO.**

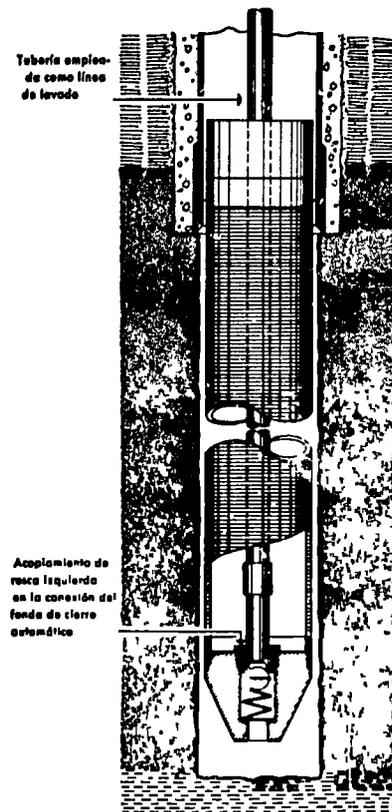


**Figura 5.31 MUNICIONES Y LANA DE PLOMO PARA TAPONAR LOS EXTREMOS ABIERTOS DEL FONDO DE LA REJILLA DEL POZO.**

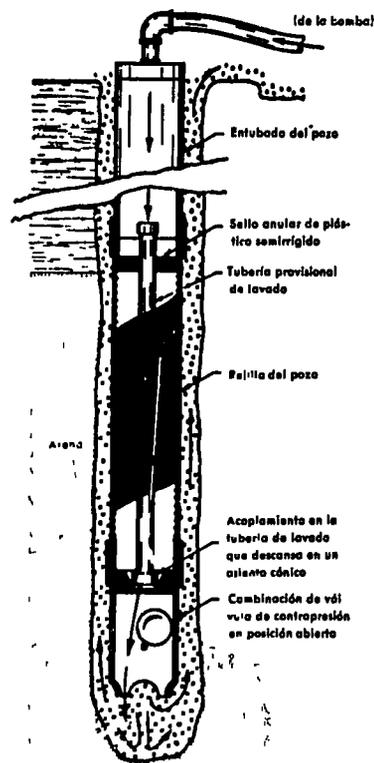
El fondo de la tubería de extensión, entonces, se tapona con municiones de plomo, lana de plomo (Figura 5.31) o lechada de cemento, y la empaquetadura de plomo ensanchada después de hacer circular agua para lavar parte del lodo de perforación y expulsarlo del agujero. La lana de plomo o la lechada de cemento deben taponarse por compactación. Si se emplean municiones de plomo, simplemente se vierten en cantidad suficiente para formar una capa de 4 a 8 pulgadas (10 a 20 cm) de espesor dentro de la tubería de extensión.

### Método de lavado

El método de lavado para la instalación de rejillas (figura 5.32) emplea un intenso chorro de lodo de perforación de peso ligero, o agua, desde un fondo de lavado ajustado al extremo de la rejilla para aflojar la arena y formar un agujero en el que se hace descender aquélla.



**Figura 5.32 METODO DE LAVADO PARA LA COLOCACION DE LA REJILLA DEL POZO.**



**Figura 5.33 INTRODUCCION DE LA REJILLA DEL POZO EN SU POSICION.**

El fondo de lavado es una válvula de bola de cierre automático. Una línea de tubería de lavado se conecta a ella y se usa para bajar todo el conjunto de la rejilla por el entubado previamente cementado. Como la rejilla se impulsa a su posición, la arena suelta se eleva alrededor de ella y sube por el entubado hacia la superficie con el flujo de retorno. Las partículas de arena que inevitablemente se acumulan en la rejilla del pozo, deben quitarse por lavado una vez que está en su posición final. Más tarde debe hacerse circular agua, a velocidad reducida, para quitar cualquier obstrucción de la pared formada en el agujero durante la operación de inyección. Esto causa derrumbes en la formación alrededor de la rejilla y la sujeta con suficiente firmeza para que pueda desconectarse la línea de lavado.

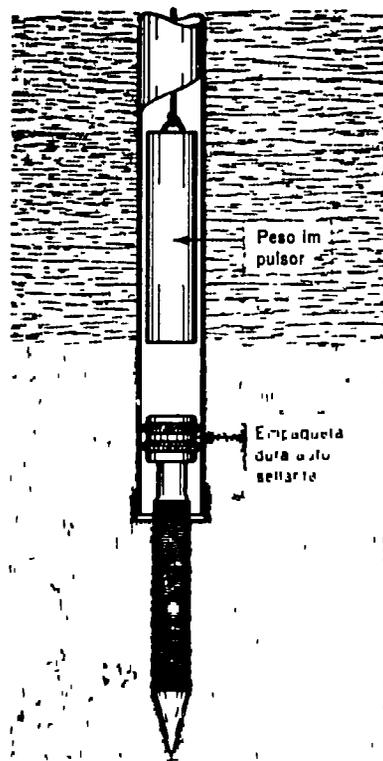
Es práctica común, en la perforación de pozos pequeños por medio de chorro y rotación, colocar en una sola operación una línea combinada de entubado y rejilla permanentemente unidos. Un método de inyección para instalar esta línea combinada se ilustra en la Figura 5.33. El sistema utiliza una tubería provisional de lavado montada en el interior de la rejilla del pozo antes de unir ésta a la sección del fondo del entubado. Un acoplamiento sujeto al extremo inferior de la tubería de lavado descansa en el asiento cónico en el fondo de lavado. Se ajusta un sello anular de unión firme hecho de un material plástico semirígido o madera, con superficie de caucho, sobre el extremo superior de la tubería de lavado y se conserva en posición por medio del acoplamiento que se encuentra sobre él. El sello evita cualquier flujo de retorno del agua del chorro en el espacio entre la tubería de lavado y la rejilla. Por lo tanto, todo el flujo de retorno de la operación de lavado o inyección, tiene lugar en el exterior de la rejilla y el entubado. Una pequeña fuga del agua de inyección ocurre alrededor del fondo y por la tubería de lavado y sale a través de la rejilla, evitando así la entrada de arena fina en ella. Es importante mantener este flujo reducido hacia el exterior a través de la rejilla, ya que reduce la posibilidad de que la tubería de lavado se obstruya con arena en la rejilla.

Cuando el conjunto de entubado y rejilla queda en su posición final, se detiene la circulación del fluido. Entonces, la válvula de bola de plástico flota en el asiento, cerrando así, efectivamente, la abertura de la válvula en el fondo de lavado. Después, se emplea una herramienta ahusada, un enchufe o cualquier otra herramienta de recuperación adecuada (véase la última sección de este capítulo que trata sobre herramientas para pesca) para recuperar la tubería de lavado y el sello anular de la rejilla. También puede ser posible recobrar el conjunto de tubería de lavado atornillando el acoplamiento a tubos con roscas normales de tubería, en lugar de una herramienta ahusada. Entonces, el pozo está listo para su desarrollo. La penetración satisfactoria por este método requiere circulación continua, cuando se usa agua como fluido de inyección. Esto puede limitar el uso del

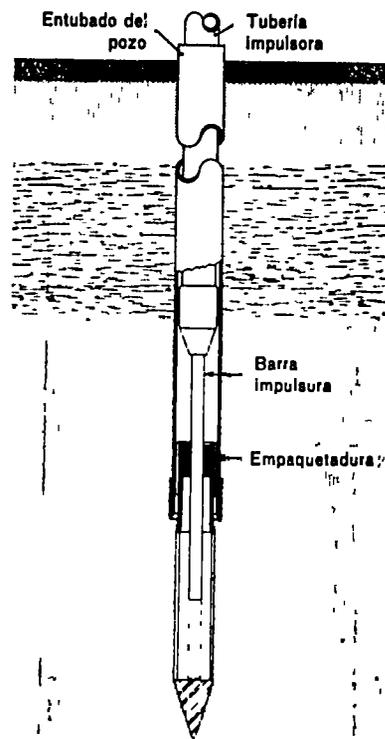
método a la penetración de, solamente, la longitud de rejilla y entubado que sea físicamente posible acoplar como una sola línea vertical con el equipo de perforación disponible. Extensiones subsecuentes del entubado requerirán interrupciones de la circulación que pueden conducir al derrumbe del agujero de perforación (particularmente en arenas y gravas acuíferas) alrededor de la línea combinada de rejilla y entubado, evitando así la penetración adicional. Este problema puede evitarse con el uso de un lodo de perforación adecuado. Muy frecuentemente se emplea este método para colocar rejillas por chorro bajo agujeros perforados previamente. Si ya se ha perforado el agujero en la capa acuífera hasta la profundidad total del pozo, puede usarse el fondo de lavado en la rejilla sin la tubería correspondiente.

### Puntas de pozo

Las puntas de pozo se pueden instalar, y con frecuencia así se hace, en pozos perforados por alguno de los métodos ya descritos en esta sección.



**Figura 5.34 HINCA DE LA PUNTA DEL POZO CON EMPAQUETADURA AUTOSELLANTE EN LA FORMACION ACUIFERA.**

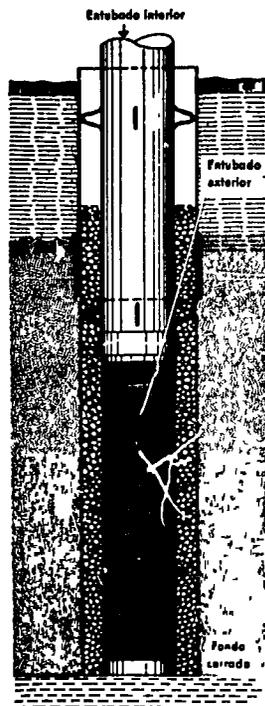


**Figura 5.35 BARRA IMPULSORA EMPLEADA PARA TRANSMITIR LA FUERZA DIRECTAMENTE SOBRE EL FONDO SOLIDO DE LAS PUNTAS DE POZO DE 5 PIES (1.5 m), O MAS, DE LONGITUD.**

Son aplicables, particularmente, en los sistemas de retroceso y de agujero abierto. En lugares donde no es adecuado el método de retroceso, a causa de una fricción excesiva sobre el entubado o en una formación de arena de falla, se puede hincar una punta de pozo en la formación, debajo del entubado por cualquiera de los métodos mostrados en las Figuras 5.34 y 5.35. En el método de la Figura 5.35, la fuerza impulsora se transmite a través de la tubería de impulsión directamente en la punta sólida de la rejilla. Por lo tanto, este método es preferible cuando se colocan puntas de pozo relativamente largas. En ambos casos, el agujero se mantiene lleno de agua mientras se coloca la rejilla en formaciones de arenas movedizas.

### Pozos empacados artificialmente con grava

Los métodos de instalación de rejilla ya descritos se aplican principalmente a pozos que van a terminarse por desarrollo natural de la formación de arena. Uno de éstos, el método de retroceso, puede usarse con una pequeña modificación, en pozos artificialmente empacados con grava.



**Figura 5.36 METODO DE DOBLE ENTUBADO PARA EMPACAR ARTIFICIALMENTE CON GRAVA UN POZO. SE AGREGA LA GRAVA AL HACER RETROCEDER EL ENTUBADO EXTERIOR DESDE EL FONDO DEL POZO.**

Uno de estos pozos tiene una envoltura de arena especialmente clasificada o grava colocada alrededor de la rejilla del pozo o en un espesor predeterminado. Esta envoltura ocupa el lugar de una zona, clasificada hidráulicamente, de material altamente permeable producida por procedimientos ordinarios de desarrollo. Las condiciones que requieren el empleo de empaque artificial con grava se describieron en el capítulo anterior.

El método modificado de retroceso, conocido como de doble entubado, comprende el centrado de una línea de envolvente y rejilla de diámetros iguales, dentro de otra envoltura exterior cuyo tamaño corresponde al diámetro exterior del empaque de grava (figura 5.36). Este entubado exterior se introduce primero hasta el fondo del pozo. El entubado exterior y la rejilla deben suspen-

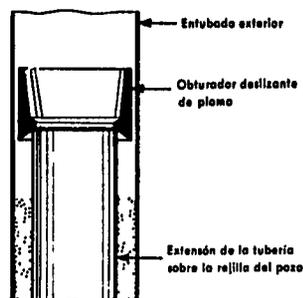
derse desde la superficie hasta donde termina el empaque de grava. La grava seleccionada se coloca en su lugar en el espacio anular alrededor de la rejilla en partidas de unos cuantos pies, y a continuación el entubado exterior se hace retroceder una distancia adecuada y se repite el procedimiento hasta que el nivel de la grava esté bastante arriba del extremo superior de la rejilla. Entonces, se puede desarrollar el pozo para eliminar la cantidad de arena fina de la grava y las tortas de lodo que hayan podido formarse en la superficie entre la grava y la formación natural. El método puede usarse en pozos perforados por los métodos de percusión por cable y herramienta, así como rotatorio.

Debe tenerse cuidado de colocar la grava de tal manera que se evite la separación de las partículas gruesas y finas de la mezcla. Dejar de hacer esto podría dar por resultado un pozo que produce continuamente arena fina aun cuando se haya usado material propiamente clasificado en el empaque de grava. Esta tendencia hacia la separación de partículas de tamaños diferentes se puede superar dejando caer el material en pequeñas partículas o cargas a través del espacio reducido de una tubería conductora o tolva de diámetro pequeño (figura 5.37). Bajo estas condiciones limitadas es menos probable que los granos caigan aisladamente. Se agrega agua a la grava para evitar taponamientos en la tolva. Esta, que, suele ser de 2 pulgadas de diámetro (5 cm) aproximadamente, se eleva hasta el nivel del material acumulado alrededor de la rejilla del pozo. El agua, dirigida en sentido contrario al de la rotación normal de perforación —que es hacia abajo del espacio anular entre los entubados, a través de la grava y la rejilla y hacia arriba a lo largo del entubado interior hacia la succión de la bomba— ayuda a evitar el taponamiento en el espacio anular al depositarse la grava.



**Figura 5.37 COLOCACION DEL EMPAQUE DE GRAVA A TRAVES DE LA TUBERIA UTILIZADA COMO TOLVA.**

Durante el proceso de desarrollo ocurrirá algún asentamiento de la grava. Por lo tanto, debe agregarse más de ese material, ya que es necesario mantener el nivel superior de ella varios pies sobre el de la rejilla. La longitud total de la envolvente interior no necesita dejarse permanentemente en el pozo si la exterior ha de ser definitiva. Para este fin, puede hacerse una unión floja conveniente en la envolvente interior mientras se monta la línea. Después del desarrollo del pozo, la porción superior de la envolvente



**Figura 5.38 OBTURADOR DESLIZANTE DE PLOMO COLOCADO SOBRE LA TUBERÍA DE EXTENSIÓN ANTES DE LA EXPANSIÓN PARA SELLAR EL ESPACIO ANULAR.**

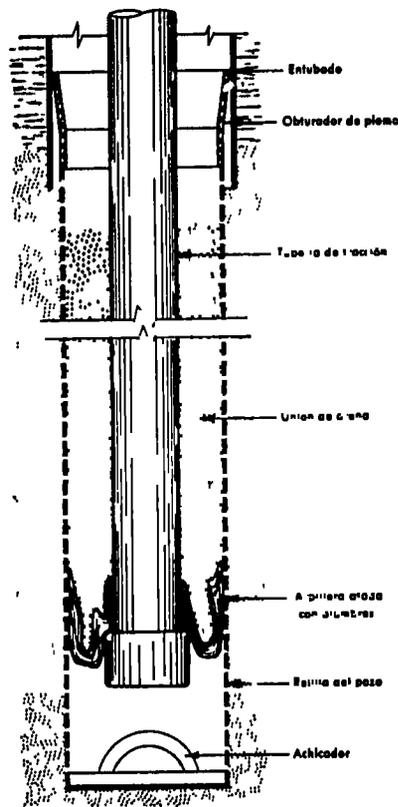
se desatornilla de esta unión y se separa, dejando suficiente tubería (por lo menos una sección) acoplada a la rejilla para proporcionar una superposición de unos cuantos pies dentro de la envolvente exterior.

Otra técnica sería introducir la envolvente interior hasta el fondo del pozo y telescopiar la rejilla y una longitud apropiada de tubería de extensión unida al extremo superior de la rejilla dentro de esa envolvente. La línea completa de la envolvente interior puede, entonces, retirarse al colocar la grava, dejando la tubería de extensión traslapada en el interior de la envolvente exterior. Deben proporcionarse guías para centrar en la envolvente interior provisional.

Se puede usar lechada de cemento, municiones de plomo o gránulos de lana de plomo para sellar el espacio anular inmediatamente sobre la capa superior de la grava. Un tipo mecánico de sello conocido como obturador, deslizante de plomo (Figura 5.38) también se usa con frecuencia. El obturador, que es un anillo de plomo de forma similar a una zapata de entubado se coloca en el extremo superior de la tubería de extensión, y se hace de diámetro y espesor de pared apropiados para formar un sello efectivo al extenderse por medio de un bloque de recalcar contra el entubado exterior.

### **Recuperación de rejillas de pozo**

Algunas veces, puede ser necesario extraer una rejilla incrustada para limpiarla y luego colocarla de nuevo en el pozo, o bien, una muy corroída para reemplazarla, o bien extraer alguna en buenas condiciones, de un pozo abandonado para usarla en otra parte. Puede ser necesario aplicar una fuerza considerable a la rejilla para vencer la presión de la arena acuífera que la rodea. El método de unión de arena es uno de los mejores medios de transmitir esta fuerza a la rejilla, desalojándola y recuperándola sin dañarla. Sin embargo, el método no puede emplearse en rejillas de diámetros menores de 4 pulgadas (10 cm).



**Figura 5.39 ELEMENTOS DEL METODO DE UNION DE ARENA EMPLEADO PARA EXTRAER REJILLAS DE POZO.**

El método de unión de arena emplea arena colocada cuidadosamente en el espacio anular entre una tubería de tracción y el interior de la rejilla del pozo para formar una abrazadera o unión de arena que sirve como conexión estructural entre la tubería de tracción y la rejilla (Figura 5.39). La fuerza ascendente necesaria, puede, entonces, aplicarse a la tubería de tracción por medio de gatos que trabajan contra abrazaderas de tubería o un anillo de tracción que se desliza como se muestra en la Figura 5.28.

El tamaño de la tubería de tracción varía según el diámetro de la rejilla y la fuerza requerida. Sin embargo, como regla general, se escoge el tamaño de la tubería de la mitad del diámetro nominal interior de la rejilla. Por ejemplo, una rejilla de 4 pulgadas (10 cm) con diámetro nominal interior de 3 pulgadas (7.5 cm) requerida un tubo de 1 1/2 pulgadas (3.75 cm). Debe usarse tubería extrafuerte. Las conexio-

nes y las roscas de la tubería deben ser de la calidad más alta a fin de soportar la fuerza de tracción. La arena debe ser limpia, angulosa y de material uniforme, de tamaño mediano a moderadamente fino.

El primer paso en la preparación de la unión de arena consiste en atar tiras de arpillera de 2 pulgadas en el extremo inferior de la tubería de tracción inmediatamente sobre un acoplamiento o anillo soldado al tubo (Figura 5.40). La arpillera forma un receptáculo para retener el relleno de arena alrededor de la tubería de tracción. La tubería y la arpillera con ambos extremos atados al tubo se hacen descender, después, en el entubado hasta que solamente los extremos superiores de las tiras permanezcan encima del remate del entubado. La línea que sostiene los extremos superiores de la arpillera en el tubo se corta, entonces, y las tiras se arreglan uniformemente alrededor del extremo superior de la envolvente como se muestra en la Figura 5.41.

Enseguida, se hace descender la tubería de tracción hasta un punto cerca del fondo de la rejilla, cuidando de mantenerla lo mejor centrada posible. Después, se vierte lentamente la arena en el espacio anular entre la tubería de tracción y la envolvente. Es deseable una distribución uniforme de la arena alrededor de la circunferencia del tubo. La tubería de tracción debe moverse suavemente hacia atrás y adelante en el extremo superior mientras se vierte la arena, para evitar taponar los acoplamientos de arriba. Una corriente pequeña de agua aplicada sobre la arena ayuda, también, a evitar el taponamiento. Debe utilizarse suficiente arena para llenar por lo menos dos terceras partes, pero no la longitud total de la rejilla. El nivel de la arena en la rejilla se puede comprobar con una tubería de diámetro pequeño empleada como sonda.



**Figura 5.40 TIRA DE ARPILLERA COLOCÁNDOSE EN EL EXTREMO INFERIOR DE LA TUBERÍA DE TRACCIÓN PARA EMPLEARSE EN EL MÉTODO DE UNIÓN DE ARENA.**

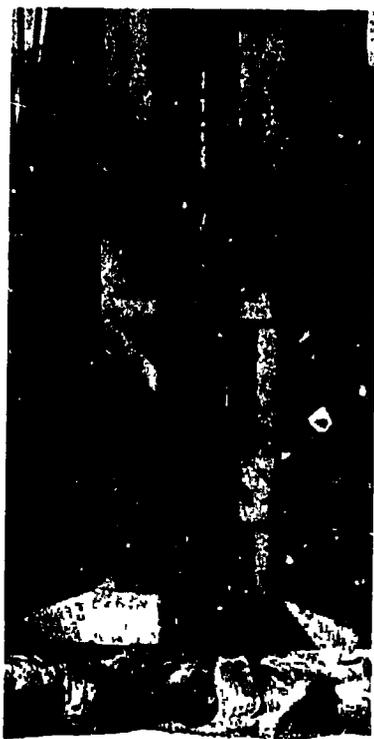
Una vez colocada la cantidad apropiada de arena, se levanta gradualmente la tubería de tracción para compactar la arena y permitir un agarre firme en la superficie interior de la rejilla. Se aplica tensión adicional hasta que la rejilla comienza a moverse. Entonces, puede tirarse de ésta uniformemente sin dificultad hasta sacarla del pozo. La unión de arena puede romperse en la superficie lavando ésta con una corriente de agua.

El *tratamiento previo* de la rejilla con ácido clorhídrico o muriático sirve para aflojar los materiales incrustados y, así, reducir la fuerza necesaria para desprender la rejilla. Para este propósito, se llena la rejilla con una mezcla de cantidades iguales de ácido y agua, que se deja permanecer varias horas, toda la noche si es conveniente. Luego se bombea o se extrae el ácido con achicador antes de iniciar las operaciones de tracción.

#### **OPERACIONES DE PESCA**

*Pez* es el nombre empleado colectivamente para describir un

utensilio para perforación de pozos, una sección de entubado u otro equipo o material similar, que cae o queda atrapado accidentalmente en los agujeros y pozos y, que es conveniente recuperar. Varias razones pueden contribuir a la conveniencia de la recuperación de esa pieza. Por ejemplo, su naturaleza y posición pueden ser tales que impidan el trabajo posterior en el agujero, necesario para la terminación de un pozo. El utensilio puede ser una herramienta, una pieza de equipo o material que sea vital para las operaciones de perforación y, además, costosa y no fácilmente reemplazable. Las operaciones de pesca implican una dosis considerable de tanteos por-



**Figura 5.41 EXTREMO SUPERIOR DE LAS TIRAS DE ARPILLERA DISPUESTAS UNIFORMEMENTE ALREDEDOR DE LA PUNTA DEL ENTUBADO DEL POZO AL HACERSE DESCENDER LA TUBERIA DE TRACCION DENTRO DEL POZO.**

que la pieza no se encuentra a la vista a cierta profundidad de un agujero. Sin embargo, puede requerir mucho tiempo y ser costoso sin ninguna garantía de éxito. Consecuentemente, debe darse una cuidadosa consideración al costo posible de una operación de recuperación en términos de tiempo y dinero, comparando esto con el chorro de tiempo que supondrían el abandono del agujero o el pozo. Solamente después de ese análisis cuidadoso deben efectuarse las operaciones de pesca. Para pozos de diámetro pequeño, relativamente poco profundos, resultaría a menudo económico, y además benéfico, perforar un nuevo pozo en vez de tratar de llevar a cabo las operaciones de pesca en uno que se encuentre en construcción. Esto es particularmente cierto antes de la colocación y el enlucido del entubado permanente. También debe tenerse en mente que las operaciones de pesca requieren una gran dosis de habilidad, mucho más que las operaciones de perforación, y el operario debe ser experto en tal trabajo.

### **Medidas preventivas**

Como en el caso de otros accidentes, la prevención siempre es mejor que el remedio. Para ese fin, la necesidad de ejercitar el cuidado y atención más grandes continuamente y en todas las etapas de las operaciones de perforación no puede pasarse por alto. Si bien el cuidado y atención extremos no eliminan completamente la necesidad de la pesca, reducen considerablemente el número y la frecuencia de estas operaciones.

Entre las precauciones que deben tomarse, se encuentra el cuidado y uso apropiado de las herramientas y el equipo de perforación. Esto incluye la limpieza y colocación correctas de las uniones de las herramientas nuevas, la limpieza y el armado adecuados de las uniones en todas las ocasiones, el afilado y endurecimiento correcto de las brocas, el mantenimiento e inspección regular de todos los cables de alambre, la inspección periódica de todos los componentes de la línea de perforación para advertir el desarrollo de grietas por fatiga y la eliminación de herramientas gastadas. Sobre todo debe cuidarse de no sobrecargar nunca el equipo ni usar herramientas para propósitos que no sean los que se han previsto. El conjunto de limitaciones del fabricante sobre el uso del equipo y herramientas nunca debe excederse.

Debe prestarse consideración especial al cuidado de los cables. Muchos catálogos de fabricantes contienen instrucciones detalladas. Entre las más importantes de éstas se halla la necesidad de una lubricación periódica con lubricante de buena calidad, libre de ácido o álcali y que pueda penetrar y adherirse al cable. Debe evitarse el uso de petróleo crudo u otro material que pueda dañar el acero o causar deterioro o fragilidad de los alambres. La falta de lubricación adecuada del cable redundará en que éste se torna quebradizo, se corroe, se desgasta en exceso por fricción y por último se rompe repentinamente. Este debe enrollarse apretada y uniformemente en tambores apropiados para ese propósito y no debe permitirse que permanezca en lodo, polvo u otro material que sea perjudicial para el acero. Solamente deben usarse abrazaderas de sujeción adecuadas que no tuerzan el cable, lo aplasten ni triturén. Debe recordarse que la rotura de un cable cargado puede causar graves daños a los trabajadores, así como crear problemas de recuperación o pesca.

Las uniones de herramientas destornilladas provocan muchas operaciones de pesca. Estas se pueden evitar con el ajuste apropiado de los componentes de caja y pasador de las uniones. Tanto el hombre del pasador como la cara de la caja deben limpiarse completamente y conservarse libres de imperfecciones que impidan el contacto completo y uniforme. Las roscas y los hombros de las partes componentes deben cubrirse con una capa fina y ligera de aceite de máquina antes de ensamblar la unión. Las juntas deben montarse firmemente, aunque no con presión excesiva, ya que esto puede romper cajas y pasadores.

Las herramientas, dejadas descuidadamente sobre la mesa rotatoria, o en algún otro punto, pueden caer accidentalmente dentro de un agujero. Se ha sabido que la mitad de una abrazadera para tubería que entró en un pozo en esta forma se acuñó en la rejilla justamente sobre una unión en la tubería de lavado que se estaba usando en el proceso de desarrollo y provocó, no sólo el abandono del pozo, sino también la pérdida de varios cientos de pies de la barra de perforación. Todas las herramientas deben guardarse inmediatamente después de su uso en un sitio conveniente de almacenamiento, a distancia segura del agujero o el pozo.

Ciertas anomalías, tales como formaciones inclinadas o con derrumbes agujeros oblicuos y presencia de guijarros, contribuyen, a menudo, a dificultades en la perforación, que pueden requerir operaciones de salvamento. Quienes perforan en estas circunstancias deben ser muy cuidadosos

### **Preparativos de la pesca**

La naturaleza de todas las operaciones (construcción y mantenimiento) en los pozos es tal que ocurren accidentes aun bajo la supervisión de los perforadores más capaces y cuidadosos. Por lo tanto, el perforador, en anticipación del trabajo inevitable de pesca, debe registrar o tener acceso a los informes sobre las dimensiones de cada cosa usada en el pozo o en sus inmediaciones. Esto facilita la selección y el diseño de una herramienta de pesca adecuada cuando sea necesario. Todas las herramientas traídas al lugar deben medirse cuidadosamente, y registrarse apropiadamente estas mediciones. Algunas de las medidas importantes son: el diámetro exterior y longitud del grillete del cable; el diámetro, longitud y carrera de los percutores de perforación; el diámetro y longitud de la barra de perforación; el tamaño de las uniones y el diámetro exterior y longitud de los collares de pasador y caja; el tamaño del cuerpo y la longitud de las barrenas; la longitud de los collares de pasador en las barrenas. También es esencial un registro cuidadoso de la profundidad del agujero y la longitud total de la línea de perforación para que tengan éxito las operaciones de pesca.

Necesariamente, el agujero perforado debe ser más grande que cualquier herramienta puesta en él. Como resultado, las herramientas perdidas en un agujero, frecuentemente no permanecen en posición vertical o erecta, sino que se acuñan en posiciones inclinadas a través de él. Además, el material de una formación con derrumbes puede caer y cubrir la herramienta. Ningún volumen de medición en la superficie podría revelar exactamente al perforador la posición de la herramienta perdida en el agujero o, en algunos casos, si su posición superior es accesible. Por lo tanto, se considera buena práctica usar lo que se conoce como un *bloque de impresión* para obtener una impresión del extremo de la herramienta antes de intentar cualquier operación de recuperación. Esto es particularmente

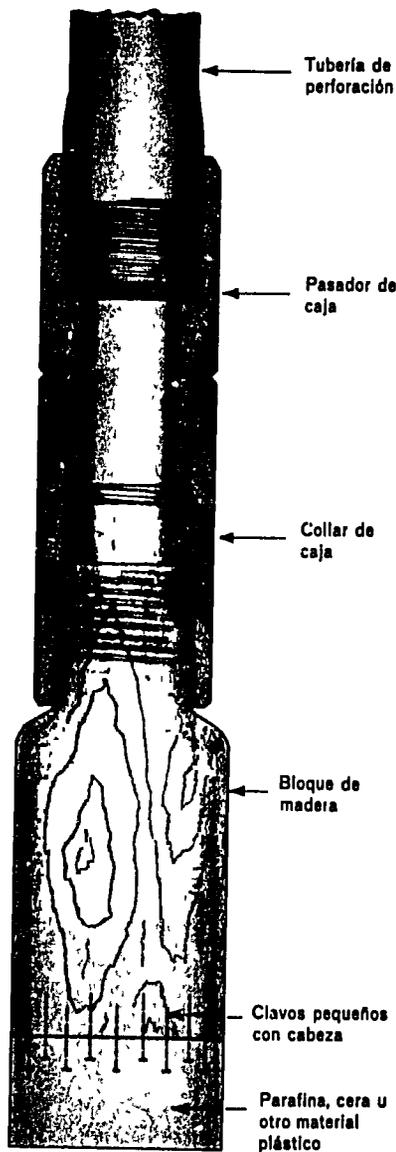


Figura 5.42 BLOQUE DE IMPRESION.

necesario en la perforación por rotación en los agujeros sin entubado. Los bloques de impresión son de muchas formas y diseños, una de las cuales se muestra en la Figura 5.42. Un bloque corto de madera (preferiblemente madera blanda) torneado a un diámetro de aproximadamente 1 pulgada menos que el agujero perforado y con la porción superior en la forma de pasador se impulsa para ajustar apretadamente en un collar de tubería de perforación. Para mayor seguridad, el bloque de madera debe sujetarse por medio de alambres o pasadores en el collar. El bloque también puede atornillarse al dardo de un sacalodos de válvula de dardo. Algunos clavos con cabeza, pequeños, se clavan en el fondo del bloque circular, dejando una extensión, aproximadamente, de 1/2 pulgada (13 mm). La hoja de metal se clava temporalmente alrededor del bloque con una proyección de unas cuantas pulgadas sobre su extremo inferior. Se vierte cera o parafina caliente, jabón amarillo u otro material plástico para llenar esta saliente y entonces se deja enfriar y solidificar. Las cabezas de los clavos ayudan a sostener el material plástico en el bloque.

Una vez que se quite la hoja de metal y el extremo inferior del material plástico se alise cuidadosamente,

el bloque de impresión está listo para usarse. El bloque debe bajarse cuidadosa y lentamente dentro del agujero hasta que se alcance el objeto. Entonces, se eleva a la superficie donde la impresión hecha en la cera o el jabón puede examinarse. Por medio de la interpretación cuidadosa

de la impresión, un perforador puede determinar la posición de la herramienta y el mejor medio de recuperarla.

### **Herramientas y operaciones comunes de pesca**

Con frecuencia se dice, con justificación considerable, que no hay dos trabajos iguales de recuperación. Si bien los trabajos de pesca se pueden clasificar en varios tipos, las labores individuales dentro de ellos suelen ser completamente diferentes. Como resultado, los trabajos de salvamento ponen a prueba habilidad o ingenio del perforador en toda su magnitud. El perforador confía en cierto número de principios básicos al acometer los problemas de recuperación. Una gran variedad de herramientas especiales se pueden diseñar para ayudarlo en su trabajo. Muchas de éstas se usan con poca frecuencia y no es poco común encontrar una herramienta hecha para un trabajo en particular, que no vuelva a usarse más. Solamente los operadores de perforación en gran escala pueden solventar la posesión de un juego extenso de herramientas de recuperación. Usualmente, siempre que es posible, los operadores en pequeño rentan herramientas a sus proveedores según lo necesitan. Sería impráctico intentar una discusión de todos los tipos de trabajos de recuperación y las herramientas empleadas en ellos. En vez de esto, la discusión que sigue se concreta a algunos de los tipos más comunes de trabajos y herramientas de pesca.

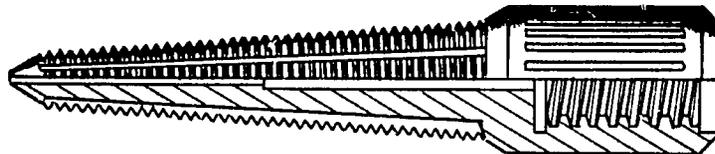
(1) *Tubería partida para perforación:* Uno de los trabajos de recuperación más frecuentes en la perforación rotatoria es la pesca de la tubería de perforación torcida dentro del agujero. La interrupción puede deberse a la rotura de la tubería o a la falla de una unión roscada.

Primero, debe usarse un bloque de impresión para determinar la profundidad y posición exactas del extremo de la tubería, si ha habido derrumbe del material de la formación superior en el extremo del tubo, o si éste se ha encajado en la pared del agujero. Si el extremo del tubo no está obstruido, entonces puede ser efectivo el empleo de la *herramienta ahusada para pesca* o el *dado de enchufe* si se usan antes que se asienten y congelen los cortes en la tubería de perforación. El *enchufe corredizo* que permite la circulación del fluido de perforación sería la mejor herramienta para usarse después que la tubería se ha congelado por el asentamiento de los cortes circundantes. Estas herramientas se ilustran en la Figura 5.43.

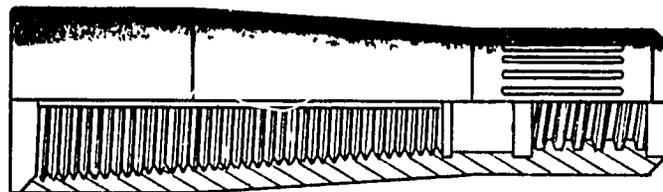
La *herramienta ahusada para pesca*, hecha de acero tratado al calor, tiene un ahusamiento de, aproximadamente, 1 pulgada por pie, (8 cm por metro) de un diámetro algo más pequeño que el interior del acoplamiento a un diámetro igual al exterior de la barra de perforación. La porción ahusada está roscada y acanalada en la longitud total del ahusamiento para permitir el escape de las rebabas cortadas por la herramienta. Esta se hace descender lentamente en la barra de perforación hasta que encuentra

la tubería perdida, manteniéndose la circulación a escasa velocidad a través del agujero en la herramienta durante este periodo. Habiendo enganchado la tubería perdida, se detiene la circulación y se hace girar lentamente la herramienta mediante el mecanismo rotatorio, o a mano, hasta que la herramienta se enrosca en el tubo. Entonces, debe hacerse un intento para restablecer la circulación a través de toda la línea de perforación antes de jalar la tubería perdida.

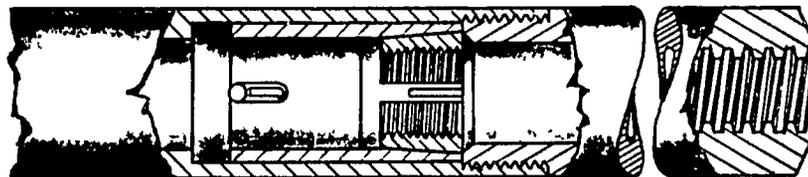
El *dado de enchufe* es un dado con una sección ahusada de acero tratado al calor, diseñado para ajustar en el extremo superior de la tubería de perforación perdida y cortar su propia rosca al aplicarse un movimiento de rotación. Está acanalado para permitir el escape de los cortes del metal. La circulación no puede ser completa hasta el fondo del agujero a través de la tubería perdida, ya que las canales también permiten que escape el fluido. El extremo superior de la herramienta tiene una rosca de caja diseñada para ajustar en la tubería de perforación.



Herramienta ahusada



Dado de enchufe



Enchufe corredizo

**Figura 5.43 HERRAMIENTA AHUSADA Y ENCHUFES.** (Adaptado de la Figura 43, *Wells*, Manual técnico TM5-297, del Departamento del Ejército de E.U.A. 1957).

El-enchufe *corredizo* es una herramienta tubular, aproximadamente de 3 pies de largo (91 cm), con diámetro interior ligeramente más grande que el diámetro exterior de la tubería de perforación.

La porción inferior acampanada hacia fuera de la herramienta ayuda a centrar y guiar la parte superior del tubo de perforación perdido en el enchufe mostrada, que se ajusta en la manga ahusada. La ranura cortada en un lado del enchufe le permite ensancharse al descender la herramienta sobre la tubería de perforación. Conforme la herramienta se levanta, el enchufe es empujado en el interior de la manga ahusada, apretando así el enchufe contra el tubo. Entonces, puede establecerse la circulación del fluido a través del tubo, liberándolo para recuperario.

Un *gancho de pared*, que aparece en la Figura 5.44, puede usarse para ajustar el tubo perdido en posición erecta en el agujero, en preparación para las herramientas ahusadas o de enchufe. El gancho de pared es una herramienta sencilla que se puede hacer de un trozo apropiado de entubado de acero cortado con un soplete para darle forma. Una pieza de reducción debe usarse, entonces, para conectar el extremo superior de la herramienta al vástago de perforación. Para operar el gancho de pared, se baja hasta que se encuentra con el tubo, y se hace girar lentamente hasta que el tubo se engancha completamente. Después se levanta lentamente el gancho para colocar el tubo en una posición erecta, liberándose posteriormente de él.

También es posible ajustar una herramienta ahusada de recuperación en la porción superior de un gancho hecho de entubado de acero. Con esa herramienta combinada, el gancho puede usarse para realinear el tubo de perforación perdido y entonces, mientras se hace descender, guiará la herramienta en el tubo para completar ambas operaciones en un movimiento de las herramientas dentro del agujero. Este método es particularmente adecuado cuando la tubería de perforación tiende a caer contra la pared de un agujero mucho más grande, en lugar de permanecer erecta.

(2) *Rotura del cable*: cuando se rompe la línea de perforación o la línea de arena de un aparejo de perforación por cable y herramienta, dejando las herramientas o el achicador en el agujero con una cantidad apreciable de cable de alambre en el extremo de las herramientas, el *arpón de centros de cable* (Figura 5.45) es la herramienta de recuperación recomendada. Esta consiste en una simple punta con cierto número de púas apuntando hacia arriba que sobresalen. Las púas tienen esquinas interiores afiladas que permiten al arpón atrapar incluso un solo alambre. Si las herramientas perdidas están pegadas en el agujero y no se pueden jalar, las púas afiladas cortarían el alambre.

El hombro del arpón debe tener aproximadamente el mismo tamaño que el agujero, a fin de evitar que el cable roto pueda pasar junto al arpón

al bajarlo y quedarse atorado en el agujero. En la variedad de tamaños de agujero que se está considerando, los arpones de centro se hacen para tamaños específicos.



Figura 5.44 GANCHO DE PARED.

El arpón se usa con un juego de percursoros de pesca, perforador corto y grillete de línea de cable sobre él. Debe bajarse cuidadosamente en el agujero hasta el punto donde se espera encontrar el cable roto. Luego, se jala para ver si tiene una vuelta. En ausencia de ésta, se hace descender bajo el primer punto y se prueba de nuevo para ver si se ha enredado. Si no hay una vuelta, se hace bajar más allá del primer punto y se intenta de nuevo hallar una vuelta. Este procedimiento se repite hasta que se encuentra una vuelta.

Si la cuerda de las herramientas perdidas se encuentra libre, se levanta de 10 a 15 pies (3 a 5 m) desde el fondo del agujero y se prueba la sujeción en la línea de alambre dejando que el freno permita un deslizamiento corto y repentino. Si la sujeción no es segura, las herramientas caerán sin resultar dañadas, mientras que, si más tarde, caen desde mayor altura pueden quedar muy estropeadas.

Si la sujeción es segura, continúese levantando las herramientas fuera del agujero hasta que aparezca el alambre roto. Suspéndase la operación de levantamiento y átense los alambres entre sí, y después a las puntas del gancho para evitar que los extremos sueltos se doblen y hagan que se rompa la unión. La ata-



**Figura 5.45 ARPON DE CENTROS.**

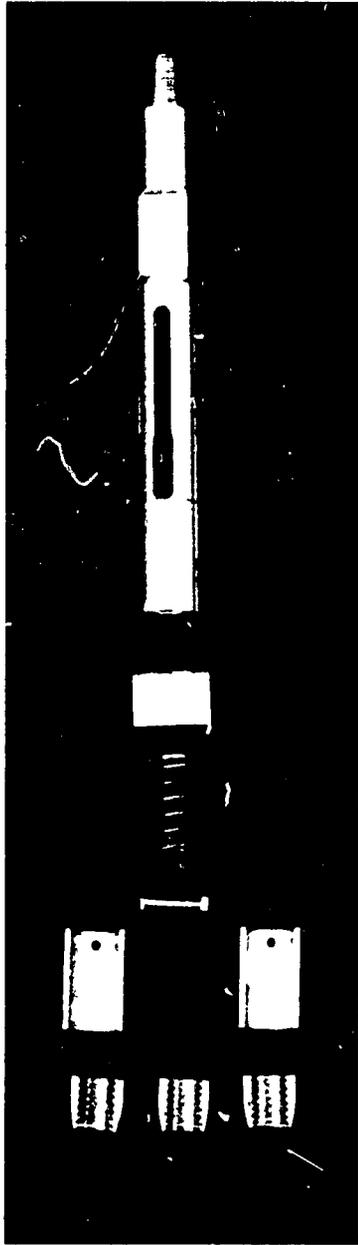
pasador en una broca, vástago u otra herramienta y el segundo para sujetar

dura, en sí, no lleva la carga, pero sostiene las líneas rotas en posición. Continúese levantando hasta que se recuperen las herramientas perdidas.

Si la cuerda de las herramientas no está libre, debe sacarse suficiente línea para poner en uso los cursores. La operación con éstos debe continuarse hasta que se liberen las herramientas perdidas o las partes del cable roto.

(3) *Recuperación del cuello de un grillete de cable, otro objeto cilíndrico o el pasador de una herramienta.* El grillete de combinación (Figura 5 46) es una de las diferentes herramientas empleadas para atrapar el cuello de un grillete de cable de alambre después que se ha liberado la línea rota o el pasador de una broca o barra de perforación que se ha destornillado dentro del agujero. La herramienta también puede usarse para recuperar cualquier objeto cilíndrico, tal como un vástago de perforación o un tubo que se mantiene en posición vertical en el agujero, siempre que el barreno en el grillete sea, por lo menos  $1/8$  (3 mm) de pulgada más grande que el diámetro de la herramienta. La línea de pesca debe consistir en un grillete de cuerda, vástago, cursores de recuperación de carrera larga y un grillete de combinación.

Los grilletes de combinación están provistos de dos juegos de enchufes uno de los cuales se emplea para acoplarse a las roscas de un



**Figura 5.46 GRILLETE DE COMBINACION DESARMADO PARA MOSTRAR LOS ENCHUFES Y OTRAS PARTES COMPONENTES. (De Acme Fishing Tool Company, Parkersburg, West Virginia.)**



**Figura 5.47 AMORTIGUADOR DE PERCUSOR.**

el cuello del grillete del cable. Debe seleccionarse el juego adecuado de enchufes para el trabajo de pesca en cuestión, de acuerdo con los conocimientos del tamaño exacto de la herramienta. También, es aconsejable determinar si el grillete puede pasar sobre la herramienta haciéndolo correr, primero, con sus partes internas quitadas. Después, el grillete de combinación recargado se baja lentamente sobre la cuerda de recuperación con los percusores ajustados para la carrera más corta. En contacto con la herramienta, se emplea un ligero movimiento del percusor para asegurar una vuelta. Entonces se aplica tensión a la línea y se completa el trabajo de recuperación si las herramientas no están atrapadas.

Si las herramientas se encuentran pegadas, debe intentarse un movimiento de perforación antes de tratar de liberarlas. Si esto falla, entonces se saca suficiente línea para poner en uso los percusores. Movimientos rápidos y cortos de percusión deben hacer que se liberen las herramientas, y son preferibles a movimientos largos de percusión aun cuando pueden ser necesarias varias horas de trabajo. La operación de los percusores con carrera larga puede producir la rotura de la unión en las herramientas perdidas o herramientas de recuperación. Los movimientos alternos hacia arriba y hacia abajo de los percusores deben liberar la unión sobre las herramientas perdidas, si resulta obvio que no pueden liberarse y recuperarse.

Después de completar con éxito un trabajo de pesca, se deshace la unión sacando el bloque de madera sobre la cuerda en el grillete de combinación y liberando así la presión sobre el resorte y los enchufes.

(4) *Cómo extraer percusores atrapados:* Algunas veces, los percusores o las herramientas que llevan se atorán en el agujero por causa de una piedra u otro material. Un *amortiguador de percusor* (Figura 5.47) es la herramienta normalmente empleada bajo tales circunstancias. Debe seguirse el procedimiento siguiente. Primero, se tensa el cable de perforación. Después, se hace bajar el amortiguador de percusor sobre la línea de arena, usando el cable de perforación como guía, hasta que el amortiguador alcanza la cuerda de herramientas. Luego, se levanta éste 10 a 12 pies (3 a 3.6 m) y se deja caer, repitiendo esto con la frecuencia necesaria para aflojar los percusores o la cuerda de herramientas. Usualmente, unos cuantos golpes son suficientes para este propósito. Demasiados golpes pueden destruir el cuello del grillete del cable y deben evitarse. Si el amortiguador no logra liberar las herramientas, córtese el cable y empléese un grillete de combinación.

## CAPITULO 6

### TERMINACION DEL POZO

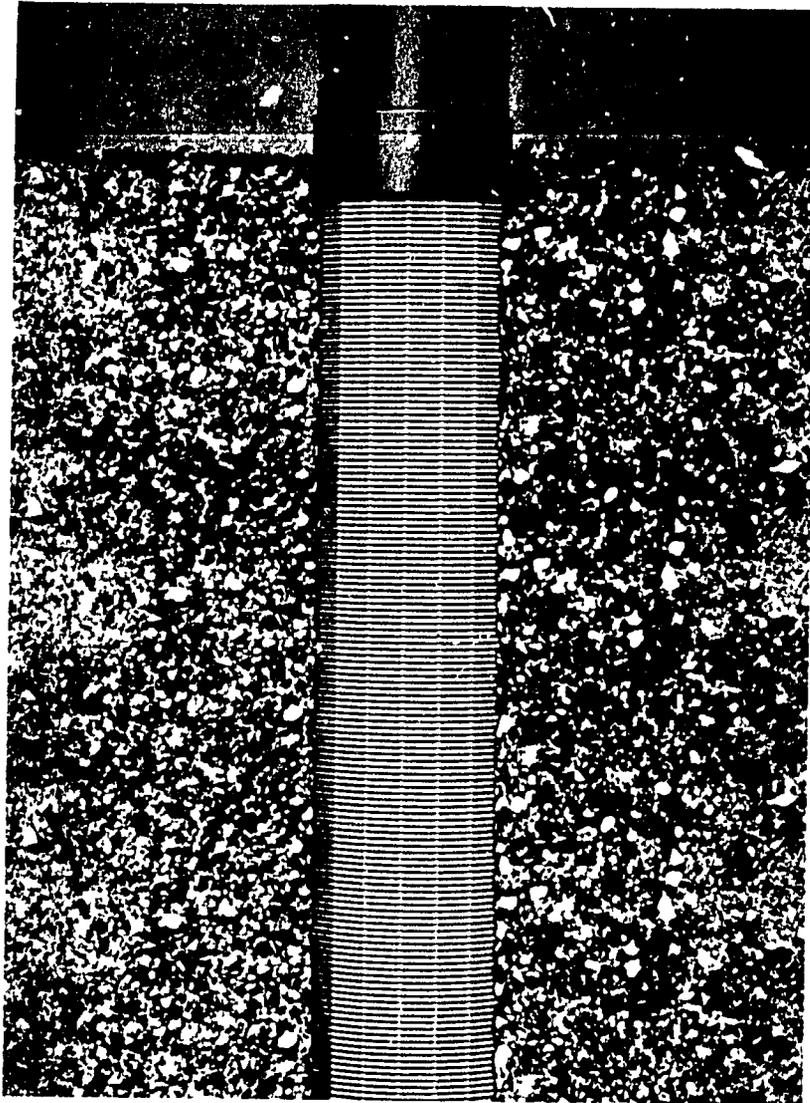
Terminación del pozo es el término empleado para describir los dos procesos básicos que se llevan a cabo después que se ha construido un pozo, a fin de asegurar un buen rendimiento de agua, clara y relativamente libre de materia en suspensión y de organismos productores de enfermedades. Estos procesos se llaman *desarrollo y desinfección del pozo*.

#### **DESARROLLO DE POZO**

El objeto del desarrollo del pozo es la remoción del sedimento, la arena fina y otros materiales de una zona inmediata alrededor de la rejilla del pozo, con lo cual se crean cauces más anchos en la formación a través de los que puede fluir el agua más libremente hacia el pozo.

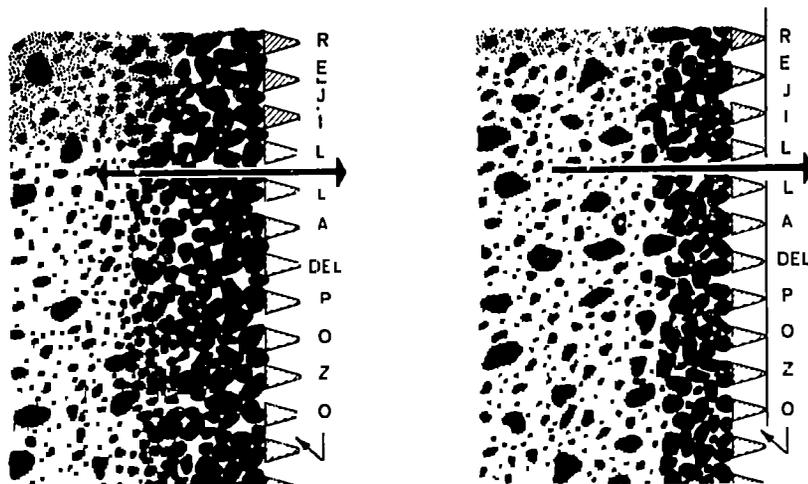
Además de lo antes dicho, el desarrollo del pozo produce otros dos resultados benéficos. En primer término, corrige cualquier obstrucción o compactación de la formación acuífera que haya ocurrido durante la perforación. La obstrucción es particularmente evidente en los pozos perforados por el método rotatorio donde el lodo de perforación sella efectivamente la cara del agujero. Al impulsar el entubado en el método de percusión de cable y herramienta, se hacen vibrar las partículas no consolidadas, compactándolas de esta manera. Estos no son los únicos métodos de perforación que dañan la formación en una u otra forma. Todos los métodos de perforación lo hacen en diferentes grados de magnitud, y es necesario el desarrollo del pozo para corregir este daño.

En segundo lugar, el desarrollo del pozo clasifica el material en la formación acuífera inmediatamente alrededor de la rejilla, de tal manera que se logra una situación estable, en la cual el pozo proporciona agua libre de arena a su máxima capacidad. En una zona inmediatamente fuera de la rejilla, todas las partículas de tamaño menor que sus aberturas se extraen por el desarrollo, dejando así solamente los materiales más gruesos en su lugar. Un poco más alejados permanecen algunos granos de tamaño mediano mezclados con los más gruesos. Esta clasificación de un material grueso a través de otro sucesivamente menos grueso continúa, según aumenta la distancia desde la rejilla, hasta que se llega al material del carácter original de la formación acuífera. Esto marca el fin de la zona desarrollada alrededor del pozo. La sucesión de zonas clasificadas de material en derredor de la rejilla estabiliza la formación, de manera que no



**Figura 6.1 ZONA DESARROLLADA, ALTAMENTE PERMEABLE, ALREDEDOR DE LA REJILLA DEL POZO. TODO EL MATERIAL MAS FINO QUE LAS ABERTURAS DE LA REJILLA SE HA EXTRAIDO. EL MATERIAL RESTANTE ESTA CLASIFICADO POR TAMAÑOS, DESDE MAS GRUESO A MAS FINO, SEGUN AUMENTA LA DISTANCIA DESDE LA REJILLA.**

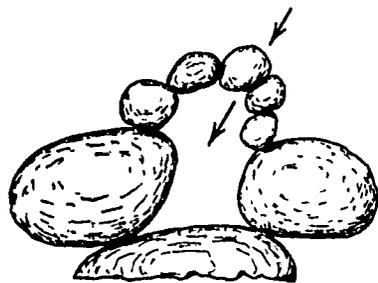
tiene lugar ningún movimiento adicional de arena. La extensión de la envoltura depende de las características de la formación, del diseño de la rejilla del pozo y de la habilidad del perforador. La Figura 6.1 ilustra el principio del desarrollo del pozo descrito anteriormente y que se aplica



**Figura 6.2 EL BUEN DESARROLLO REQUIERE MOVIMIENTO DEL AGUA HACIA DENTRO Y HACIA FUERA A TRAVÉS DE LAS ABERTURAS DE LA REJILLA PARA EVITAR QUE LA ARENA LAS SALVE. IMPULSADA POR EL MOVIMIENTO DEL AGUA EN UNA SOLA DIRECCION.**

a los pozos desarrollados naturalmente. Los pozos empacados con grava presentan un problema algo diferente, que se discute posteriormente en este capítulo.

La operación de desarrollo, para ser eficaz, debe causar inversiones del flujo a través de las aberturas de la rejilla y la formación que circunda el pozo (Figura 6.2). Esto es necesario para evitar que algunos grupos de partículas puedan salvar las aberturas, como puede ocurrir cuando el flujo es, continuamente, en una misma dirección. El efecto causado por un



**Figura 6.3 UN FLUJO UNIDIRECCIONAL PUEDE CAUSAR EL PASO DE ARENA DURANTE EL DESARROLLO DEL POZO.**

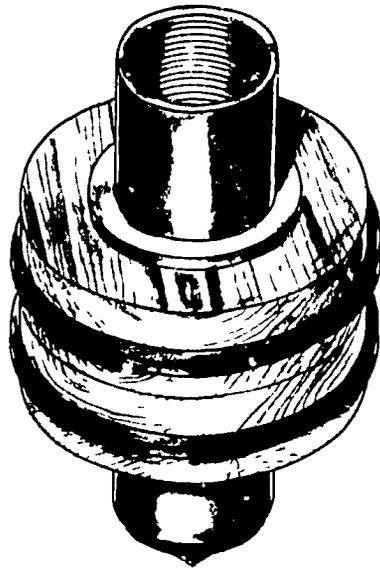
aberturas se cuelen partículas de material fino, lo cual podría ocurrir mientras la porción de flujo hacia dentro las mueve, y a través de la rejilla

flujo unidireccional se ilustra en la Figura 6.3. La inversión del flujo se produce forzando el agua hacia fuera del pozo a través de la rejilla y hacia dentro de la formación acuífera y después retirando la fuerza para permitir que el flujo tenga lugar desde la formación a través de la rejilla y hacia dentro del pozo. Este proceso se conoce como *limpieza por oleaje*. La porción de flujo hacia fuera (con respecto al pozo) del ciclo de oleaje evita que por las

en el pozo desde donde, más tarde, son retiradas. Hay varios métodos para producir la limpieza por oleaje, propia para desarrollar un pozo. Algunos de los más sencillos se describen en los párrafos que siguen.

### **Limpieza mecánica por oleaje**

La limpieza mecánica por oleaje es el nombre que se da al método según el cual se opera un émbolo hacia arriba y hacia abajo dentro del entubado como lo hace un pistón en un cilindro. La herramienta normalmente usada se llama *émbolo de limpieza* o *bloque de limpieza*. Es la herramienta más comúnmente empleada para el desarrollo de pozos. Los émbolos de limpieza son de dos tipos, los de una pieza y los de tipo de válvula.



**Figura 6.4 EMBOLO DE LIMPIEZA TÍPICO, DE UNA PIEZA.**

Un *émbolo de limpieza de una pieza* se muestra en la Figura 6.4. Es de construcción sencilla, consistiendo de dos discos de cuero o banda de caucho prensados entre discos de madera, todo montado sobre un niple de tubería con platillos de acero sirviendo como roldanas bajo el extremo de los acoplamientos. Los discos de cuero o caucho deben formar un ajuste razonablemente preciso en la envolvente del pozo. Este no es, por ningún concepto, el único modo de hacer un émbolo de limpieza de una pieza. Solamente es uno de los diversos métodos de hacerlo, pero sirve para ilustrar las características esenciales de esta herramienta. Las variaciones podrían incluir el uso de cuero o caucho en forma de copa colocados sobre los discos de madera en vez de los discos planos de cuero o de banda de caucho. Una forma sencilla de émbolo también puede confeccionarse para su empleo en pozos de diámetro pequeño, atando firmemente suficientes tiras de arpillera alrededor de la tubería de perforación (preferiblemente en una unión) para obtener un ajuste preciso en el entubado del pozo.

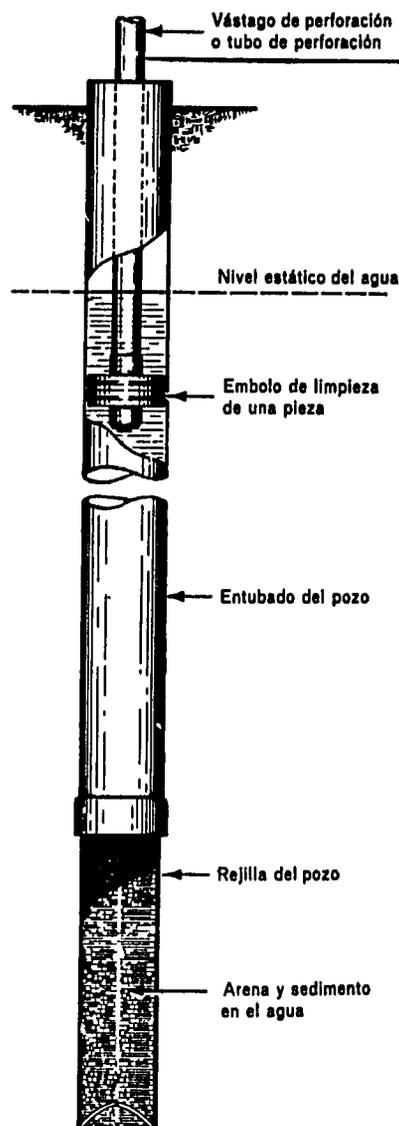
Antes de efectuar la limpieza por oleaje, debe lavarse el pozo con un chorro de agua, y por medio de achicador o bomba hay que retirar parte del lodo en la entrada del agujero, así como la arena que pudiera haberse

asentado en la rejilla. Esto asegura un flujo de agua suficientemente libre desde la capa acuífera hacia el pozo, para permitir que el émbolo se deslice suave y libremente. Luego, se baja el émbolo de limpieza dentro del pozo (Figura 6.5) hasta una profundidad de 10 a 15 pies (3 a 4.5 m) bajo el agua, pero sobre el extremo superior de la rejilla. Después, se aplica un movimiento de perforación, levantando y dejando caer, repetidamente, el émbolo en una distancia de 2 a 3 pies (61 a 91.5 cm). Si se usa un aparejo de perforación de cable y herramienta, debe operarse en el movimiento de perforación de carrera larga. Es importante que se agregue suficiente peso al émbolo de limpieza para hacerlo caer fácilmente en la carrera descendente. Usualmente, un vástago de perforación o una línea pesada de tubería se han encontrado adecuados para este propósito.

La limpieza debe empezarse lentamente, aumentando gradualmente la velocidad, pero manteniéndola dentro del límite en que el émbolo se elevará y caerá suavemente. Límpiase durante varios minutos, anotando la velocidad, la carrera y el tiempo para esta operación inicial. Sepárese el émbolo, bájese el achicador o la bomba de arena dentro del pozo y después de comprobar la profundidad de la arena acumulada en la rejilla, extráigase aquélla. Repítase la operación de limpieza, comparando la cantidad de arena con la que se extrajo inicialmente. Sáquese la arena y repítanse las operaciones de limpieza y extracción de lodo hasta que quede poco o nada de arena en el pozo. El tiempo debe aumentarse para cada período sucesivo de limpieza, según disminuye el grado de entrada de arena dentro del pozo. El achicador de tipo de bomba de arena descrito previamente en el Capítulo 5 es, generalmente, preferido para retirar la arena durante el trabajo de desarrollo.

El *émbolo de limpieza de tipo de válvula* difiere del de una pieza, en que el primero lleva cierto número de agujeros pequeños, a través del émbolo, que están cubiertos por una válvula de cuero suave. En la Figura 6.6 se levanta la válvula de cuero para mostrar uno de los 6 agujeros que se encuentran espaciados a distancias iguales alrededor de la circunferencia del émbolo.

Los émbolos de limpieza de tipo de válvula funcionan en forma similar a los de una pieza. Estos succionan el agua desde la capa acuífera hacia el pozo en la carrera ascendente y, permitiendo que parte del agua en el pozo ejerza presión hacia arriba a través de las válvulas en la carrera descendente, producen un flujo inverso más pequeño en la capa acuífera. Esta formación de un torrente de agua más grande hacia dentro del pozo que hacia fuera, durante la operación de limpieza, es la característica principal más importante de este tipo de émbolo. El émbolo de limpieza de tipo de válvula, a causa de esta característica, está particularmente adaptado para usarse en el desarrollo de pozos en formaciones con permeabilidad baja, ya que asegura un flujo neto de agua dentro del pozo más que hacia fuera de él. Un flujo ha-

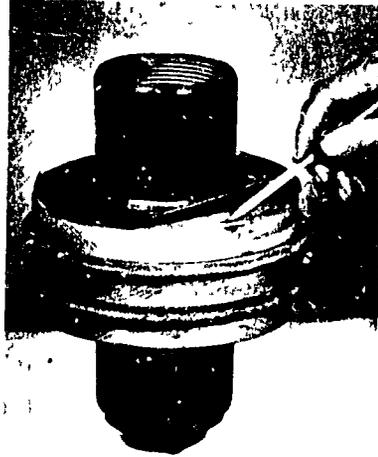


**Figura 6.5 EMOLO DE LIMPIEZA DE UNA SOLA PIEZA, LISTO PARA USARSE EN EL DESARROLLO DE UN POZO. LA CARRERA DESCENDENTE FUERZA EL AGUA HACIA AFUERA DENTRO DE LA FORMACION DE ARENA. LA CARRERA ASCENDENTE SUCCIONA EL AGUA, EL SEDIMENTO Y LA ARENA FINA A TRAVES DE LA REJILLA.**

cia fuera puede ocasionar el movimiento del agua hacia arriba para deslavar el exterior de la envolvente, ya que la baja permeabilidad de la capa acuífera no facilitará el flujo hacia dentro de ella. El deslave alrededor del exterior de la envolvente puede causar el derrumbe de las formaciones superiores y así ocasionar problemas muy difíciles.

Un beneficio incidental del empleo de este tipo de émbolo es la acumulación de agua sobre él, con la descarga eventual de parte de ella, sedimento y arena sobre el extremo superior del pozo. Las válvulas, en efecto, producen cierta acción de bombeo, además de la limpieza del pozo y, así, reducen el número de veces que se necesita retirar el émbolo para sacar la arena del pozo.

Los émbolos de limpieza también pueden operarse dentro de la rejilla. Esto podría ser deseable en el desarrollo de pozos con rejillas largas. Operando el émbolo dentro de la rejilla, se puede concentrar la acción de limpieza en niveles seleccionados hasta que el pozo está completamente desarrollado a través de la longitud total de la rejilla. Los émbolos de limpieza deben, para tal uso, ser de un tamaño que les permita pasar libremente a través de la rejilla y sus conexiones y no formar un ajuste apretado en ellos, como es el caso cuando operan dentro de la envolvente del pozo. Debe tenerse especial cuidado cuando se hace la limpieza dentro de la re-



**Figura 6.6 EMBOLO DE LIMPIEZA TIPICO, DEL TIPO DE VALVULA, CON LA PARTE DE CUERO LEVANTADA PARA MOSTRAR UNO DE LOS SEIS AGUJEROS.**

jilla para evitar que el émbolo quede atrapado con la arena que se deposite sobre él. Por esta razón, el uso de los émbolos dentro de las rejillas debe intentarse sólo por perforadores experimentados.

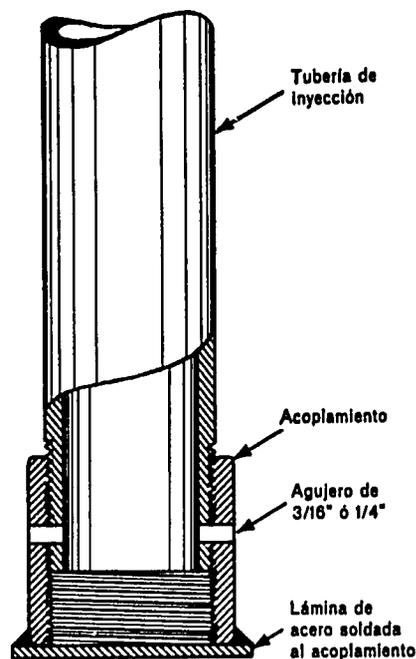
También debe tenerse cuidado cuando se emplean los émbolos de limpieza para desarrollar pozos en capas acuíferas que contienen vetas o bolas de barro. La acción del émbolo puede, en tales circunstancias, hacer que el barro se pegue en la superficie de la rejilla con una reducción consecuente, más bien que un aumento, en el rendimiento. Además, la limpieza de una rejilla parcial o completamente tapada puede producir altas diferencias de presión, ocasionando el derrumbamiento de la rejilla.

#### **Lavado por retroceso**

La *inyección a alta velocidad* o el lavado por retroceso de una capa acuífera con chorros de agua a alta velocidad, dirigidos horizontalmente a través de las aberturas de la rejilla, es generalmente el método más efectivo para el desarrollo de pozos. Los componentes principales del equipo requerido son una simple herramienta de inyección, una bomba de alta presión, la manguera necesaria, tubería, eslabón giratorio y tanque de agua u otra fuente de suministro de este líquido.

Una forma simple de herramienta de inyección para emplearse en pozos pequeños se muestra en la Figura 6.7. Un acoplamiento de tamaño apropiado, con una lámina de acero soldada sobre un extremo, se atornilla a tubos de 1, 1-1/2 ó 2 pulgadas (25.4, 38 ó 50.8 mm). De dos a cuatro agujeros de 3/16 ó 1/4 de pulgada (5 ó 6.4 mm) de diámetro, espaciados igualmente alrededor de la circunferencia, se perforan a través de todo el espesor del acoplamiento y la tubería de inyección a una distancia determinada a lo largo del acoplamiento desde la superficie cercana de la lámina de acero. Se obtendrían mejores resultados si se usaran boquillas de forma adecuada, en vez de los agujeros perforados en forma recta mostrados, pero los últimos son aceptablemente efectivos. Cualquiera de los tamaños antes mencionados es adecuado para emplearse en un pozo de 4 pulgadas (10 cm), pero la herramienta de 2 pulgadas ó 1-1/2 pulgadas

(5 ó 3.8 cm) sería preferible. La herramienta de 1-1/2 pulgadas también puede emplearse en un pozo de 3 pulgadas (7.6 cm), mientras que la de 1 pulgada se recomienda para usarse en un pozo de 2 pulgadas.



**Figura 6.7 HERRAMIENTA SENCILLA PARA EL DESARROLLO DE POZOS POR EL METODO DE INYECCION A ALTA VELOCIDAD.** (Adaptado de la Figura 96, *Wells*, Manual Técnico TM5-297 del Departamento del Ejército, 1957).

herramienta con tres boquillas de 1/4 de pulgada (6 mm) de diámetro necesitaría un bombeo de 48 a 60 gpm (182.2 a 227.1 lt/min) Mientras se bombea el agua a través de las boquillas y la rejilla en la formación, se hace girar lentamente la herramienta de inyección, lavando y desarrollando así la formación cercana al fondo de la rejilla del pozo. Después se eleva la herramienta a intervalos de unas cuantas pulgadas y se repite el proceso hasta que se ha lavado y desarrollado completamente toda la longitud de la rejilla.

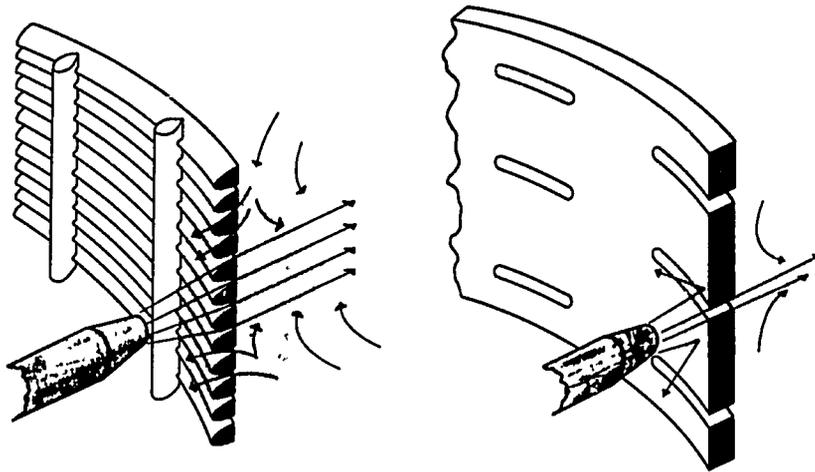
Donde es posible, es muy conveniente bombear de un pozo al mismo tiempo que progresa la operación de inyección. Esto se puede hacer en un pozo de 4 pulgadas (10 cm) si se utiliza una tubería de inyección de 1-1/2

El procedimiento consiste en bajar la herramienta en la tubería de inyección hasta un punto cercano al fondo de la rejilla. El extremo superior del tubo se conecta, mediante un eslabón giratorio y una manguera, al extremo de la descarga de una bomba de alta presión, tal como la bomba de lodo empleada para la perforación por rotación hidráulica. La bomba debe ser capaz de operar a una presión de, por lo menos, 100 libras por pulgada cuadrada (6.8 kg/cm<sup>2</sup>) (psi) y, preferiblemente, a aproximadamente 150 psi (10.2 kg/cm<sup>2</sup>) mientras arroja de 10 a 12 galones (37.85 a 45.42 litros) por minuto (gpm) por cada boquilla de 3/16 de pulgada, ó 16 a 20 gpm (60.56 a 75.70 lt/min) por cada boquilla de 1/4 de pulgada en la herramienta. Por ejemplo, una herramienta con dos boquillas de 3/16 de pulgada de diámetro requeriría un bombeo de aproximadamente 20 a 25 gpm (75.70 a 91.10 lt/min), mientras que una

pulgadas (3.8 cm), permitiendo así que una tubería pequeña de succión se baje a lo largo de un costado de ella en el pozo. El nivel estático del agua debe quedar suficientemente cerca de la superficie para permitir el bombeo por succión. Bombeando hacia fuera más agua de la que se agrega al pozo por medio de inyección, se inducirá un flujo dentro de él desde la capa acuífera, arrastrando así material de la formación, aflojado por el chorro, hacia el pozo y fuera de él con el agua descargada. Esto acelera el proceso de desarrollo y lo hace más eficiente.

El método de inyección a alta velocidad es más efectivo en pozos construidos con rejillas de tipo de ranura continua. El porcentaje más grande de área abierta de este tipo de rejilla permite un uso más efectivo de la energía de la inyección al mover y aflojar el material de la formación, más bien que disipándolo por el simple choque sobre las áreas íntegras de la tubería ranurada (Figura 6.8).

El método de inyección es el más efectivo de los sistemas de desarrollo porque la energía de los chorros se concentra sobre superficies pequeñas en cada momento y cada parte de la rejilla se puede tratar selectivamente. Este desarrollo uniforme y completo se logra en toda la longitud de la rejilla. El método, también, es relativamente sencillo de aplicarse y no es demasiado probable que cause problemas como resultado de un exceso en la aplicación.



**Figura 6.8 EL PORCENTAJE MAYOR DE AREA ABIERTA EN UNA REJILLA DE RANURA CONTINUA PERMITE UN MEJOR DESARROLLO, POR MEDIO DE LA INYECCION A ALTA VELOCIDAD, DEL QUE ES POSIBLE CON LA TUBERIA RANURADA.**

Otro método de desarrollo mediante lavado por retroceso, adecuado para emplearse en pozos pequeños, es el que usa una bomba centrífuga con la manguera de succión conectada directamente al extremo de la envolvente del pozo y que lleva una válvula de compuerta en la punta de descarga. El procedimiento comprende, simplemente, la apertura y cierre periódicos de la válvula de descarga mientras la bomba está en operación. Esto produce un efecto de limpieza en el pozo. El proceso continúa hasta que la descarga está clara y libre de arena. El método sólo es aplicable donde los niveles estáticos de agua son tales que permiten el bombeo por succión. Puede causarse cierto daño a la bomba por el desgaste de sus partes ocasionado por la arena bombeada a través de ella, particularmente si se hace en cantidades grandes. Por lo tanto, el uso de la bomba permanentemente instalada no se recomienda para emplearse en el desarrollo de un pozo por este método.

#### **Desarrollo de pozos empacados con grava**

El desarrollo de pozos empacados con grava consiste en la remoción de la capa delgada de material relativamente impermeable que se pega sobre la pared del agujero y queda entre la formación acuífera natural y la grava artificialmente colocada.

La presencia de la envoltura de grava crea cierta dificultad para efectuar el trabajo. El éxito depende de la clasificación de la grava, de desarrollo y la eliminación del excesivo espesor del empaque de grava. El método de inyección, a causa de su concentración de energía sobre áreas más pequeñas, suele ser más efectivo que los otros métodos en el desarrollo de pozos empacados con grava. Mientras más delgado es el empaque de grava, es más probable la remoción de todo el material indeseable, incluyendo arena fina y sedimento. El empleo de agentes dispersantes (que se describen a continuación) tales como polifosfatos, ayuda efectivamente a aflojar el sedimento y el barro.

#### **Agentes dispersantes**

Los agentes dispersantes, principalmente polifosfatos, se agregan al fluido de perforación, al agua para el lavado por retroceso o inyección, o al agua almacenada en el pozo para contrarrestar la tendencia del lodo a adherirse a los granos de arena. Estos agentes actúan destruyendo las propiedades semejantes al gel del lodo de perforación y dispersando las partículas de arcilla, lo que facilita su remoción. El hexametáfosfato de sodio es, probablemente, el más conocido de estos agentes químicos, aunque el pirofosfato tetrasódico, el tripolifosfato de sodio y el septafosfato de sodio también se emplean con éxito en el desarrollo de pozos. Estos agentes trabajan eficientemente cuando se aplican en la proporción de  $\frac{1}{2}$  a 1 libra (226.7 a 453.4 g) de la substancia a cada 100 galones (378.5 litros) de

agua del pozo. Debe permitirse que la mezcla repose 1 hora aproximadamente antes de iniciar las operaciones de desarrollo.

### **DESINFECCION DE POZOS**

La desinfección es el paso final en la terminación de un pozo. Su objetivo es la destrucción de todos los organismos productores de enfermedades introducidos en el pozo durante las distintas operaciones de construcción. La entrada de estos organismos en el pozo puede ocurrir en el agua de perforación contaminada, el equipo, los materiales o por conducto del drenaje de la superficie dentro del pozo. Todos los pozos recientemente construidos, con la posible excepción de los de flujo artesiano, deben, por lo tanto, desinfectarse. También deben desinfectarse los pozos después de una reparación y antes de volver a ponerlos en servicio. El agua de los pozos de flujo artesiano está, generalmente, libre de contaminación por organismos productores de enfermedades después que se ha dejado fluir y eliminar el agua durante un corto tiempo. Sin embargo, si los análisis muestran contaminación persistente, debe desinfectarse el pozo como se describe más adelante en este capítulo.

A causa de los problemas de las pruebas para averiguar la existencia de organismos productores de enfermedades, de los cuales puede haber varios tipos en el agua, se buscan bacterias coliformes como indicadores de la posible presencia de esos organismos de origen humano o animal en el agua. Por lo tanto, la desinfección se considera completa cuando el muestreo y el ensayo del agua no revelan la presencia de ninguna bacteria coliforme. El muestreo y el ensayo deben efectuarse por personal experimentado de una agencia de salubridad o laboratorio reconocido.

El pozo debe limpiarse lo más completamente que sea posible, de sustancias extrañas, tales como tierra, grasa y aceite, antes de la desinfección. La desinfección más conveniente se logra por la adición de una solución fuerte de cloro en el pozo. Entonces, debe agitarse completamente el contenido del pozo y dejarse reposar durante varias horas preferiblemente toda la noche. También debe tenerse cuidado de lavar toda la superficie sobre el nivel del agua en el pozo con la solución desinfectante. A continuación, debe bombearse agua del pozo durante suficiente tiempo para cambiar varias veces el contenido de éste y expulsar de él el exceso de cloro.

El hipoclorito de calcio es la fuente de cloro más empleada en la desinfección de pozos. Se vende en almacenes de sustancias químicas y en algunas ferreterías, en forma granular y en tabletas, conteniendo 70 por ciento de cloro disponible por peso. Es moderadamente estable en estado seco y retiene el 90 por ciento de su contenido original de cloro después de un año de almacenamiento. Cuando se encuentra húmedo, pierde su fuerza y se vuelve totalmente corrosivo. Por lo tanto, debe al-

macenarse en ambientes frescos y secos. Debe agregarse suficiente hipoclorito de calcio al agua contenida en el pozo para producir una solución cuya concentración varíe de 50 a 200 partes por millón (ppm) por peso y, de ordinario, aproximadamente 100 ppm. Una solución de aproximadamente 100 ppm de cloro se puede obtener agregando 2 onzas ó 4 cucharadas soperas bien llenas de hipoclorito de calcio (con 70 por ciento de cloro disponible) a cada 100 galones (15 g a 100 lt) de agua almacenada en el pozo. Usualmente, por conveniencia de aplicación, se hace una solución de reserva mezclando el hipoclorito de calcio con una pequeña cantidad de agua para formar una pasta suave y, después, agregar el resto de 2 cuartos de agua por cada onza (6.7 lt por 100 g) de la sustancia química. Agítese completamente la mezcla durante 10 ó 15 minutos antes de dejar que se asiente. Después, se vierte el líquido más claro para usarlo en el pozo. Un galón o litro de esta solución, agregado a 100 galones o litros de agua en el pozo, produce una solución de una concentración aproximadamente igual a 100 ppm de cloro. La solución de reserva debe prepararse en un recipiente completamente limpio, de vidrio, loza o goma. Los recipientes de metal se corroen y deben evitarse. Las soluciones de reserva deben prepararse para las necesidades inmediatas solamente, ya que pierden su fuerza rápidamente si no se almacenan en forma adecuada en envases fuertemente cerrados, de vidrio obscuro o plástico. El almacenamiento de la sustancia química en forma seca es mucho más conveniente.

El hipoclorito de sodio se puede usar en ausencia de hipoclorito de calcio. Esta sustancia se encuentra solamente en forma líquida y se puede comprar en concentraciones hasta de 20 por ciento, aproximadamente, de cloro disponible. En su forma más común, blanqueador para lavandería doméstica, tiene una fuerza de aproximadamente 5 por ciento de cloro disponible. Una solución de reserva, de fuerza equivalente, hecha de hipoclorito de calcio y descrita en el párrafo anterior, puede hacerse diluyendo blanqueador comercial con el doble de su volumen de agua. Esta solución también debe agregarse al pozo en la proporción de un galón o litro por cada 100 galones o litros de agua.

Los pozos de flujo artesiano se desinfectan, cuando es necesario, bajando un recipiente perforado, como una sección corta de tubería tapada en ambos extremos y que contenga la cantidad adecuada de hipoclorito de calcio seco, hasta el fondo del pozo. El flujo ascendente natural del agua distribuirá el cloro disuelto en toda la profundidad del pozo. Se puede usar un prensaestopas en el extremo superior del pozo para restringir, parcial o completamente, el flujo y, de esa manera, reducir las pérdidas de cloro.

## CAPITULO 7

### CONSERVACION Y REHABILITACION DE POZOS

Los pozos, como todas las estructuras de ingeniería, necesitan conservación o mantenimiento regular, rutinario, para obtener un alto nivel continuo de funcionamiento y una máxima vida útil. La tendencia general hacia el mantenimiento de los pozos es tal, que puede describirse mejor con la expresión "lo que no se ve se olvida". Consecuentemente, se presta muy poca o ninguna atención a los pozos después de su terminación, hasta que los problemas alcanzan niveles de crisis, acarreado a menudo la inutilización del mismo. La importancia de un programa de mantenimiento rutinario para la prevención descubrimiento y corrección oportuna de los problemas que reducen el funcionamiento y vida útil del pozo no puede exagerarse. Un programa de mantenimiento sistemático puede pagar buenos dividendos al propietario y, ciertamente, resultará en beneficios a largo plazo que exceden de su costo.

#### **FACTORES QUE AFECTAN EL BUEN RENDIMIENTO DEL POZO**

Los factores que afectan la conservación del funcionamiento o rendimiento del pozo son numerosos. Debe tenerse cuidado para diferenciar los factores relativos al desgaste normal de las partes de la bomba y los que dependen directamente de las condiciones cambiantes en el pozo y sus alrededores. Por ejemplo, un pozo que funciona perfectamente puede tener un rendimiento reducido a causa de una reducción en la capacidad de la bomba por desgaste excesivo de sus piezas. Por otra parte, el desgaste exagerado de las piezas de la bomba se puede deber al bombeo de arena que entra en el pozo a través de una rejilla corroída. También es posible que la corrosión afecte solamente la bomba, reduciendo su capacidad, pero que tenga poca o ninguna influencia en un pozo adecuadamente diseñado.

Las condiciones hidrológicas de algunas capas acuíferas son tales, que el nivel estático del agua desciende gradualmente cuando se bombea continuamente de un pozo. Si bien esto redundaría en rendimientos reducidos, a menos que los niveles de bombeo también disminuyan correspondientemente, no es indicio de una falla en el propio pozo, que requiera reparaciones o tratamiento de alguna forma.

Más comúnmente, una disminución en la capacidad de un pozo resulta

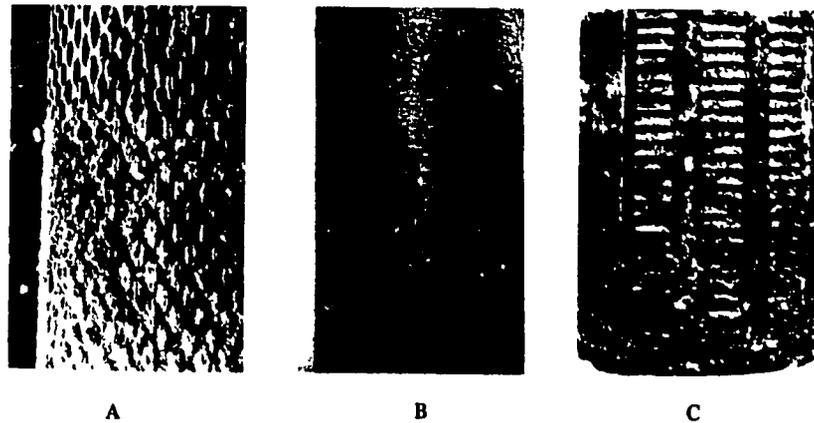
del taponamiento de las aberturas de la rejilla y de la formación acuífera inmediatamente alrededor de la rejilla del pozo por depósitos de incrustación. Estos depósitos de incrustación (Figura 7.1) pueden ser de la forma dura, parecida a cemento, típica de los carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio, las formas blandas de aspecto de lodo de los hidróxidos de hierro y manganeso o la lama gelatinosa de las bacterias del hierro. El hierro también puede depositarse en forma de óxido férrico, con apariencia parda rojiza, como una incrustación. Menos común es el depósito de materiales del suelo, tales como cieno y arcilla.

El depósito de los carbonatos y compuestos de hierro y manganeso puede descubrirse a menudo por la liberación de dióxido de carbono del agua. La capacidad del agua para conservar el dióxido de carbono varía en razón directa de la presión —mientras más alta es ésta, mayor es la cantidad de dióxido de carbono contenida. El bombeo de un pozo reduce la presión dentro y cerca de él, permitiendo así el escape de dióxido de carbono hacia la atmósfera y alterando la calidad química del agua, de tal manera, que causa la precipitación de depósitos de carbonato y hierro.

Un cambio en la velocidad es otro factor que puede ocasionar la precipitación de hidróxidos de hierro y manganeso. Esto también ocurre en la rejilla del pozo y cerca de ella, donde la velocidad del agua, que fluye lentamente, aumenta repentinamente al entrar al pozo.

#### PLANEACION

La planeación de los procedimientos de mantenimiento de un pozo debe apoyarse en el sistema de llevar un buen registro. Los párrafos prece-



**Figura 7.1 FORMAS DE INCRUSTACION. A.—Depósitos duros, de aspecto de cemento, de carbonatos de calcio y magnesio. B.—Depósitos de lama gelatinosa típicos de las bacterias del hierro. C.—Depósitos del tipo de incrustación de óxido de hierro tapando totalmente las aberturas de la rejilla.**

del. es indicaron que los problemas que redundan en rendimientos reducidos del pozo ocurren en la rejilla y a su derredor y completamente fuera de la vista. Por lo tanto, debe confiarse en el análisis de los buenos registros como la fuente de localización de los problemas en los pozos. No puede haber substituido para la conservación de los buenos registros.

Entre los datos conservados deben incluirse los regímenes de bombeo, la aspiración, las horas totales de operación, el consumo de energía y los análisis de calidad del agua. Los regímenes de bombeo y la aspiración son particularmente útiles en la determinación de la capacidad específica (descarga por pie de aspiración) que es el mejor indicador de los problemas existentes en un pozo. Las capacidades específicas de los pozos deben comprobarse periódicamente y compararse con los valores previos, incluyendo aquellos que se obtuvieron inmediatamente después de la terminación de los pozos, para determinar si han tenido lugar reducciones significativas. Una reducción apreciable en la capacidad específica de un pozo, puede descubrirse a menudo, por el bloqueo de la rejilla del mismo y la formación a su derredor, más probablemente que mediante los depósitos de incrustación. Como se dijo antes, una reducción en la descarga de la bomba no sería, por sí misma, evidencia de una capacidad reducida del pozo. Sin embargo, si la aspiración en el pozo no muestra una reducción igual, entonces la capacidad específica será reducida, indicando así la probabilidad de un problema de incrustación.

Los registros de consumo de energía también proporcionan indicios valiosos de la existencia de problemas en los pozos. Si un aumento en el consumo de energía no va acompañado por un aumento correspondiente en la cantidad de agua bombeada, entonces es posible que exista un problema en la bomba o en el pozo. Si una investigación no revela los problemas en la bomba, ni aumento apreciable de la presión dinámica contra la cual tiene que operar ésta, entonces es más probable que exista un problema en el pozo y que esté causando una aspiración creciente. Entonces debe efectuarse una comprobación de la aspiración para verificar la deducción y la verificación del pozo por incrustación.

Como no habría incrustación en ausencia de sustancias químicas del agua que la provocaran, el valor de los análisis químicos del agua del pozo es evidente por sí mismo. Tales análisis son más útiles como indicadores de las dificultades si se efectúan regularmente. Indican el tipo de incrustación que puede ocurrir y la cantidad probable de depósito en el pozo y sus cercanías. La calidad de algunas aguas de pozo cambia lentamente con el tiempo y sólo los análisis rutinarios regulares indicarían tales cambios.

En los pozos cuyas aguas están reconocidas como productoras de incrustación, la frecuencia de las observaciones de todo tipo debe ser lo mayor posible y congruente con el uso al cual se destina el agua. Las observaciones deben hacerse mucho más frecuentemente en los pozos que

serven a una comunidad, que en los que alimentan al propietario de una casa particular, ya que más gente depende de ellos en las comunidades. El consumo de energía, la descarga del pozo, la aspiración, las horas de operación y otras observaciones semejantes se hacen, a menudo, diariamente en los pozos de las comunidades, e incluso pueden hacerse en forma continua. Los análisis químicos en tales pozos pueden hacerse en forma anual, semestral o cada cuatro meses, según se requiera. Las observaciones en los pozos de propietarios de casas son, usualmente, mucho menos frecuentes; sin embargo, deben hacerse regularmente.

### **OPERACIONES DE MANTENIMIENTO**

Las operaciones de mantenimiento no deben aplazarse hasta que los problemas asuman proporciones mayores, ya que, entonces, la rehabilitación se hace más difícil y, en algunas ocasiones, imposible o impracticable. La incrustación no tratada con suficiente anticipación puede, de esta manera, tapar la rejilla del pozo y la formación a su alrededor de tal manera que se hace extremadamente difícil, e incluso imposible, difundir una solución química a todos los puntos afectados en la formación. Cualquier intento de rehabilitación sería, entonces, infructuoso.

Aún no se han desarrollado métodos para la prevención completa de la incrustación en los pozos. Se han dado varios pasos para retardar el proceso y reducir la magnitud de sus efectos. Entre estos se encuentra el diseño adecuado de la rejilla del pozo y la reducción del régimen de bombeo, ambos dirigidos a reducir las velocidades de entrada en las rejillas y el embalse en los pozos. Por ejemplo, puede ser útil repartir la carga de bombeo entre un número más grande de pozos a fin de reducir el porcentaje de incrustación. Sin embargo, la solución última o final será un programa de limpieza regular. Los pozos con incrustación suelen tratarse con sustancias químicas que disuelven los depósitos o los aflojan de las superficies de la rejilla del pozo y los materiales de la formación de tal manera que se pueden retirar fácilmente por medio de achicador.

#### **Tratamiento ácido**

El tratamiento ácido se refiere al empleo de un ácido en el pozo, usualmente ácido clorhídrico (muriático) o ácido sulfámico para la remoción de los depósitos de incrustación. Ambos ácidos disuelven fácilmente los carbonatos de calcio y magnesio, aunque el ácido clorhídrico lo hace con mayor rapidez. Las soluciones fuertes de ácido clorhídrico también disuelven los hidróxidos de hierro y manganeso. El uso simultáneo de un inhibidor sirve para reducir la tendencia del ácido a atacar el entubado de acero.

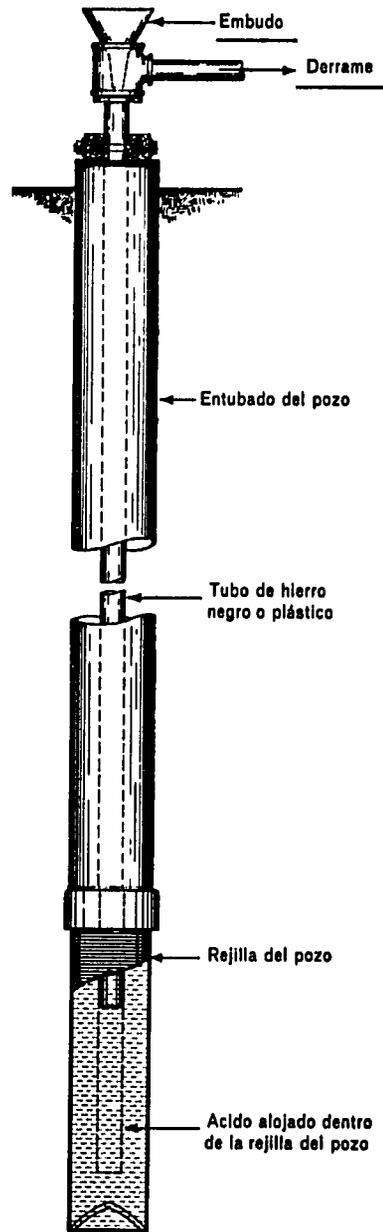
Algunas veces se tratan los pozos con ácido en preparación para retirar una rejilla, ya sea para volver a emplearla en otra parte o en el mismo pozo. Por ejemplo, puede ser deseable recuperar una rejilla, que se encuentra en buen estado, de un pozo cuyo entubado se ha corroído hasta quedar inservible. O bien, se puede recuperar una rejilla para someterla a un tratamiento más efectivo, contra la incrustación, del que puede lograrse dentro del pozo. En cualquier caso, un tratamiento ácido preliminar para disolver algunos de los depósitos de incrustación hará mucho más fácil la extracción de la rejilla.

El *ácido clorhídrico* se vende, usualmente, en tres grados en las tiendas de sustancias químicas. El grado más fuerte, designado como 27.92 por ciento, es el que debe usarse. Se vende igualmente en garrafrones de vidrio o de plástico que contienen aproximadamente 12 galones (45.42 lt) cada uno. Si no puede obtenerse ácido inhibido, la gelatina insabora agregada en la proporción de 5 a 6 libras por cada 100 galones (590 a 708 g por 100 lt) de ácido evitará daños graves al entubado de acero.

El ácido clorhídrico debe usarse en su concentración total. Cada tratamiento, usualmente, requiere de 1-1/2 a 2 veces el volumen de agua de la rejilla. Esto proporciona suficiente ácido para llenarla y un exceso para mantener la concentración adecuada, ya que la sustancia química reacciona con los materiales de incrustación. La Figura 7.2 ilustra un método para depositar el ácido en un pozo. El ácido se introduce en la rejilla por medio de un embudo de boca ancha y un tubo de hierro negro o plástico de 3/4 ó 1 pulgada (19 ó 25.4 mm). El ácido es más pesado que el agua, a la cual tiende a desalojar, pero también se mezcla fácilmente con ella para diluirse. Cuando se usa en rejillas grandes, debe agregarse el ácido en cantidades suficientes para llenar 5 pies (1.53 m) y elevarse el tubo conductor 5 pies antes de verter cada cantidad.

La solución ácida en el pozo debe agitarse con un émbolo u otro dispositivo apropiado, durante 1 ó 2 horas, después de lo cual debe achicarse hasta que el agua esté relativamente clara. Usualmente, el perforador puede descubrir un mejoramiento en el rendimiento del pozo mientras efectúa el baldeo. Sin embargo, se puede hacer funcionar la bomba para determinar la magnitud de la mejoría. Si no es como se esperaba, puede repetirse el tratamiento usando un período más grande de agitación antes de achicar. Incluso un tercer tratamiento puede efectuarse.

Algunas veces, el procedimiento varía para alternar tratamiento ácido y tratamiento con cloro (que se describe posteriormente en este capítulo), repitiendo los tratamientos alternados tantas veces como parezca necesario para obtener resultados benéficos. El cloro ayuda a remover la lama depositada por la bacteria del hierro.



**Figura 7.2 DISPOSICION PARA INTRODUCIR ACIDO DENTRO DE LA REJILLA DEL POZO DESDE EL FONDO HACIA ARRIBA.**

El ácido sulfámico puede obtenerse como un material seco granulado que produce una solución ácida fuerte cuando se disuelve en el agua. Ofrece cierto número de ventajas sobre el ácido clorhídrico como un medio para el tratamiento de la incrustación en los pozos. Puede agregarse a un pozo, ya sea en su forma granular original o como una solución ácida mezclada *in situ*. El ácido sulfámico granular no irrita la piel seca, y en solución no despiden vapores, excepto cuando reacciona con los materiales de la incrustación. Por lo tanto, si se derrama no presenta riesgos, y su manejo es más fácil, barato y seguro. También tiene un efecto marcadamente menos corrosivo sobre el entubado del pozo y el equipo de bombeo y es de empleo seguro sobre las rejillas de acero inoxidable Everdur y el tipo 304. Estas ventajas tienden a compensar su costo, más alto que el del ácido clorhídrico inhibido. El ácido sulfámico disuelve los carbonatos de calcio y magnesio para convertirlos en productos muy solubles. Sin embargo, la reacción es más lenta que cuando se emplea ácido clorhídrico y se requiere un período de contacto, en el pozo, un poco más largo.

El ácido sulfámico suele agregarse a los pozos en forma de solución, empleando un tubo de hierro negro o plástico como se describió para la aplicación del ácido clorhídrico. Con 10 galones

de agua se disuelven de 14 a 20 libras de los granos, según la temperatura del agua.

Sin embargo, el material granulado puede verterse y mezclarse con el agua almacenada en el pozo. El agua debe agitarse para asegurar la disolución completa del ácido. La cantidad de ácido agregada en este caso debe basarse en el volumen total de agua almacenada en el pozo, y no solamente en el de la rejilla, como sería el caso si el ácido se aplicara en forma de solución. Puede agregarse material granular en exceso para mantener la solución a su concentración máxima mientras se está consumiendo debido a la reacción con el material de la incrustación. La adición de un agente hidratante no iónico, productor de poca espuma, mejora hasta cierto grado la acción limpiadora.

Debe tomarse cierto número de *precauciones* al emplear cualquier solución ácida fuerte. Todas las personas que las manejan deben usar gafas y guantes impermeables. Cuando se prepare una solución ácida, viértase, siempre, el ácido lentamente en el agua. En vista de la variedad de gases, algunos de los cuales son muy tóxicos, producidos por la reacción del ácido con los materiales de la incrustación, debe existir ventilación adecuada en las casetas de bombas u otros espacios estrechos alrededor de los pozos tratados. No debe permitirse que el personal permanezca en un foso o depresión alrededor del pozo durante el tratamiento, porque algunos de los gases tóxicos, tales como el sulfuro de hidrógeno, son más pesados que el aire y tenderán a asentarse en las partes más bajas. Después que se ha tratado un pozo, debe bombearse hasta el desagüe para asegurar la eliminación completa de todo el ácido antes de restituirlo al servicio normal.

### **Tratamiento con cloro**

Se ha encontrado que el tratamiento con cloro de los pozos es más efectivo que con ácido para aflojar los crecimientos de bacterias y los depósitos de lama que a menudo acompañan el depósito de óxido de hierro. A causa de las concentraciones muy altas requeridas, de 100 a 200 partes por millar de cloro libre, el proceso se conoce, a menudo, como tratamiento de choque con cloro. El hipoclorito de calcio o de sodio puede usarse como fuente de cloro, como ya se describió para la desinfección de pozos en el Capítulo 6. La solución de cloro en el pozo debe agitarse. Esto se puede hacer empleando la técnica de chorro de alta velocidad (véase "Desarrollo de pozos", Capítulo 6) o por agitación con un émbolo u otra técnica adecuada. La recirculación producida por el uso de la técnica de chorro aumenta marcadamente la eficacia de tratamiento.

El tratamiento debe repetirse 3 ó 4 veces a fin de alcanzar cada parte de la formación que pueda estar afectada, y también puede alternarse con tratamiento con ácido, efectuándose primero este último.

### Agentes dispersantes

Los polifosfatos, o fosfatos hialinos como se les llama comúnmente, dispersan con efectividad el sedimento, arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso. Los materiales dispersos pueden extraerse fácilmente por medio de bombeo. Además, los polifosfatos son de manejo seguro. Se emplean mucho, por esta razón, para el tratamiento químico de los pozos.

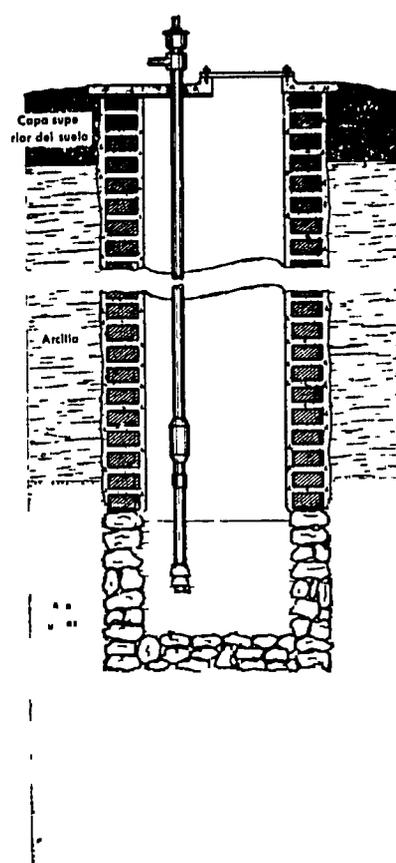


Figura 7.3 POZO CAVADO

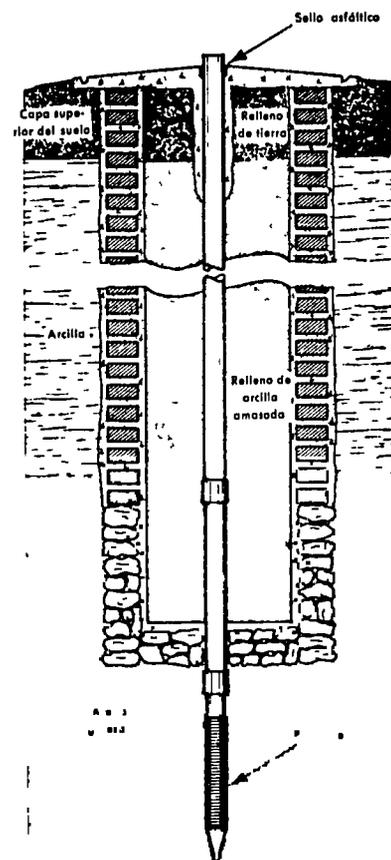


Figura 7.4 POZO CAVADO DE LA FIGURA 7.3 CONVERTIDO A POZO TUBULAR, MAS SEGURO Y MAS PRODUCTIVO, CON LA HINCA DE UNA PUNTA A MANERA DE REJILLA.

Para un buen tratamiento se agregan de 15 a 30 libras (6.8 a 13.6 kg) de polifosfato a cada 100 galones (378 lt) de agua en el pozo. De ordinario, se hace una solución suspendiendo una canasta de alambre o bolsa de arpillera conteniendo el polifosfato en un depósito de agua. Aproximadamen-

te, debe agregarse una libra (453 g) de hipoclorito de calcio para cada 100 galones (378 lt) de agua en el pozo a fin de facilitar la eliminación de las bacterias del hierro y sus lamas y, también, para propósitos de desinfección. Después de verter esta solución de fosfato e hipoclorito en el pozo, se emplea un émbolo o la técnica de chorro para agitar el agua en el pozo. La recirculación de la solución con el uso de la técnica de chorro de alta velocidad aumenta marcadamente la eficacia del tratamiento. Pueden emplearse dos o más tratamientos sucesivos para obtener mejores resultados.

### **INSTALACION DE LA PUNTA EN UN POZO CAVADO**

Los pozos cavados son agujeros o fosos cavados a mano o con máquinas herramientas en el suelo para captar la capa freática. Usualmente, son de 3 a 20 pies (0.9 a 6.1 m) de diámetro, de 10 a 40 pies (3.05 a 12.20 m) de profundidad y recubiertos con ladrillo, piedra, teja, madera para encubado o anillos de acero para evitar que se derrumben las paredes (Figura 7.3). Dependen enteramente de la infiltración natural desde la porción penetrada de las formaciones acuíferas para producir agua.

Este tipo de pozo se encuentra en desventaja por dos motivos cuando se compara con los tubulares del tipo ya descrito. En primer lugar, los pozos cavados son mucho más difíciles de mantener en estado sanitario. En segundo lugar, sus rendimientos son muy bajos, porque no penetran muy adentro de la formación acuífera ni pueden desarrollarse de manera simula: a los pozos provistos de rejilla.

De ordinario, los pozos cavados pueden volverse mucho más seguros y productivos al hincar puntas de pozo en la formación acuífera y, así, convertirse en pozos tubulares. Un pozo adecuadamente desarrollado con un tramo corto de 2" (51 mm) de rejilla del tipo de punta producirá generalmente agua a una velocidad mucho mayor de la que puede obtenerse con un pozo, cavado de varios pies de diámetro. El espacio anular entre el entubado del pozo provisto de punta y la pared del existente debe rellenarse con arcilla amasada u otro material adecuado. Deben observarse las precauciones sanitarias relativas a la terminación del extremo superior de un pozo (descritas en el Capítulo 4). Antes de rellenar, puede aplicarse cemento a la pared del pozo existente. Un pozo cavado convertido se ilustra en la Figura 7.4.

## CAPITULO 8

### EQUIPO 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 cantidad suficiente donde se desea usarla. Generalmente, los pozos pequeños se utilizan para suministrar agua a una casa, un grupo de casas u otros consumidores de escasas necesidades, como una pequeña fábrica. Generalmente, se requiere el agua para usarla a alturas algo mayores que la del pozo y, a menudo, a distancia apreciable del mismo. Por lo tanto, debe encontrarse algún medio de elevarla desde la fuente y forzarla a través de un tubo, a velocidades adecuadas, hasta los puntos y alturas de empleo. La excepción a esta aseveración general es el caso de pozo de flujo artesiano, que tiene una descarga suficiente a presión adecuada, para satisfacer las demandas limitadas de una o varias casas pequeñas sin ninguna ayuda externa. Sin embargo, generalmente se necesita ayuda, y ésta se recibe bajo la forma de una bomba apropiada. Es importante que la bomba sea adecuada, seleccionada sobre la base de la demanda que debe satisfacer y la capacidad del pozo para producir agua. No puede ni debe ser cualquier bomba, ya que, en tal caso no es probable que se cubran las necesidades. La selección de la bomba se examina más adelante en este capítulo.

Las bombas no desarrollan energía por sí solas. Debe proveerse alguna fuente externa de energía para accionar una bomba y lograr que eleve y fuerce el agua desde un punto hasta otro. La fuente de energía puede ser el hombre, que usa su mano para accionar una palanca hacia arriba y hacia abajo o hacia delante y hacia atrás, o que hace girar una rueda conectada a la bomba. En este caso, se dice que la bomba está accionada manualmente o a mano. La fuente de energía también puede ser un molino de viento, un motor eléctrico, o una máquina que quema un combustible tal como gasolina o combustible diesel. Un error muy común consiste en no poder distinguir entre una bomba y su fuerza motriz impulsora, particularmente cuando esta fuerza es una máquina o motor acoplado directamente a la bomba. Debe tenerse cuidado de evitar esto, ya que los problemas de bombas, máquinas y motores son muy diferentes y requieren distintos métodos para su resolución.

La acción de la mayoría de las bombas se puede dividir en dos partes. La primera es la elevación del agua desde cierto nivel bajo hasta la toma de la bomba o su lado de succión. La segunda se refiere a la presión aplicada al agua en la bomba para impulsarla hacia su destino.

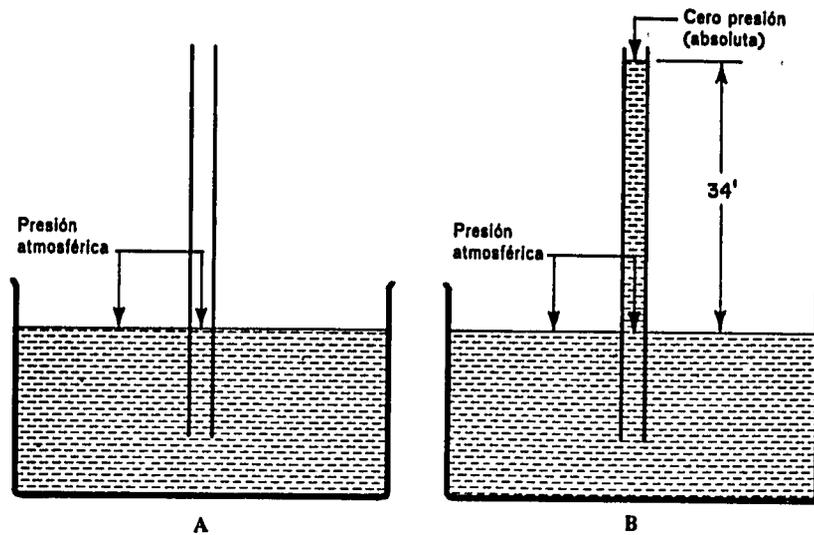


Figura 8.1 A.—PRESION ATMOSFERICA EN TODOS LOS PUNTOS. NO HAY DIFERENCIA EN LOS NIVELES DE AGUA. B.—PRESION EN EL TUBO REDUCIDA A CERO ATMOSFERAS (VACIO TOTAL). EL NIVEL DEL AGUA EN EL TUBO SE ELEVA, APROXIMADAMENTE, A 34 PIES (10.33 m).

*Altura de succión (o aspiración)*: Considérese un tubo con sus extremos abiertos, que se encuentra suspendido verticalmente en un recipiente grande de agua (Figura 8.1 A). Como el agua, tanto dentro como fuera del tubo, se encuentra expuesta a la atmósfera, la única fuerza externa que actúa sobre ambas superficies es la debida a la presión atmosférica. Siendo la presión en la superficie del agua igual dentro y fuera del tubo, no habrá diferencia en los niveles del agua (suponiendo un tubo suficientemente amplio en que puedan despreciarse las fuerzas capilares). Sin embargo, si la presión sobre la superficie del agua dentro del tubo se reduce por debajo de la presión atmosférica, mientras que en el exterior del tubo permanece a la presión atmosférica, el agua se elevará en el tubo hasta que el peso de la columna de agua dentro de éste ejerza una presión igual a la diferencia original de presión en las superficies del agua dentro y fuera del tubo. La altura máxima a la cual se elevará esta columna se presenta cuando la presión sobre la superficie del agua dentro del tubo se reduce a cero atmósferas (absolutas). Entonces, la columna de agua ejercerá una presión descendente igual a la presión atmosférica (Figura 8.1 B). La presión atmosférica al nivel del mar es, aproximadamente, equivalente a una columna de agua de 34 pies (10.33 m) y esta es la elevación a la cual subirá el agua dentro del tubo. La presión atmosférica disminuye al aumentar la altitud o altura sobre el nivel del mar. Asimismo, la altura máxima a la cual puede hacerse subir la columna de agua también disminuye cuando aumenta la altitud.

El término *succión (o aspiración)* se emplea para describir la cantidad

en la cual se reduce la presión en el tubo por debajo de la atmosférica. Puede aplicarse succión al tubo accionando una bomba conectada en su extremo superior. El nivel a que se eleva el agua dentro del tubo por encima de la superficie en el recipiente grande se denomina *altura de succión*. Una bomba, a fin de bombear agua, debe ser capaz de crear suficiente succión para elevarla en el tubo hasta el nivel del extremo de succión de la bomba. En la Figura 8.2, el entubado del pozo representa el recipiente más grande mientras que el conducto de succión de la bomba ocupa el lugar del tubo. Nótese que la elevación del agua en la tubería de succión debe estar acompañada por una disminución del nivel del agua en el entubado del pozo.

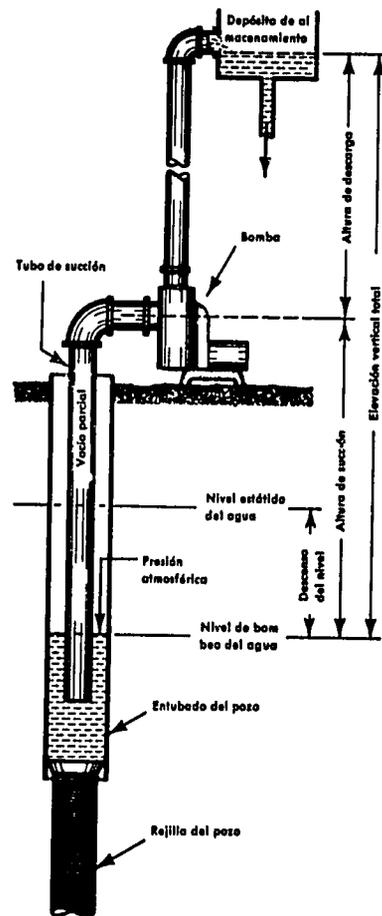


Figura 8.2 PRINCIPIOS DE BOMBEO DE UN POZO.

El nivel del agua dentro del entubado y el tubo de succión antes de que la bomba desarrolle la altura de succión se llama *nivel estático del agua*. El nivel en el entubado del pozo durante el bombeo es el *nivel de bombeo del agua*.

Entonces, en teoría, una bomba al crear la presión cero (absoluta) o un vacío total dentro de su tubería de succión debe ser capaz de desarrollar una altura de succión de, aproximadamente, 34 pies (10.33 m) de agua al nivel del mar y algo menos en altitudes mayores. Sin embargo, en la práctica esto no se logra, ya que las bombas no son 100 por ciento eficaces y otros factores tales como la temperatura del agua y la fricción o resistencia al flujo en la tubería de succión reducen la altura de succión. Al nivel del mar, de ordinario, las bombas mejor diseñadas desarrollan una altura de succión de, aproximadamente, 25 pies (7.6 m) mientras que la altura de succión de una bomba promedio varía entre 15 y 18 pies (4.5 a 5.5 m) aproximadamente. Si es necesario elevar agua de un pozo

desde un nivel situado a 25 pies (7.6 m) o más bajo la superficie del suelo, debe encontrarse algún medio para bajar la bomba dentro del pozo y, ya sea sumergiéndola completamente en el agua o llevándola bastante cerca de la superficie del líquido, permitir que desarrolle la altura de succión de ésta.

Esta altura límite de succión se emplea para clasificar las bombas en tipos para superficie, o bombas para pozos poco profundos, y bombas para pozos profundos. Las *bombas del tipo de superficie* son aquellas que se instalan en la superficie del suelo o sobre él y están limitadas a elevar agua por succión desde una profundidad generalmente no mayor de 25 pies (7.6 m) aproximadamente, bajo la superficie del suelo. Las *bombas de pozo profundo* son las que se instalan dentro del pozo y se emplean para extraer agua desde profundidades generalmente mayores de 25 pies (7.6 m) 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* y de *desplazamiento variable*.

## **BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO CONSTANTE**

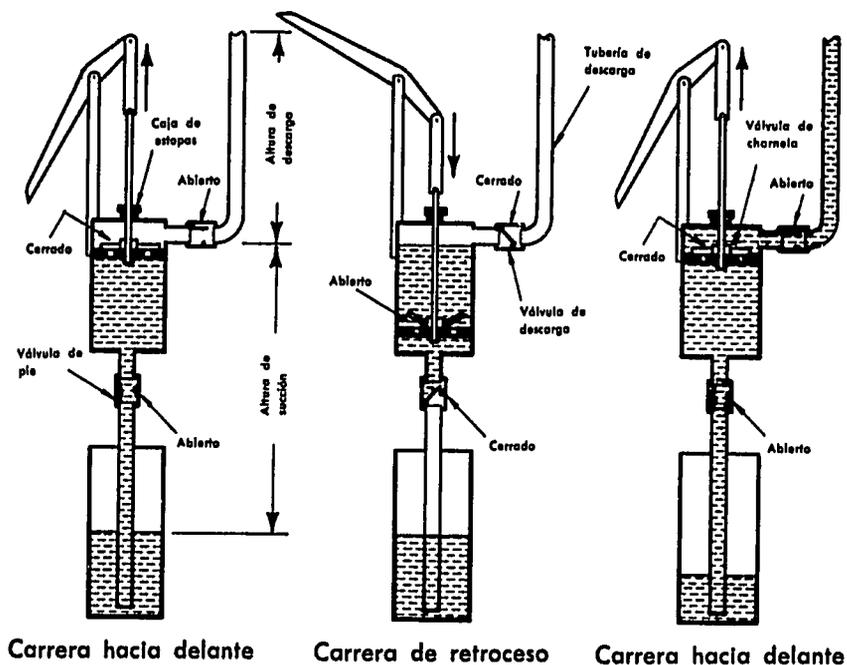
Las bombas de desplazamiento constante están diseñadas para descargar más o menos una cantidad constante de agua sin tomar en cuenta la carga de presión contra la que se encuentran operando. Es decir, la velocidad de descarga es esencialmente la misma a presiones bajas o altas. Sin embargo, la energía de entrada o fuerza impulsora varía directamente en proporción a la presión en el sistema y debe duplicarse si la presión se duplica. Existen tres diseños principales de este tipo de bomba que se emplean comúnmente en los pozos de agua. Estos son: bombas de *émbolo de movimiento alterno*, bombas *rotatorias* y bombas de *rotor helicoidal*.

### **Bombas de émbolo de movimiento alterno**

Las bombas de émbolo de movimiento alterno, el tipo más común de bomba de desplazamiento constante, utilizan el movimiento ascendente y descendente, o hacia adelante y hacia atrás (alterno) de un émbolo para desplazar el agua en un cilindro. El flujo dentro y fuera del cilindro se controla por medio de válvulas. Los principios y etapas fundamentales del funcionamiento de una bomba de émbolo de simple acción están ilustrados en la Figura 8.3. El émbolo en la carrera hacia delante impulsa el agua desde el cilindro a través de la válvula de descarga abierta en el tubo de descarga mientras que al mismo tiempo se crea una succión debajo de ésta que abre la válvula de pie y permite que fluya el agua a través de la tubería de succión en el cilindro. La carrera de retroceso crea una presión detrás del émbolo en el cilindro, cerrando así la válvula de pie y abriendo las válvulas de charnela en el émbolo para permitir el paso del agua a

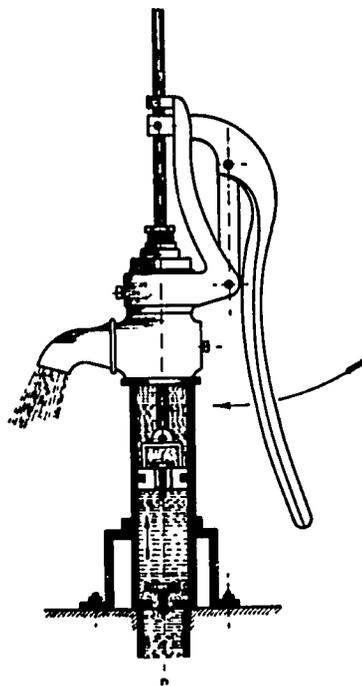
través del lado de descarga del émbolo. La repetición continua de las carreras hacia delante y de retroceso del émbolo da por resultado un flujo permanente de agua hacia fuera de la tubería de descarga. La magnitud de la presión desarrollada por una bomba de este tipo depende de la energía aplicada al funcionamiento del émbolo. Estas bombas se fabrican en los tipos de superficie (Figura 8.4) y para pozo profundo (Figura 8.5) y pueden operarse manual o mecánicamente. Una bomba de émbolo del tipo de superficie, operada manualmente, se conoce comúnmente como bomba de jarro.

El principio básico de la bomba de émbolo de simple acción se puede modificar para que se bombee el agua en las carreras hacia delante y de retroceso. Las bombas así modificadas se conocen como bombas de émbolo de doble acción. Otras modificaciones implican el uso de dos o más émbolos, de manera que se bombea una corriente continua de agua con pulsación mínima contra altas presiones.

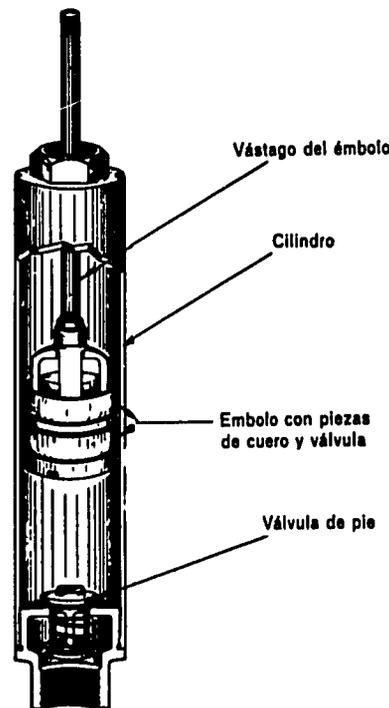


**Figura 8.3 PRINCIPIOS DE UNA BOMBA DE EMBOLO DE MOVIMIENTO ALTERNO DE SIMPLE ACCION.** (Adaptado de la Figura 38, *Water Supply for rural areas and small communities*. Serie de monografías de la Organización Mundial de la Salud, Núm. 42, 1959.)

El ritmo o velocidad de descarga de las bombas de émbolo de movimiento alterno se determina multiplicando el volumen del agua desplazada en el cilindro en cada carrera por el número de movimientos del émbolo en un tiempo dado. De esta manera, la velocidad de descarga puede cambiarse dentro de amplios límites modificando la velocidad del émbolo. Solamente cuando interviene un deslizamiento (movimiento del agua hacia atrás entre el émbolo y las paredes del cilindro) por un movimiento demasiado rápido del émbolo se alcanza el límite de capacidad. Esto, por supuesto, requiere un suministro adecuado de energía. Por lo tanto, puede haber gran flexibilidad en el uso de este tipo de bomba para satisfacer demandas variables de agua. Otras ventajas son su costo inicial bajo, construcción robusta y facilidad de mantenimiento, el que normalmente se concreta a la reposición de las arandelas del émbolo.

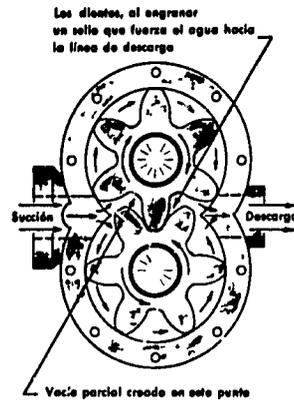


**Figura 8.4 BOMBA DE EMBOLO DE TIPO DE SUPERFICIE ACCIONADA MANUALMENTE.** (De la Figura 39, *Water supply for rural areas and small communities*, Serie de Monografías de la OMS No. 42, 1959).



**Figura 8.5 BOMBA DE EMBOLO DE SIMPLE ACCION PARA POZO PROFUNDO.**

### Bombas rotatorias



**Figura 8.6 BOMBA ROTATORIA DE ENGRANES.** (Adaptado de la Figura 111, *Wells, Manual Técnico TM5-297, 1957, del Departamento del Ejército*).

limpia, exenta de arena o arcilla, ya que estos materiales pueden causar un desgaste considerable en los dientes de los engranes ajustados con precisión.

Las bombas semi rotatorias accionadas a mano del tipo de doble o cuádruple acción se emplean comúnmente en sistemas individuales de abastecimiento de agua en zonas rurales para escasas elevaciones del agua desde los pozos hacia los depósitos elevados. La Figura 8.7 ilustra la operación de una bomba semi rotatoria ordinaria de doble acción. Estas bombas solamente son capaces de proporcionar alturas de succión muy pequeñas cuando no están equipadas con válvulas de pie. Sin embargo, cuando están provistas de dichas válvulas, pueden funcionar con alturas de succión hasta de 20 pies (6 m).

### Bombas de rotor helicoidal

La bomba de rotor helicoidal o de tipo de espiral es una modificación de la bomba de desplazamiento constante de tipo rotatorio. Sus elementos principales son el rotor o espiras de metal altamente pulido en forma de un gusano helicoidal de simple entrada y el estator exterior hecho de caucho. Las montaduras flexibles permiten al rotor girar excentricamente dentro del estator, presionando una corriente continua de agua hacia adelante a lo largo de las cavidades del estator. El agua también actúa como un lubricante entre los dos elementos de la bomba. Las bombas de rotor helicoidal pueden ser, indistintamente, del tipo de superficie o de pozo profundo, y se impulsan, generalmente, por medio de máquinas o motores eléctricos. La Figura 8.8 ilustra una bomba de rotor helicoidal de pozo profundo.

Las bombas rotatorias usan generalmente un sistema rotatorio de engranes (Figura 8.6) o álabes, para crear una succión en sus lados de entrada y forzar una corriente continua de agua fuera de sus aberturas de descarga. De ordinario, son bombas del tipo de superficie con capacidades gobernadas por la velocidad y anchura de los dientes de los engranes y, cuando se usan en pozos, limitadas por su altura de succión. Las bombas de engranes están diseñadas para operar a baja velocidad y para el bombeo de agua

## BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO VARIABLE

La característica de las bombas de desplazamiento variable es la relación inversa entre sus velocidades de descarga y la carga de presión contra la cual funcionan. Es decir, el régimen de bombeo disminuye al aumentar la carga de presión. Lo contrario también es cierto, el régimen de bombeo aumenta cuando disminuye la carga de presión. Los dos tipos principales de bomba de desplazamiento variable empleadas en los pozos pequeños, son las *centrifugas* y las de *chorro*.

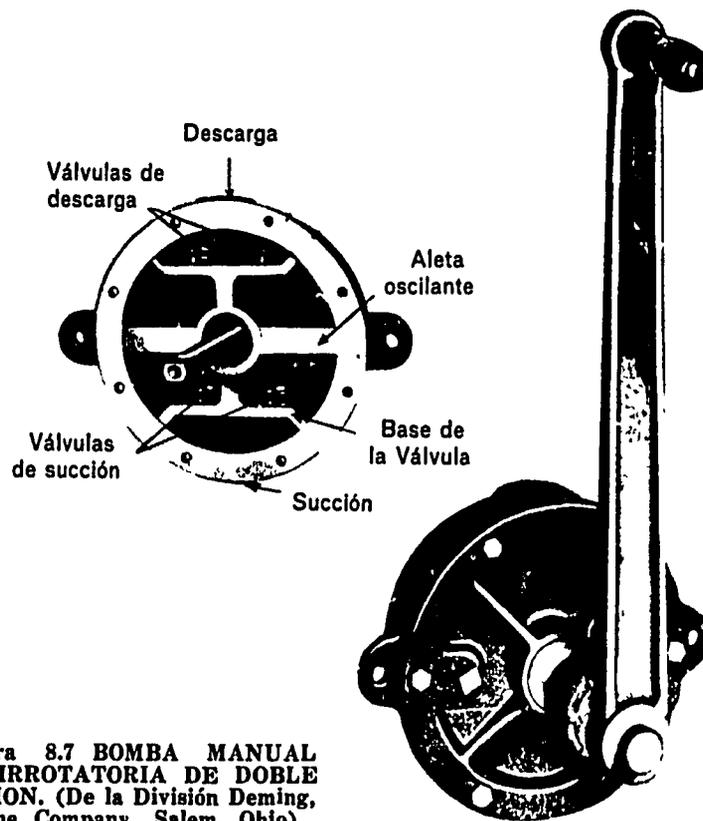
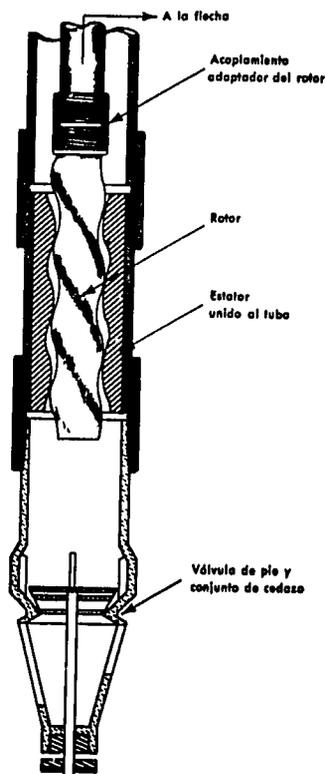


Figura 8.7 BOMBA MANUAL SEMIRROTATORIA DE DOBLE ACCION. (De la División Deming, Crane Company, Salem, Ohio)

### Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas son los tipos más comunes en uso general. Los principios básicos de su funcionamiento se pueden ilustrar considerando el efecto de un balde oscilante de agua, alrededor de un círculo, al extremo de una cuerda. La fuerza que hace que el agua presione hacia fuera contra el fondo del cubo, en vez de correr hacia el extremo abierto, se conoce como

fuerza centrífuga. Si se corta un agujero en el fondo del cubo, el agua se descargará a través de la abertura con una velocidad determinada por la fuerza centrífuga. Además, si se conecta una tubería de admisión a una cubierta hermética, en el cubo, debe crearse un vacío parcial dentro de aquél al descargarse el agua. Este vacío puede arrastrar una cantidad adicional de agua, dentro del cubo, desde un depósito colocado en el otro extremo de la tubería de admisión, dentro del límite de la altura de succión creada por el vacío. Así podría mantenerse un flujo continuo, de una



**Figura 8.8 BOMBA DE ROTOR HELICOIDAL PARA POZO PROFUNDO.**

cada vez 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 caracol y turbina. El diseño de caracol se usa muy 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. Sin embargo, las bombas centrífugas de pozo profundo son de diseño tipo turbina, el cual

manera similar a la de una bomba centrífuga. El cubo y la cubierta corresponden a la envolvente de la bomba, el agujero de descarga y la tubería de admisión corresponden a la descarga y admisión de la bomba, respectivamente, mientras que la cuerda y el brazo cumplen las funciones del impulsor de la bomba.

Las bombas centrífugas empleadas en pozos pequeños pueden subdividirse en dos tipos principales basados en sus características de diseño. Estas son, bombas con cuerpo de *caracol* y *turbina* y bombas de difusor. Los impulsores de las primeras están alojados en envolventes en forma de espiral (Figura 8.9), en las cuales se reduce la velocidad del agua al salir del impulsor, con un aumento resultante en la presión. En las bombas de turbina, los impulsores están rodeados por álabes difusores (Figura 8.10).

Estos álabes proporcionan pasajes

está mejor adaptado para usarse donde debe limitarse el diámetro de la bomba; en este caso, por el de la envolvente del pozo.

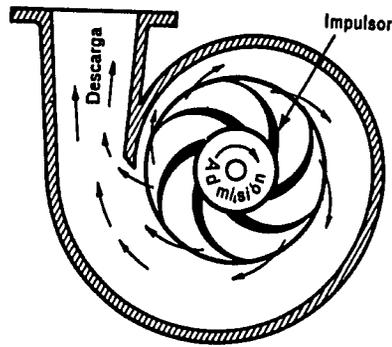


Figura 8.9 BOMBA CENTRÍFUGA CON CUERPO DE CARACOL.

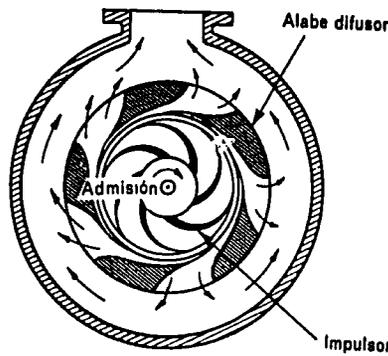


Figura 8.10 BOMBA CENTRÍFUGA DE TURBINA MOSTRANDO LOS ALABES DIFUSORES CARACTERÍSTICOS.

El comportamiento de una bomba centrífuga depende grandemente del diseño de su impulsor. Por ejemplo, la descarga de la bomba con una carga dada puede aumentarse agrandando el diámetro de la abertura de entrada y la anchura del impulsor. También se acostumbra usar un gran número de álabes de guía (hasta 12) en las bombas de turbina, cuando se desea una carga de presión más alta. El grado al cual puede aumentarse la carga de presión por un aumento en el número de álabes de guía es, sin embargo, limitado. Se logran incrementos más grandes por el uso de pesos múltiples, cada uno de los cuales contiene un impulsor. El diseño de pasos múltiples se emplea en las bombas de tipo de superficie y de pozo profundo, pero es particularmente común en las de pozo profundo diseñadas para emplearse cuando la altura es grande. Generalmente, la descarga de una bomba de paso múltiple es casi la misma que la de un solo paso de dicha bomba. La carga de presión desarrollada y el caballaje requerido para su operación sin embargo, aumentan en razón directa al número de pasos o impulsores. Por ejemplo, la carga de presión de una bomba de 4 pasos, uno de los cuales desarrolla una carga de 40 pies (12.2 m) de agua, sería  $4 \times 40$ , ó 160 pies (48.8 m) de agua. La Figura 8.11 muestra una sección transversal de una bomba de pozo profundo de tipo de turbina de tres pasos, la cual es, en efecto, igual que tres bombas acopladas en serie donde el flujo pasa de una a la siguiente y aumenta la carga con el trayecto a través de cada paso.

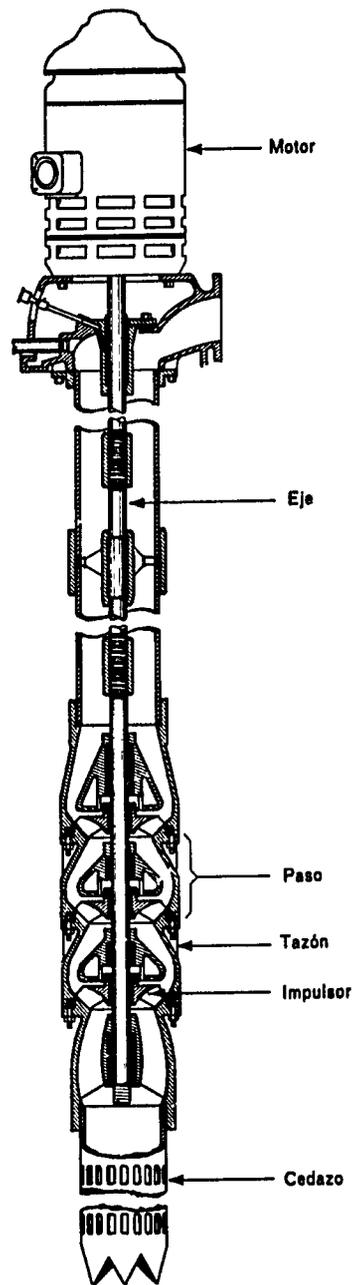


Figura 8.11 BOMBA DE TURBINA DE POZO PROFUNDO CON EJE MAESTRO DE TRES PASOS.

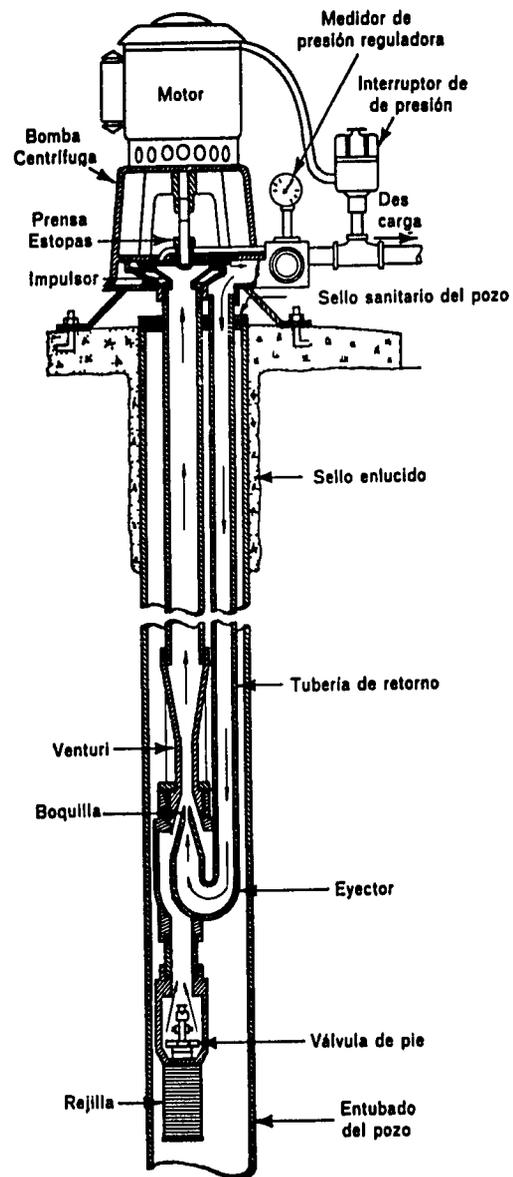


Figura 8.12 BOMBA DE CHORRO. (Adaptado de la Figura 13. *Manual of individual Water Supply Systems*, Publicación Núm. 24 del Servicio de Salud Pública, 1962)

## **Bombas de chorro**

En realidad, las bombas de inyección combinan las centrífugas y los eyectores para elevar el agua desde profundidades mayores, en los pozos, de lo que es posible empleando las bombas centrífugas del tipo de superficie por sí solas. Los componentes básicos de los eyectores son la boquilla y el tubo venturi mostrados en la Figura 8.12. Los principios de operación son como sigue: El agua bajo presión se descarga mediante la bomba centrífuga (montada al nivel del suelo) a través de la boquilla del eyector. El aumento súbito en la velocidad del agua al pasar a través de la boquilla ahusada causa una reducción en la presión al abandonar la boquilla y entrar al tubo venturi. Mientras más alta sea la velocidad del agua a través de la boquilla, mayor será la reducción de la presión en la entrada al tubo venturi. Por lo tanto, esta reducción en la presión puede hacerse suficientemente grande para crear un vacío parcial y, de esta manera, succionar el agua desde el pozo a través de la tubería de admisión del eyector y en el tubo venturi. El ensanchamiento gradual del tubo venturi reduce la velocidad con un mínimo de turbulencia en el flujo y, así, causa una recuperación de casi toda la presión del agua en su curso a través de la boquilla. La bomba centrífuga, entonces, recoge el flujo, enviando parte de él hacia la tubería de descarga y regresando el resto al 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 de bombeo.

La bomba centrífuga es el impulsor primario sin el cual el eyector no podría bombear agua. No pueden lograrse aumentos considerables en la carga de presión de la descarga ajustando el medidor regulador. Tales aumentos se obtienen con un mayor número de pesos en la bomba. Las condiciones de operación siempre deben ser tales que la boquilla del eyector esté cubierta, por lo menos, por 5 pies (1.5 m) de agua. Las bombas pequeñas de inyección, usualmente, están limitadas a descargas de, aproximadamente, 20 galones (75.70 lt) por minuto contra cargas totales de presión que no exceden de 150 pies (45.75 m), de los cuales la altura requerida bajo el suelo es, aproximadamente, de 100 pies (30 m) o menos.

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 de 2 pulgadas (5 cm) de diámetro, la accesibilidad de las partes móviles que están todas sobre la superficie del suelo, su simplicidad, el precio de compra relativamente bajo y el económico mantenimiento.

## **BOMBAS DE POZO PROFUNDO**

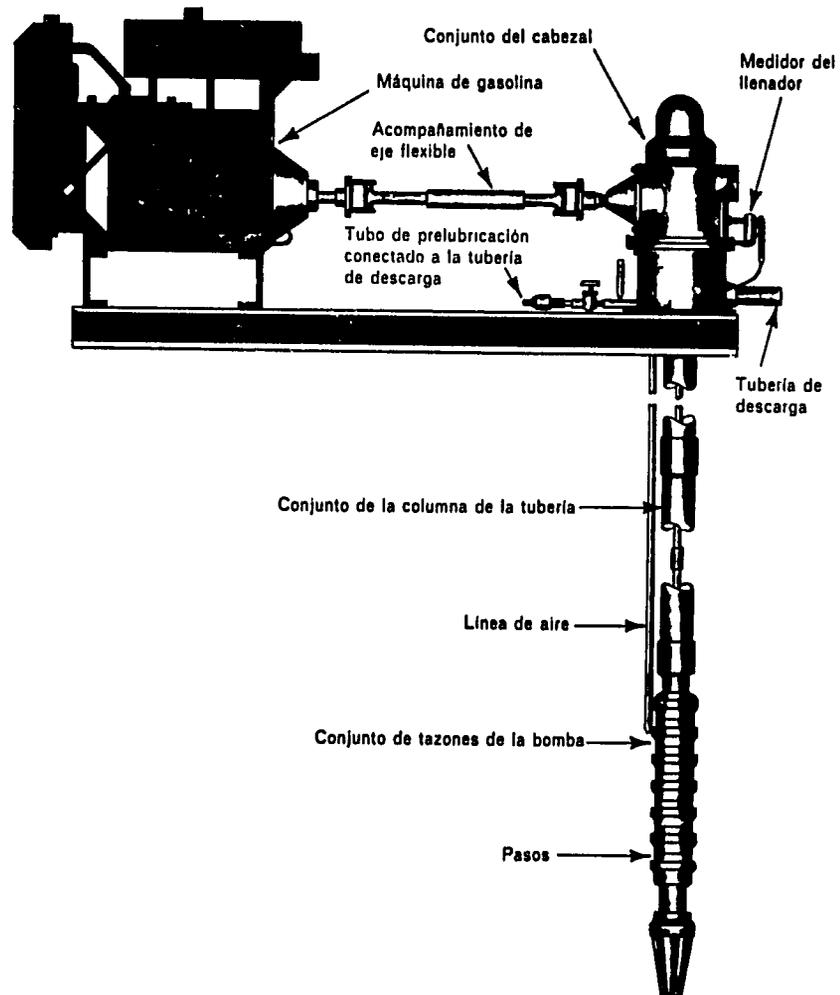
Las bombas de pozo profundo se definieron como las que se colocan dentro de los pozos y se emplean para elevar agua desde profundidades generalmente mayores de 25 pies (7.6 m) bajo la superficie del suelo. También se indicó que pueden ser de desplazamiento positivo (pistón y rotor helicoidal) y de desplazamiento variable (centrífugas y de chorro) por lo que respecta al diseño. Sin embargo, las bombas de pozo profundo se clasifican, además, según la posición de su fuente de energía. Si ésta está situada en 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 en el pozo, entonces la bomba se conoce como de *eje maestro* vertical. Las bombas de eje maestro pueden moverse indistintamente por medio de motores eléctricos acoplados directamente (Figura 8.11) o por máquinas o motores eléctricos a través de cabezales de transmisión a ángulo recto (Figura 8.13).

Sin embargo, cuando la fuente de energía (en este caso un motor eléctrico) está montada inmediatamente bajo la bomba y sumergida con ella en el agua, la máquina se denomina bomba *sumergible* (Figura 8.14). Las flechas en las bombas sumergibles solamente se extienden desde el motor hundido hasta el impulsor del extremo superior. No hay eje entre la bomba y la superficie del suelo, a diferencia de las bombas de eje maestro. Esta característica imparte a las bombas sumergibles una de sus más importantes ventajas sobre las de eje maestro.

### **Bombas de eje maestro**

Las bombas de eje maestro se han empleado durante varios años, precediendo a sus más recientes competidoras, las bombas sumergibles. La mayor parte de las fallas en las instalaciones de bombas, usualmente, surgen como un resultado de problemas en la fuente de energía. Las bombas de eje maestro, por tener sus fuentes de energía sobre el nivel del suelo y separadas de ella, hacen más fácil el acceso a estas fuentes de energía y las reparaciones son posibles sin sacar todo el conjunto de la bomba del pozo. También puede lograrse mayor flexibilidad por el empleo de un cabezal de transmisión a ángulo recto, al cual pueden acoplarse dos máquinas, dos motores eléctricos o una máquina y un motor eléctrico. Esta disposición permite el empleo de una fuente de energía de reserva y operar continuamente la bomba por medio de una fuente, mientras la otra se atiende o repara.

Sin embargo, las instalaciones de eje maestro deben encerrarse en casetas para bombas y, en parte como resultado de esto, usualmente son más costosas que las instalaciones de bombas sumergibles. Los ejes y los



**Figura 8.13 BOMBA DE TURDINA DE EJE MAESTRO PARA POZO PROFUNDO IMPULSADA CON UNA MAQUINA. (Adaptado de la Figura 116, Wells, Manual Técnico TM5-297, del Departamento del Ejército, 1957)**

cojinetes de las bombas de eje maestro también incluyen muchas más partes móviles, las cuales están sujetas al desgaste normal, acelerado por la corrosión y las partículas abrasivas de arena.

## Bombas sumergibles

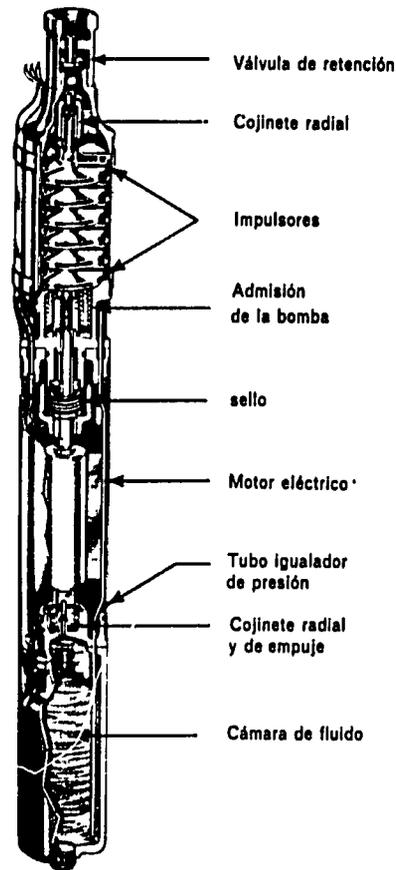


Figura 8.14 VISTA EN CORTE DE UNA BOMBA SUMERGIBLE. (De F. E. Myers & Bro. Company, Ashland, Ohio).

retirarse para efectuar reparaciones y atender éste. Sin embargo, la necesidad de hacerlo es muy poco frecuente.

### CEBADO DE BOMBAS

*Cebado* es el nombre que se da al proceso por el cual se introduce agua en una bomba a fin de desalojar el aire atrapado en ella y su tubo de succión durante los períodos de reposo. En otras palabras, el cebado produce una masa continua de agua desde la abertura de admisión del impulsor de la bomba, hacia abajo, a través del tubo de succión. Sin esta masa continua de agua, una bomba centrífuga no extrae agua aunque se haga funcionar el motor. Las bombas del tipo de desplazamiento positivo

Las bombas sumergibles, aunque han sido construidas durante los pasados 50 años, sólo se han usado extensamente los últimos 15 años. Su mayor utilización coincidió con los mejoramientos del diseño en los motores sumergibles, los cables eléctricos y los sellos a prueba de agua. Estas mejoras hacen posible lograr eficiencias comparables con las obtenidas de las bombas de eje maestro, y largos períodos de operación sin problemas. La eliminación del largo eje de impulsión (y de 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 de un pozo. El empleo de bombas sumergibles también produce economías en los costos de instalación, ya que, usualmente, no se requieren casetas para bombas. La operación del motor a una profundidad de varios pies, en el pozo, también reduce considerablemente los niveles de ruido. Sin embargo, toda la bomba y el motor deben re-

son menos afectadas y sólo requieren el cebado necesario para sellar las fugas en los pistones, válvulas y otras partes móviles.

Los muchos mecanismos y procedimientos empleados en la obtención y el mantenimiento del cebado en las bombas, generalmente, comprenden uno o una combinación de los siguientes factores: (1) una válvula de pie para retener el agua en la bomba durante los períodos de interrupción, (2) una ventila para permitir el escape del aire atrapado, (3) una bomba auxiliar u otro mecanismo (tubo desde un tanque elevado) para llenar la bomba con agua, (4) el uso de un tipo de construcción autocebante en la bomba. Usualmente, las bombas autocebantes tienen una cámara auxiliar integrada en su estructura, de tal manera que el aire atrapado es expulsado cuando la bomba hace circular el agua del cebado.

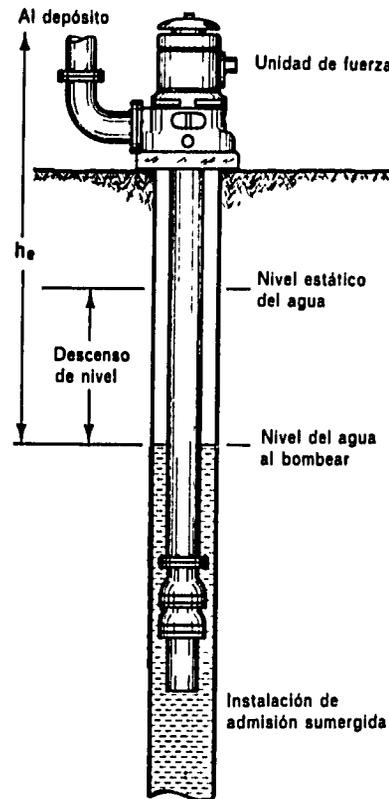
### **SELECCION DE LA BOMBA**

La selección adecuada de una bomba para su instalación en un pozo comprende la consideración de varios factores. La exposición siguiente presenta algunos de los más importantes de ellos y, particularmente, aquellos que más frecuentemente se pasan por alto y es necesario hacer destacar.

El primer factor que debe considerarse debe ser, necesariamente, el rendimiento de un pozo. Pese a lo evidente que parece, es un hecho que a menudo se desatiende en la selección de la bomba para pozos pequeños. No es posible extraer más agua de un pozo que la cantidad determinada por su rendimiento máximo. Por lo tanto, es temerario escoger una bomba cuya capacidad de descarga sea más grande que lo que rendirá el pozo. Usualmente, los rendimientos máximos de un pozo se determinan por medio de pruebas de bombeo. Para pozos pequeños, las pruebas de bombeo no necesitan comprender más que el bombeo de los mismos a un régimen específico, o a una serie de ellos, por un período de tiempo mayor que los requerimientos probables de servicio. Entonces, los registros de la prueba pueden usarse para determinar la capacidad específica.

Con el conocimiento de la capacidad específica y las demandas estimadas de agua, se puede seleccionar después el régimen de bombeo adecuado tomando en consideración la provisión de almacenamiento. Se puede considerar la posibilidad de varias horas de capacidad de almacenamiento y un alto régimen de bombeo a fin de mantener el número de horas de funcionamiento tan bajo como sea posible. Deben pesarse las ventajas de hacer esto, o bien emplear un régimen de bombeo más bajo durante mayor número de horas de operación y la provisión de una capacidad de almacenamiento menor. La disponibilidad de energía eléctrica solamente por períodos limitados del día o la noche también influiría en la decisión. Habiendo escogido un régimen de bombeo, puede estimarse el descenso de nivel en el pozo para ese régimen dividiéndolo por la capacidad específica de aquél. Por ejemplo, un régimen de bombeo de 30 gpm (113.55 litros por minuto) en un pozo con una capacidad específica de 5 galones por minuto por pie, crearía un descenso de nivel de 30 dividido por 5, o sea,

6 pies (1.83 m). Agregando el descenso a la profundidad del nivel estático del agua bajo la superficie de ésta se obtiene la profundidad al nivel esperado de bombeo del agua. Entonces, se usa esta profundidad al nivel de bombeo del agua para escoger entre una bomba de tipo de superficie y una de pozo profundo. Al hacer esto, debe recordarse que las variaciones estacionales de la capa freática, el bombeo prolongado y la interferencia de otros pozos, pueden producir la disminución del nivel de bombeo del agua. Por lo tanto, deben hacerse concesiones donde es probable que



**Figura 8.15 LA CARGA TOTAL DE BOMBEO DE LA BOMBA DE UN POZO DE AGUA INCLUYE LA ALTURA VERTICAL,  $h_e$ , MAS LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA,  $h_f$ , Y LA CARGA DE VELOCIDAD (usualmente puede despreciarse).**

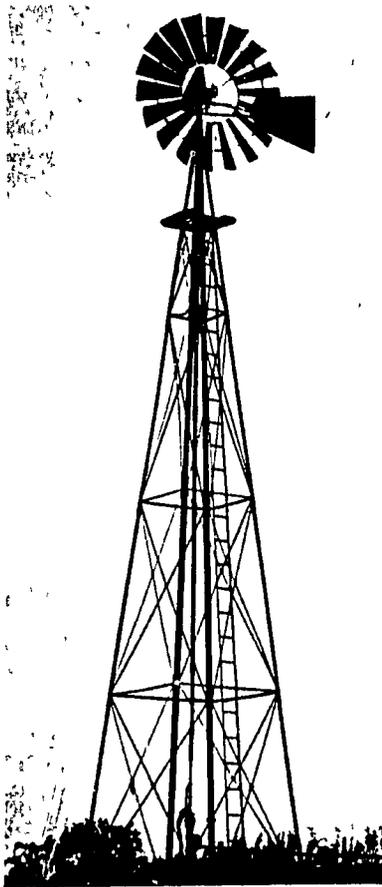
que emplean pozos pequeños. La altura vertical total,  $h_e$ , incluye la altura de succión y la carga de entrega o carga sobre el impulsor de la bomba cuando se usa una máquina del tipo de superficie (Figura 8.2). Las pérdi-

ocurran tales posibilidades. El uso de bombas de pozo profundo estaría indicado donde la profundidad al nivel de bombeo del agua fuera de 25 pies (7.62 m) o más, y el pozo fuese suficientemente profundo y de diámetro bastante grande para alojar una bomba apropiada. De lo contrario, se usarían bombas de tipo de superficie con regímenes limitados de bombeo, si fuera necesario.

El siguiente paso lógico es la estimación de la carga total de bombeo, la cual, con el régimen correspondiente, determina la capacidad de la bomba seleccionada. Entonces, puede estimarse la carga total de bombeo,  $h_t$ , agregando la altura total vertical,  $h_e$ , del nivel de bombeo del agua al punto de entrega del líquido (Figura 8.15) y las pérdidas totales por fricción,  $h_f$ , que ocurren en la tubería de succión y descarga. Esta estimación desdeña la carga por velocidad o carga requerida para producir el flujo a través del sistema, ya que puede esperarse que ésta sea despreciable en la mayoría de las instalaciones

das totales por fricción,  $h_f$ , pueden estimarse utilizando la Tabla B.10 en el Apéndice B.

Se puede consultar a los fabricantes de bombas o a sus agentes sobre la selección de una bomba adecuada para satisfacer la capacidad de bombeo estimada y las condiciones de succión, cuando sea posible. Algunos otros factores afectarían la selección final. Entre éstos se encuentran el precio de compra y el costo de operación de la bomba; la magnitud del mantenimiento requerido y la confiabilidad en el servicio disponible para ello; la posibilidad de obtener piezas de repuesto; la facilidad con que pueden efectuarse las reparaciones; las características sanitarias de la bomba, y la conveniencia de la regularización en el uso de un determinado tipo y fabricación de bomba a fin de reducir la diversidad de piezas de repuesto.



**Figura 8.16 MOLINO DE VIENTO**  
(También es posible la operación manual de la bomba)

En la Tabla 8.1 se proporciona una guía para la selección de bombas. En ella se resumen las condiciones en que deben usarse los distintos tipos de bombas discutidos en este capítulo, normalmente, y las ventajas y desventajas de cada una. Debe hacerse notar que la tabla está preparada para usarse sólo como una guía general para la selección de bombas.

#### **SELECCION DE LA FUENTE DE ENERGIA**

A menudo, el costo de la energía puede constituir un factor principal en el precio del bombeo. En vista de que los recursos económicos suelen ser limitados para aquellas personas y comunidades que usan pozos pequeños, es muy importante considerar cuidadosamente la selección de la fuente de energía. En muchos casos, el tipo de energía disponible será el factor determinante en el diseño de una pequeña instalación de bombeo. Normalmente, se puede escoger entre cuatro tipos de ella para operar bombas en pozos pequeños. Estos son: la

energía humana, el viento, los motores eléctricos y las máquinas de combustión interna.

### **Energía humana**

En muchos lugares, la energía humana no solamente es una fuente barata, sino, algunas veces, la única disponible para operar bombas en los pozos. Es, por supuesto, la fuente de energía más antigua que se conoce. Su empleo está adaptado a los sistemas individuales de abastecimiento de agua con demandas pequeñas, intermitentes. Algunas veces, se provee un depósito elevado para mantener un suministro continuo. Normalmente, la utilización de la energía humana estaría restringida a regímenes de bombeo que no exceden de 10 gpm, aproximadamente, y alturas de succión no mayores de 20 pies, más o menos. Las bombas manuales sometidas al uso reiterado del público en general, a menudo, pueden tener problemas de mantenimiento fuera de lo normal debido a la rotura de la palanca de mano y el cilindro, y al desgaste excesivo de la pared interior de éste, particularmente cuando el agua contiene arena. En tales condiciones, deben usarse los tipos más robustos de bombas. Los fabricantes han estado experimentando con varios tipos de metales en la construcción de las palancas, cilindros y sus forros a fin de reducir los problemas de mantenimiento.

### **Viento**

El viento es otra fuente de energía muy barata, que merece consideración cuidadosa en los sistemas individuales y de comunidades pequeñas para el abastecimiento de agua. Usualmente, los molinos de viento (Figura 8.16) requieren de vientos a velocidades sostenidas de más de 5 millas (8045 m) por hora. Normalmente, se emplean torres para elevar los molinos de viento de 15 a 20 pies (45 a 60 m) sobre los obstáculos circundantes a fin de proveer una zona de libre circulación del viento hacia los molinos. Usualmente, éstos impulsan bombas de movimiento alterno a través de una conexión de la barra de la bomba, desde el molino hasta la biela del émbolo de la bomba. También se debe estar preparado para bombear a mano durante los largos períodos de calma relativa. Es recomendable habilitar un depósito elevado adecuado para mantener el suministro de agua durante los períodos en que el aire es insuficiente. Normalmente, los molinos de viento se fabrican en tamaños que se expresan en términos de los diámetros de sus ruedas. Cuando se ordena uno de ellos a los constructores, deben proporcionarse información sobre el promedio de velocidad del viento, además de la capacidad requerida y otros datos pertinentes sobre la bomba. Usualmente, los costos de operación y mantenimiento de los molinos de viento son muy insignificantes e influyen grandemente para su utilización en las comunidades cuyos recursos económicos son inadecuados para operar y mantener bombas impulsadas a motor o máquina.

**Electricidad**

La electricidad, cuando se dispone de ella desde una central generadora a costo razonable, se prefiere sobre otras fuentes de energía. Sin embargo, sería insensato instalar generadores eléctricos simplemente para hacer funcionar una bomba pequeña. La gran ventaja de la electricidad es que puede usarse para suministrar un abastecimiento continuo de agua automáticamente controlado. La fuente de energía debe ser confiable y no estar sujeta a variaciones significativas de voltaje. Usualmente, los pequeños motores eléctricos son de bajo costo inicial, requieren poco mantenimiento y su operación es económica.

**Máquinas de combustión interna**

Las máquinas de combustión interna (gasolina, diesel o kerosina) se utilizan con frecuencia cuando no se dispone de energía eléctrica y los vientos son infrecuentes o inadecuados para satisfacer las demandas del abastecimiento de agua. Las máquinas diesel, aunque usualmente más costosas, son, generalmente, las mejores desde el punto de vista de operación y mantenimiento. Las máquinas de combustión interna requieren más mantenimiento que los motores eléctricos y deben estar, siempre, atendidas por un operador. El buen servicio se obtiene con un programa de mantenimiento sistemático y constante, y si se dispone continuamente de piezas de repuesto.

TABLA 8.1—GUIA PARA LA SELECCION DE BOMBAS

(Adaptada de la Tabla 7.—Información sobre bombas. Manual de sistemas individuales de abastecimiento de agua, Departamento de Salud, Educación y Bienestar de los Estados Unidos de América, Publicación Núm. 24 del Servicio de Salud Pública, Revisado en 1962).

Tipo de bomba	Altura práctica de aspiración* (pies)	Profundidad usual de bombas (pies)	Cargas usuales de presión (pies de agua)	Ventajas	Desventajas	Observaciones
De movimiento alterno 1.—De superficie 2.—De pozo profundo.	22-25 22-26	22-25 >25	50-200 Hasta 100 sobre el cilindro	1.—Acción positiva 2.—Descarga constante bajo cargas de presión variables 3.—Gran flexibilidad para satisfacer demandas variables 4.—Bomba agua que contiene arena y limo 5.—Especialmente adaptada para baja capacidad y grandes alturas	1.—Descarga pulsante 2.—Sujeta a vibración y ruido 3.—Los gastos de conservación pueden ser altos 4.—Puede causar presión destructora si funciona contra una válvula cerrada	1.—Más apropiada para capacidades de 5-25 galones por minuto contra cargas de presión moderadas o altas 2.—Adaptable para operación manual.
Rotativa: 1.—De superficie (engrane o álabe).	22	22	50-250	1.—Acción positiva 2.—Descarga constante bajo cargas de presión variables 3.—Funcionamiento eficiente	1.—Sujeta a desgaste rápido si el agua contiene arena o limo 2.—El desgaste de los engranes reduce la eficacia	1.—Más apropiada para trabajar a baja velocidad. 2.—Tipo semirotativo adaptable para operación manual
2.—De pozo profundo (rotor helicoidal)	Generalmente sumergida	>25	100-500	1.—Las mismas que la rotativa de tipo de superficie. 2.—Sólo hay una parte móvil de la bomba dentro del pozo.	1.—Sujeta a desgaste rápido si el agua contiene arena o limo	1.—Un estator de caucho de una sola pieza aumenta la duración de la bomba 2.—Mas apropiada para baja capacidad y cargas altas.
Centrífuga: 1.—De superficie a. Con cuerpo de caracol (paso sencillo).	20	10-20	100-150	1.—Flujo suave, uniforme 2.—Bomba agua que contiene arena y limo 3.—La presión en el sistema es uniforme y exenta de choques. 4.—Bajo par de torsión de arranque 5.—Generalmente confiable, da buen servicio	1.—Pierde fácilmente el cebado 2.—El buen funcionamiento requiere que trabaje bajo cargas y velocidades de diseño	1.—Mejores eficiencias a descargas próximas a 50 galones por minuto y cargas hasta de 150 pies aproximadamente.
b. De turbina: (paso sencillo).	28	28	100-200	1.—Las mismas que para el tipo de cuerpo de caracol, pero no adecuada para bombear agua que contenga arena o limo 2.—Son autocebantes.	1.—Las mismas que para el tipo de cuerpo de caracol, salvo que conserva fácilmente el cebado.	1.—Reducción de presión con capacidad creciente no tan grave como con el tipo de cuerpo de caracol.

TABLA 8.1— (continuación)

Tipo de bomba	Altura práctica de aspiración* (pies)	Profundidad usual de bombeo (pies)	Cargas usuales de presión (pies de agua)	Ventajas	Desventajas	Observaciones
2.—Pozo profundo a. Turbina de eje maestro vertical (paso múltiple).	Impulsores sumergidos.	>25	100-800	1.—Las mismas que la turbina de tipo de superficie.	1.—El buen funcionamiento requiere que trabaje bajo cargas y velocidades de rotación. 2.—Requiere suficiente almacenamiento y verticalidad del pozo para su instalación, y funcionamiento adecuado. 3.—Lubricación y alineamiento del eje tienen gran importancia. 4.—Sujeta a abrasión por la arena.	1.—Problema grave de mantenimiento cuando se bombea agua corrosiva, a menos que la bomba, la columna, el eje, etc. estén hechos de materiales no corrosivos.
b. Turbina sumergible (paso múltiple).	Bomba y motor sumergidos.	>25	50-400	1.—Las mismas que las turbinas de tipo de superficie. 2.—Eje corto de la bomba al motor. 3.—Verticalidad y alineamiento del pozo menos importante que para el tipo de eje maestro. 4.—Menos problemas de mantenimiento debidos al desgaste de las partes móviles que para el tipo de eje maestro. 5.—Costos más bajos de instalación y colocación que para el tipo de eje maestro. 6.—Niveles más bajos de ruido durante el funcionamiento que para el tipo de eje maestro.	1.—La reparación del motor o de la bomba requiere que se saquen del pozo. 2.—La reparación del motor puede requerir su envío al fabricante o su representación. 3.—Sujeta a abrasión por la arena.	1.—Mejoramientos de diseño relativamente recientes, para sellar el equipo eléctrico, dan la posibilidad de largos períodos de servicio exento de fallas. 2.—El motor debe protegerse por medio de un dispositivo adecuado contra fallas de energía.
Chorro: 1.—Pozo profundo.	20-100 bajo el suelo. (Eyector sumergido 5 pies).	>25	80-150	1.—De operación sencilla. 2.—No tiene que instalarse sobre el pozo. 3.—Ninguna parte móvil dentro del pozo. 4.—Precio de compra y gastos de mantenimiento bajos.	1.—Generalmente ineficiente. 2.—La capacidad se reduce al aumentar la altura. 3.—El aire en la línea de aspiración o de retorno interrumpirá el bombeo.	1.—La cantidad de agua que regresa al eyector aumenta con el incremento de la altura 50 por ciento del total de agua bombada a una altura de 60 pies y 75% a 100 pies. 2.—Generalmente limitada a una descarga de 20 galones por minuto aproximadamente, contra 150 pies de carga máxima.

\* Altura práctica de aspiración al nivel del mar. Redúzcase la altura 1 pie por cada 100 pies sobre el nivel del mar.



## CAPITULO 9

### PROTECCION SANITARIA DE LOS DEPOSITOS DE AGUA DEL SUBSUELO

Nunca se podrá destacar demasiado la necesidad de proporcionar protección sanitaria para todas las fuentes conocidas de agua del subsuelo, se encuentren o no en uso inmediato, ya que tales fuentes pueden alguna vez en el futuro revestir gran importancia para el desarrollo de sus localidades.

Los pozos pequeños, del tipo que se está considerando en este manual, muy a menudo tienen capas acuíferas poco profundas para suministrarles agua. En muchos casos, estas fuentes están solamente unos cuantos pies bajo la superficie del suelo y, con frecuencia, pueden ser alcanzadas sin gran dificultad por la contaminación proveniente de retretes, sumideros, fosas sépticas, estiércol de establos, así como la eliminación de desperdicios industriales y agrícolas. También sucede, muy a menudo, que los retretes y las fosas sépticas son el único medio económico de eliminar las aguas negras en una comunidad pequeña y dispersa, la cual debe, por varias razones, depender enteramente de una fuente de agua de suelo poco profunda para su abastecimiento de agua potable. Tal dependencia puede deberse a la incapacidad de una comunidad pequeña para hacer frente a los gastos de una planta perfeccionada de tratamiento para el agua existente en la superficie. Muchas zonas rurales también están sujetas a períodos prolongados de sequía, cuando los arroyos se secan completamente y las capas acuíferas de agua de suelo poco profundas constituyen las únicas fuentes confiables de agua potable. Por lo tanto, es de gran importancia que dichas fuentes estén adecuadamente protegidas.

#### LA CONTAMINACION SE TRANSMITE POR LOS SUELOS

La protección sanitaria de los depósitos de agua de suelo debe basarse en el conocimiento de los datos fundamentales relativos a la transmisión de las substancias contaminadas a través de los suelos y las formaciones acuíferas. Debe recordarse que toda el agua que se infiltra en el suelo está contaminada hasta cierto punto, pero puede posteriormente volver a un estado completamente satisfactorio para usos domésticos y otros empleos humanos. Algunos procesos de purificación deben tener lugar dentro del suelo a medida que el agua circula por él. Se han hecho varios estudios sobre la "acción purificadora de la naturaleza", debido a investigadores de muchas regiones del mundo, particularmente Europa, India y los Estados Unidos de América. Estos estudios han enriquecido nuestros conoci-

mientos de los procesos implicados en la purificación natural de las aguas del subsuelo, así como la forma y el grado en que se contaminan. Los descubrimientos fundamentales se resumen en los párrafos siguientes.

Los procesos naturales que tienen lugar en los suelos para purificar el agua que circula por ellos son esencialmente tres. Los dos primeros son la eliminación mecánica de microorganismos (incluyendo bacterias causantes de enfermedades) y otras materias en suspensión por *filtración* y *sedimentación* o asentamiento. La filtración depende de los tamaños relativos de los poros de las partículas del suelo y de los microorganismos y otros materiales filtrables. Mientras más finas sean las partículas del terreno y más pequeños los poros entre ellas, más eficaz será el proceso de filtración. El material filtrado tiende también a reducir los poros y, así, ayuda a mejorar el proceso de filtración. La sedimentación depende del tamaño del material en suspensión y la velocidad del flujo del agua a través de los poros. Mientras más grandes las partículas de materia en suspensión y más lenta la velocidad de flujo a través del suelo, más eficiente será el proceso de sedimentación. Por lo tanto, se advierte que la porosidad y la permeabilidad del suelo son factores muy importantes para el mecanismo de los procesos de filtración y sedimentación y, en consecuencia, para el recorrido de la contaminación bacteriana en los suelos.

El tercer factor es lo que, a menudo, se denomina *muelle* natural de las bacterias en los suelos. Las bacterias que producen enfermedades en el hombre viven solamente corto tiempo lejos de su huésped natural, el cual es, generalmente, el hombre o los animales. Generalmente, sus lapsos de vida son cortos en las condiciones desfavorables que encuentran en los suelos. Esta propiedad contribuye considerablemente a la autopurificación del agua del subsuelo durante su circulación y almacenamiento en capas acuíferas de arena y grava.

Por supuesto, el efecto de filtración se pierde completamente y la sedimentación se reduce ligeramente en las aguas del subsuelo que circulan por grandes grietas y canales de disolución en caliza y otras rocas consolidadas. Esto explica la calidad microbiológica, generalmente mejor, del agua del subsuelo que se obtiene de las arenas, gravas y otras formaciones no consolidadas, en comparación con la que se obtiene de las mayores grietas, fisuras y canales de disolución en rocas consolidadas.

Si bien los procesos antes mencionados se oponen a la transmisión de la contaminación bacteriana en el agua del subsuelo y, por lo general, dentro de distancias y períodos de tiempo cortos, pierden gran parte de su eficacia tratándose de la transmisión de la contaminación química. Esta, como se verá más adelante, persiste más tiempo y viaja mucho más aprisa en las aguas del subsuelo que la contaminación bacteriana. Las reacciones químicas con los componentes del suelo desempeñan cierto papel en detener

que los demás procesos para combatir la contaminación bacteriana.

La contaminación (bacteriana y química) en los suelos, generalmente, se dirige hacia abajo desde la fuente hasta que alcanza la capa freática y, luego, junto con el agua del subsuelo, fluye por un cauce que al principio aumenta gradualmente de anchura hasta una extensión limitada y luego se reduce hasta su desaparición final. El recorrido descendente de las bacterias a través del suelo homogéneo arriba de la capa freática rara vez se ha encontrado a profundidad mayor de 5 pies (1.5 m) aproximadamente. Al alcanzar la capa freática no se transmite la contaminación en contra de la dirección natural del flujo del agua del subsuelo, a menos que se induzca por el bombeo de un pozo de aguas arriba de la fuente de contaminación y con un círculo de influencia (superficie superior del cono de depresión) que incluya la fuente de contaminación. El recorrido horizontal de la contaminación bacteriana en formaciones de arena desde un punto de origen tal como un pozo usado para recargar una capa acuífera ha llegado a alcanzar una anchura máxima de aproximadamente, 6 pies (1.8 m) antes de la desaparición final a una distancia de 100 pies más o menos (30 m) desde la fuente. Las distancias correspondientes a puntos de origen en letrinas han sido generalmente más cortas. La distancia máxima del flujo de la contaminación bacteriana se alcanza, a menudo, varias horas (frecuentemente, menos de 2 días) después de la introducción de la contaminación. Los procesos de filtración y muerte natural causan luego una reducción rápida en las cantidades encontradas de bacterias y la extensión del recorrido hasta que, finalmente, sólo la vecindad inmediata de la fuente de contaminación se encuentra afectada.

La contaminación química sigue una senda similar, pero mucho más ancha y más larga que la de la contaminación bacteriana. Se han observado anchuras máximas de 25 a 30 pies (7.5 a 9 m), aproximadamente, y longitudes de 300 pies (91.5 m). Las investigaciones indican que la contaminación química se transmite a doble velocidad que la contaminación bacteriana.

Los descubrimientos mencionados sirven para destacar la importancia de la localización adecuada de los pozos con respecto a las fuentes de contaminación, para poderla evitar. También forman la base para las reglas generales que se aplican a la ubicación y construcción de los pozos y la colocación de los fosos de letrinas, resumideros y otros medios de eliminación de desperdicios, respecto a los manantiales de agua del subsuelo.

### **LOCALIZACION DE LOS POZOS**

Los pozos deben localizarse en los sitios más altos posibles y, por supuesto en terrenos más elevados que las fuentes cercanas de contaminación. La superficie del suelo en la vecindad inmediata del pozo debe inclinarse

a partir de él y debe estar bien drenada. Si es necesario, el lugar debe arreglarse para lograr este fin. Debe proveerse un sistema especial de drenaje para las aguas de desecho lejos de los pozos públicos. Es aconsejable, siempre que sea posible, colocar la instalación de la bomba y la tubería de descarga tan alejada como sea posible de un pozo público. Esto, junto con un buen sistema de drenaje asegurará que no se acumulen aguas de desecho en las proximidades del pozo, para constituir una fuente posible de contaminación, ni tampoco charcos de mal aspecto y lugares donde se criarán mosquitos. Si hay que colocar un pozo pendiente abajo de una fuente de contaminación, tendrá que ser a una distancia segura, razonablemente alejada, de acuerdo con la fuente y el tipo de suelo. Las distancias mínimas recomendadas desde varios tipos de fuentes de contaminación se enumeran en la Tabla 9.1.

**TABLA 9.1**

Fuente de contaminación	Distancia mínima recomendada
Alcantarilla de hierro fundido con juntas mecánicas o emplomadas	10 pies ( 3 m)
Fosa séptica o alcantarilla de losa fuertemente unida	50 pies (15 m)
Retrete de foso de tierra, fosa de filtración o campo de drenaje	75 pies (23 m)
Resumidero que recibe aguas negras sin tratar	100 pies (30 m)

Estas distancias mínimas no son más que indicaciones para la buena práctica y se pueden variar como lo requieran el suelo y las demás condiciones. Deben aplicarse solamente donde el suelo tenga una capacidad de filtración igual o superior a la de la arena.

La localización de un pozo debe también tomar en consideración la accesibilidad para la reparación de la bomba, la limpieza, el tratamiento, la prueba y la inspección. Los pozos colocados junto a edificios, deben tener, por lo menos, 2 pies (61 cm) de separación desde cualquier proyección, como por ejemplo aleros suspendidos.

Deben consultarse los Capítulos 4, 5 y 6 para información relativa al diseño, construcción y aspectos de la terminación, respectivamente, de la protección sanitaria de los pozos.

### **SELLADO DE POZOS ABANDONADOS**

Los propósitos del sellado de los pozos abandonados son (1) impedir

la contaminación de la capa acuífera por la entrada de agua de mala calidad y otras sustancias extrañas a través del pozo, (2) mantener rendimiento de la capa acuífera y la carga artesiana, donde exista, y (3) eliminar el peligro físico.

El concepto básico del sellado adecuado de un pozo abandonado es la restauración, hasta donde sea posible, de las condiciones geológicas existentes. Si se trata de la capa freática, el sellado debe servir para evitar la infiltración del agua a través del agujero del pozo o a lo largo del exterior del entubado hacia la capa freática. Con un pozo artesiano, el sellado debe servir para encerrar el agua en la capa acuífera en que ocurre.

De ordinario, el sellado se obtiene enluciendo con barro amasado, cemento u hormigón. Cuando se aplica en enlucido bajo el agua, el material de la lechada debe colocarse desde el fondo hacia arriba, por métodos que impidan la segregación o dilución excesiva del material. Los sistemas de aplicación del enlucido se describieron en el Capítulo 5.

En algunos casos, puede ser indispensable retirar el entubado del pozo frente a las zonas acuíferas para asegurar un buen sellado. Donde no se cubrió cuidadosamente con cemento los 15 o 20 pies (4.5 a 6 m) de la parte superior del entubado del pozo durante la construcción original, debe retirarse esta porción del entubado antes de aplicar la lechada final para abandonar el pozo.

## BIBLIOGRAFIA

- Acme Fishing Tool Company. *Acme. Greatest Name in Cable Tools Since 1900*. Catalog. Parkersburg, West Virginia.
- American Water Works Association, National Water Well Association. *AWWA Standard for Deep Wells*. AWWA A100-66. New York: AWWA Inc., 1966.
- Anderson, Keith E. (ed.). *Water Well Handbook*. Rolla, Missouri: Missouri Water Well Drillers Association, 1966.
- Baldwin, Helene L., and C. L. McGuinness. *A Primer on Ground Water*. United States Department of the Interior, Geological Survey. Washington: Government Printing Office, 1963.
- Bowman, Isaiah. *Well-Drilling Methods*. Geological Survey Water-Supply Paper 257. Washington: Government Printing Office, 1911.
- Decker, Merle G. *Cable Tool Fishing*, Water Well Journal. Series of articles commencing Vol. 21, No. 1. (Jan., 1967), pp. 14-16, 59.
- Departments of the Army and the Air Force. *Wells*. TMS-297, AFM 85-23. Washington: Government Printing Office, 1957.
- Edward E. Johnson, Inc. *Ground Water and Wells*. St. Paul, Minnesota, 1966.
- Gordon, Raymond W. *Water Well Drilling with Cable Tools*. South Milwaukee, Wisconsin: Bucyrus-Erie Company, 1958.
- Harr, M. E. *Groundwater and Seepage*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc., 1962.
- Livingston, Vern. *From: Too-Thin-to-Plough Missouri. To: Just-Right-to-Drink Well Water*, Water Works Engineering (May, 1957), pp. 493-495, 521.
- McJunkin, Frederick E. (ed.). International Program in Sanitary Engineering Design. *Jetting Small Tubewells by Hand*. AID-UNC/IPSED Series Item No. 15. University of North Carolina, 1967.
- Meinzer, O. E. *Occurrence of Ground Water in the United States*. Geological Survey Water-Supply Paper 489. Washington: Government Printing Office, 1959.
- . *Outline of Ground-Water Hydrology*. Geological Survey Water-Supply Paper 494. Washington: Government Printing Office, 1965.
- Miller, Arthur P. *Water and Man's Health*. Washington: Department of State, Agency for International Development, 1962.
- New York State Department of Health. *Rural Water Supply*. Albany, New York, 1966.

- State of Illinois, Department of Public Health, Division of Sanitary Engineering. *Illinois Water Well Construction Code*. Springfield, Illinois, 1967.
- Todd, David Keith. *Ground Water Hydrology*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1960.
- U. S. Department of Health, Education, and Welfare. *Drinking Water Standards*. Public Health Service Publication No. 956. Washington: Government Printing Office, 1962.
- . *Manual of Individual Water Supply Systems*. Public Health Service Publication No. 24. Washington: Government Printing Office, 1963.
- U. S. Department of the Interior, Interdepartmental Committee on Water for Peace. *Water for Peace. A Report of Background Considerations and Recommendations on the Water for Peace Program*. Washington: Government Printing Office, 1967.
- Wagner, E. G., and J. N. Lanoix. *Water Supply for Rural Areas and Small Communities*. Geneva: World Health Organization, 1959.
- Wisconsin State Board of Health. *Wisconsin Well Construction and Pump Installation Code*. Madison, Wisconsin, 1951.
- 

## AGRADECIMIENTO POR LAS ILUSTRACIONES

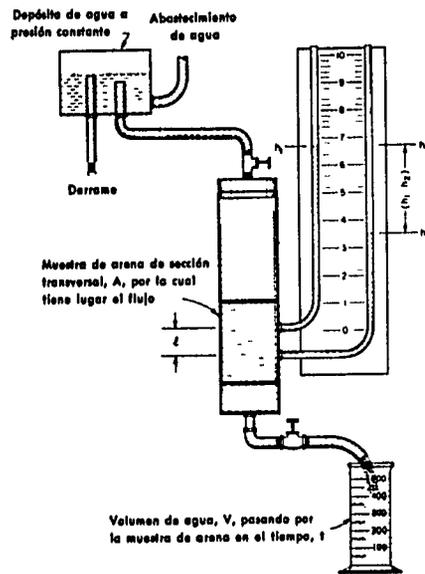
Los autores desean expresar su agradecimiento a la División UOP-Johnson de la Universal Oil Products Company, St. Paul, Minnesota, por el empleo y la adaptación de las ilustraciones siguientes: Figuras 2.3, 2.5, 2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.17, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.5, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 5.16, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32, 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 5.40, 5.41, 6.1, 6.2, 6.4, 6.5, 6.6, 6.8, 7.1, 7.2, 8.2, y A.1.

## APENDICE A

### MEDICION DE LA PERMEABILIDAD

El coeficiente de permeabilidad, o permeabilidad como usualmente se denomina en la práctica, se puede determinar por medio de experimentos de laboratorio y en el terreno. Los experimentos en el terreno, o pruebas de bombeo, como son llamadas, tienen la ventaja sobre los experimentos de laboratorio de que se efectúan con los materiales de la capa acuífera en su estado natural, sin cambios. Sin embargo, son más complicados, requieren más tiempo, son costosos y están fuera del alcance de este libro.

Los permeámetros se usan para determinaciones de permeabilidad en el laboratorio. El método de laboratorio más sencillo para la determinación de la permeabilidad utiliza un permeámetro de carga constante, como se indica a continuación. El flujo bajo carga o presión constante se mantiene en un tramo determinado,  $l$ , de la muestra del material de la capa acuífera, colocada entre placas porosas en un tubo de sección transversal,  $A$  (Figura A.1). El dispositivo en la parte superior izquierda de la figura se emplea para proporcionar el flujo bajo carga constante. La velocidad de flujo,  $Q$ , a través de la muestra se obtiene midiendo el volumen,  $V$ , de agua descargada en un cilindro graduado en un tiempo dado,  $t$ . Los tubos del manómetro, a la derecha de la figura, se usan para medir la pérdida de presión,  $h_1-h_2$ , al fluir el agua por el tramo  $l$ , de la muestra. Debe tenerse cuidado de expulsar el aire atrapado en la muestra antes de efectuar las mediciones



**Figura A.1 PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE PARA LA DETERMINACION DE COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD EN EL LABORATORIO.**

$$\text{Entonces } Q = \frac{V}{t} = \frac{P (h_1 - h_2) A}{l}$$

$$\text{De donde } P = \frac{V l}{(h_1 - h_2) A t}$$

Para obtener  $P$  en unidades de galones por día por pie cuadrado (gpd/pie cuadrado),  $V$  debe expresarse en galones,  $l$ ,  $h_1$ , y  $h_2$  en pies, y  $t$  en días.

## APENDICE B

### TABLAS Y FORMULAS UTILES

TABLA B.1 LONGITUD

Unidad	Equivalentes de la primera columna						
	centi- metros	metros	kilo- metros	pulgadas	pies	yardas	millas
1 centimetro	1	.01	.00001	3937	.0328	.0109	.0000062
1 metro	100	1	001	39.37	3.2808	1.0936	.000621
1 kilometro	100,000	1,000	1	39,370	3,280.8	1,093.6	.621
1 pulgada	2.54	.0254	0000254	1	0833	0278	000016
1 pie	30.48	.3048	000305	12	1	3333	.000189
1 yarda	91.44	.9144	.000914	36	3	1	.000568
1 milla	160,935	1,609.3	1.6093	63,360	5,280	1,760	1

TABLA B.2 SUPERFICIE

Unidad	Equivalentes de la primera columna						
	centimetros cuadrados	metros cuadrados	pulgadas cuadradas	pies cuadrados	yardas cuadradas	acres	millas cuadradas
1 centimetro cuadrado	1	.0001	.155	.00108	.00012	-	-
1 metro cuadrado	10,000	1	1,550	10.76	1.196	.000247	-
1 pulgada cuadrada	6.452	.000645	1	.00694	.000772	-	-
1 pie cuadrado	929	.0929	144	1	.111	.000023	-
1 yarda cuadrada	8,361	.836	1,296	9	1	.000207	-
1 acre	40,465,284	4,047	6,272,640	43,560	4,840	1	.00156
1 milla cuadrada	-	2,589,998	-	27,878,400	3,097,600	640	1

**TABLA B.3 VOLUMEN**

Unidad	equivalentes de la primera columna						
	centímetros cúbicos	metros cúbicos	litros	galones americanos	galones imperiales	pulgadas cúbicas	pies cúbicos
1 centímetro cúbico	1	000001	001	.000264	00022	.061	.0000353
1 metro cubico	1,000,000	1	1,000	264.17	220 083	61,023	35.314
1 litro	1,000	.001	1	.264	.220	61.023	.0353
1 galón americano	3,785.4	.00379	3.785	1	.833	231	.134
1 galón imperial	4,542.5	.00454	4.542	1.2	1	277.274	.160
1 pulgada cubica	1	0000164	.0164	00433	00361	1	.000579
1 pie cubico	28,317	0283	28 317	7 48	6.232	1,728	1

**TABLA B.4 FLUJO**

Unidad	Equivalentes de la primera columna						
	pies cúbicos por segundo	pies cúbicos por día	galones americanos/min.	galones imperiales por min.	galones americanos/día	galones imperiales por día	acres pies por día
1 pie cúbico por segundo	1	86,400	448.83	374 03	646,323	538,860	1.983
1 pie cubico por día	.0000116	1	.00519	.00433	7 48	6.233	.000023
1 galón americano por minuto	.00223	192 50	1	.833	1,440	1,200	.00442
1 galón imperial por minuto	.00267	231.12	1.2	1	1,728	1,440	.0053
1 galón americano por día	.00000155	.134	.000694	.000579	1	.833	.00000307
1 galón imperial por día	.00000186	.160	.000833	.000694	1.2	1	.00000368
1 acre pie por día	504	43,560	226.28	188.57	325,850	271,542	1

**TABLA B.5 PESO**

Unidad	Equivalentes de la primera columna					
	gramos	kilogramos	onzas (Avoirdupois)	libras (Avoirdupois)	toneladas (cortas)	toneladas (largas)
1 gramo	1	001	0353	0022	0000011	.00000098
1 kilogramo	1000	1	35 274	2 205	0011	000984
1 onza (Avoirdupois)	28.349	.0283	1	.0625	0000312	.0000279
1 libra (Avoirdupois)	453.592	.454	16	1	0005	.000446
1 tonelada (corta)	907,184 8	907.185	32,000	2,000	1	.893
1 tonelada (larga)	1,016,046 98	1,016.047	35,840	2,240	1 12	1

**TABLA B.6 POTENCIA**

Unidad	Equivalentes de la primera columna				
	vatios	kilovatios	caballos de vapor	libras pie/min.	Joules por por seg.
1 vatio	1	001	.00134	44 254	1
1 kilovatio	1000	1	1.341	44,254	1,000
1 caballo de vapor	746	.746	1	33,000	746
1 libra pie por minuto	.0226	.0000226	.0000303	1	0226
1 Joule por segundo	1	.001	00134	44 254	1

**TABLA B.7 VOLUMENES Y PESOS EQUIVALENTES  
(Agua a 39.2° F. 4° C.)**

Unidad	Equivalentes de la primera columna						
	metros cúbicos	litros	galones americanos	galones imperiales	pulgadas cúbicas	pies cúbicos	libras
1 metro cúbico	1	1,000	264 17	220 083	61.023	35 314	2,200 83
1 litro	001	1	.264	220	61 023	.0353	2.201
1 galón americano	.00379	3.785	1	833	231	.134	8 333
1 galón imperial	00454	4.542	1.2	1	277.274	.160	10
1 pulgada cúbica	.0000164	.0164	.00433	00361	1	.000579	.0361
1 pie cúbico	.0283	28.317	7.48	6.232	1,728	1	62.32
1 libra	.00045	.454	.12	.1	27.72	.016	1

### B.8 PRESION

1 Atmósfera = 760 milímetros de mercurio a 32° F. (0° C.)  
 29.921 pulgadas de mercurio a 32° F.  
 14.7 libras por pulgada cuadrada  
 2,116 libras por pie cuadrado  
 1.033 kilogramos por centímetro cuadrado  
 33.947 pies de agua a 62° F. (15° C.).

### B.9 TEMPERATURA

Grados C. =  $5/9 \times (F - 32)$       Grados F. =  $9/5 C + 32$

**TABLA B.10 PERDIDA POR FRICCION EN TUBO LISO**  
 (Pérdida de carga aproximada en pies por 1000 pies de tubo)

Velocidad de flujo en galones por minuto	Calibre nominal de tubo en pulgadas					
	1½	1½	2	2½	3	4
10	20	9	2			
15	44	20	6			
20	79	35	10	4	1	
25	123	55	16	6	2	
30	178	79	22	9	3	
40		142	40	16	5	
50		222	64	25	8	2

**TABLA B.11 CAPACIDAD DE UN TUBO, CILINDRO O AGUJERO**

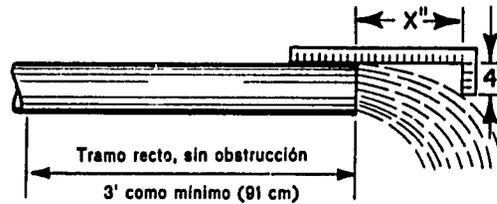
Díámetro (pulgadas)	Galones por pie
1½	0.09
2	0.16
2½	0.25
3	0.37
4	0.67
6	1.47
8	2.61
10	4.08
12	5.86
16	10.45
18	13.20
20	16.35
24	23.42

**B.12 MEDICION DE LA DESCARGA USANDO UN RECIPIENTE PEQUEÑO**

(Tambores de aceite, depósitos de almacenamiento, etc.)

$$\text{Descarga (gals. por min.)} = \frac{\text{Volumen del recipiente (galones)} \times 60}{\text{Tiempo (segundos) para llenar el recipiente}}$$

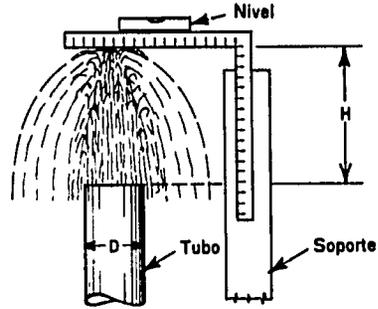
**TABLA B.13 ESTIMACION DE LA DESCARGA DE UN TUBO HORIZONTAL QUE FLUYE A PLENA CAPACIDAD**



**VELOCIDAD DE DESCARGA (galones por minuto)**

Distancia horizontal x pulgadas	Diámetro nominal del tubo (pulgadas)				
	1	1¼	1½	2	2½
4	5.7	9.8	13.3	22.0	31.3
5	7.1	12.2	16.6	27.5	39.0
6	8.5	14.7	20.0	33.0	47.0
7	10.0	17.1	23.2	38.5	55.0
8	11.3	19.6	26.5	44.0	62.5
9	12.8	22.0	29.8	49.5	70.0
10	14.2	24.5	33.2	55.5	78.2
11	15.6	27.0	36.5	60.5	86.0
12	17.0	29.0	40.0	66.0	94.0
13	18.5	31.5	43.0	71.5	102.0
14	20.0	34.0	46.5	77.0	109.0
15	21.3	36.3	50.0	82.5	117.0
16	22.7	39.0	53.0	88.0	125.0

**TABLA B.14 ESTIMACION DE LA DESCARGA DE UN TUBO O ENTUBADO VERTICAL**

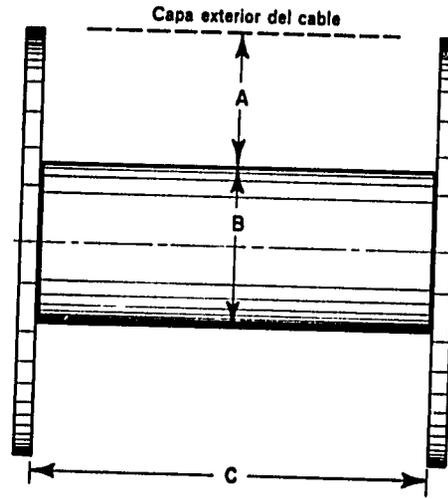


**VELOCIDAD DE DESCARGA (galones por minuto)**

Altura, H (pulgadas)	Diámetro nominal del tubo, D (pulgadas)		
	2	3	4
1½	22	43	68
2	26	55	93
3	33	74	130
4	38	88	155
5	44	99	175
6	48	110	190
8	56	125	225
10	62	140	255
12	69	160	280
15	78	175	315
18	85	195	350
21	93	210	380
24	100	230	400

**TABLA B.15 CAPACIDAD DE UN TAMBOR O CARRETE PARA ALOJAR CABLE**

(Cable metálico uniformemente enrollado)



Capacidad para alojar cable (pies) =  $K (A + B) A \times C$  donde A, B, C están expresadas en pulgadas y K tiene los valores indicados en la tabla siguiente:

Díámetro nominal del cable (pulgadas)	K	Díámetro del cable (pulgadas)	K
1/4	4.4	9/16	.9
5/16	2.8	5/8	.7
3/8	2.0	3/4	.5
7/16	1.4	7/8	.4
1/2	1.1	1	.3

**TABLA B.16 CAPACIDADES DE CABLE PARA PERFORACION**

(Torcido a la izquierda —Acero dulce para arado— Alma de cáñamo de 6 x 19)

Diámetro del cable (pulgadas)	Peso aproximado por pie (libras)	Carga de trabajo recomendada (libras)
1/2	42	3,200
9/16	.53	4,200
5/8	.66	5,000
3/4	95	7,200
7/8	1.29	9,800
1	1.68	12,600

**TABLA B.17 CAPACIDADES DE CABLE PARA LINEA DE ARENA**  
(Torcido tosco —Acero para arado— Alma de cáñamo de 6 x 7)

Diámetro del cable (pulgadas)	Peso aproximado por pie (libras)	Carga de trabajo recomendada (libras)
1/4	09	800
5/16	.15	1,700
3/8	.21	1,800
7/16	.29	2,400
1/2	.38	3,200

**TABLA B.18 CAPACIDADES DE CABLE PARA LINEA DE ENTUBADO**

(No rotatoria —Acero para arado— Alma de cáñamo de 18 x 7)

<b>Diámetro del cable (pulgadas)</b>	<b>Peso aproximado por pie (libras)</b>	<b>Carga de trabajo recomendada (libras)</b>
5/8	.68	5,400
3/4	.97	7,600
7/8	1.32	10,200

**TABLA B.19 CAPACIDADES DE CABLE DE MANILA (DE TRES CABOS)**

<b>Diámetro del cable (pulgadas)</b>	<b>Peso aproximado por pie (libras)</b>	<b>Carga de trabajo recomendada (libras)</b>
3/8	.04	270
7/16	.05	350
1/2	.08	530
9/16	.10	690
5/8	.13	880
3/4	.17	1,080
7/8	.23	1,540
1	.27	1,800

# INDICE

## A

Abastecimientos de agua, importancia de, 1  
 Accesibilidad al sitio, efecto sobre la selección de los materiales para construir el pozo, 59  
 Acción del tiempo sobre las rocas, 35  
 Achicador, 80, 81, 107, 119, 130  
 Acido clorhídrico, 59, 103, 130, 131  
   —, precauciones en el uso el, 133  
   —, sulfámico, 130  
   —, tratamiento con, (véase Operaciones de mantenimiento de pozos)  
 Achicador, método de perforación, 71  
 Afloramiento, 34  
 Agente hidratante, 133  
 Agentes cementantes, 10  
 Agentes dispersantes, 124, 134  
 Agua contaminada, 2, 85, 125  
   — del subsuelo, 5  
   — del suelo, agotamiento de, 3  
   —, calidad del, 3, 5  
   —, definición, 7  
   —, existencia de, 3, 2  
   —, flujo de, 5, 12  
   —, grado de descarga, 4, 5  
   —, grado de extracción, 5  
   —, grado de recarga (reposición) 4, 5  
   —, importancia de, 3  
   —, localización de, 3  
   —, origen, ocurrencia y circulación, 3, 5  
   —, proceso de purificación natural, 161  
 Agua intermedia, 7  
 Aguas corrosivas, 52, 56, 57  
 Aguas incrustantes, 58  
 Agua superficial, 3, 20, 160  
 Agua vadosa, 7  
 Agujero, profundidad del, 106  
 Alineamiento, (véase Alineamiento del pozo)  
 Alineamiento del pozo, 88, 151  
   —, comprobaciones sobre, 90  
   —, condiciones que afectan, 89  
   —, medición de, 80  
   —, verticalidad, 88  
   —, rectitud, 88  
 Almacenamiento, capa acuífera, 3, 20  
   —, función de las capas acuíferas, 14  
 Altitud, efecto sobre la altura de succión, 136  
 Análisis con tamiz, 51, 55  
 Análisis del agua, 57  
 Análisis del tamaño de la partícula, (véase Análisis con tamiz)  
 Análisis químico, 57, 129  
 Anillo para tirar, 93, 102  
 Area, sección transversal, 15  
 Arena, 9, 11, 142, 150, 155, 163  
   —, análisis (véase Análisis con tamiz)  
   —, bomba, 81  
   —, bombeo de un pozo, 55  
   —, duna, 9, 37  
 Arenisca, 10  
 Arroyo, 34, 37

## B

Bacteria, coliforme, 125  
   —, del hierro, 58, 128, 131  
   —, productora de enfermedad, 161  
 Balanza para lodo, 78  
 Barrena, de mano, 66  
   —, espiral, 67  
 Barrenado, (véase Métodos de Perforación)  
 Barro, 10, 128, 134  
 Basalto, 10  
   —, de estructura de brecha, 10  
 Bentonita, 86  
 Bloque de limpieza por oleaje, 117  
 Bloque para recalcar, 93, 101  
 Bomba, autocebante, 152  
   —, capacidad de, 152, 157, 159  
   —, caja para, 149  
   —, cebado de, 151  
   —, centrífuga, 143, 157-159  
   —, turbina, 144, 157-159  
   —, caracol, 144, 157-159  
   —, desplazamiento constante, 139, 157-159  
   —, émbolo de movimiento alterado, 139, 148, 155  
   —, rotatoria, 139, 142, 157-158  
   —, velocidad de descarga, 151  
   —, rotor helicoidal, 139, 142, 148, 157-159  
   —, desplazamiento positivo, 148, 152, 157-159 (véase también desplazamiento constante)  
 Bomba, desplazamiento variable, 139, 143, 157-159  
   —, centrífuga, 143, 157-159  
   —, chorro, 143, 147, 157-159  
   —, eje maestro, 148, 157-159  
   —, fuente de energía, electricidad, 152-154  
   —, energía humana, 155  
   —, máquina de combustión interna, 155  
   —, selección de, 154  
   —, viento, 155  
   —, fuerza impulsora, 136, 139  
   —, impulsada a mano, 136, 142, 157-159 (véase también Operada manualmente)  
   —, impulsor de, 144, 151, 153  
   —, jarro, 140  
   —, normalización, 154  
   —, operada manualmente, 136, 140  
   —, paso múltiple, 145  
   —, pozo profundo, 130, 140, 142, 153, 157-159  
   —, eje maestro, 148, 157-159  
   —, sumergible, 89, 148, 151, 157-159  
   —, reducción capacidad, 181  
   —, selección de, 152  
   —, sumergible, 89, 148, 151, 157-159  
   —, tipo de superficie, 139, 140, 153, 157-159  
   —, turbina vertical, 89  
 Bomba para pozo (véase Bomba)  
 Bombeo, horas de operación, conservación de registros, 129  
 Boquilla, herramienta de inyección, 121  
 Borde capilar, 7  
 Brocas, (véase Métodos de perforación)

## C

- Cabezal de hinca, ángulo recto, 148
- Cable, (véase Cable de alambre)
- Cable metálico, cuidado del, 104
- Calidad, agua de suelo, 3, 26, 36, 64
  - — —, comparada con la del agua de superficie, 26
  - — —, física, 26
  - — —, microbiológica, 26, 161
  - — —, química, 27, 57
- Calidad del agua, (véase Calidad)
- Calza, 9
- Canales de disolución, 9, 26, 161
- Canto rodado, guijarros, 12, 89, 106
- Capa acuífera artesiana, 12, 16, 19, 35, 39, 64
- Capa acuífera, anchura de, 16
  - — —, características hidráulicas, 11
  - — —, cautiva, 12
  - — —, costera, 28
  - — —, definición, 8
  - — —, de capa freática, 12, 16, 19, 35, 64
  - — —, espesor de, 12, 16, 34, 49
  - — —, estratificada, definición, 19
  - — —, extensión de, 12
  - — —, forma de, 11
- Capa acuífera, funciones, 14
  - — —, funciones, 14
  - — —, no confinada, 12
  - — —, profundidad de, 34
  - — —, tipos de, 12 (véase también Capa acuífera artesiana y acuífera freática)
- Capa freática, 16, 19, 68, 135, 161, 163
- Capacidad acuífera, 8
- Capacidad específica, 23, 50, 54, 129, 153
- Capacidad de rendimiento de agua de las rocas, 9
- Capa impermeable, 12
- Características hidráulicas de las capas acuíferas, 12, 36
- Carbonato, 128, 130
- Cavidades, 10, 161
- Cementación, 8, 18
- Cementado con arcilla, 10
- Cianosis, 30
- Ciclo hidrológico, 5
- Cieno, 128, 133
- Círculo de influencia, 162
- Clasificación de partículas, 52
- Clasificación, material de estabilización de la formación, 62
  - — —, material para empacar con grava, 61, 124
  - — —, uniforme de las partículas, 18
  - — —, definición, 18
- Cloración, (véase Desinfección de pozos)
- Cloruro, 28
- Coefficiente de uniformidad, definición, 81
- Collar de perforación, 73, 90
- Compactación, 8
- Componentes químicos, 8
- Cono de depresión, 19, 162
  - — —, compuesto, 23
  - — —, definición, 20
- Consumo de energía, 129
- Contaminación, 27, 125, 162
  - — —, bacteriana, 27, 161
  - — —, fuentes de, 26, 159
  - — —, rutas de, a través de los pozos, 62
  - — —, transmisión en los suelos, 162
  - — —, química, 161
  - — —, velocidad de transmisión, 162
- Contenido de minerales en el agua, 28, 57
- Corrosión, 30, 44, 56
  - — —, diversidad de los metales, 39, 57
  - — —, control de, 30
  - — —, galvánica, 44
  - — —, materiales resistentes, 39, 57

## C

- Costo, efectos sobre la selección de las bombas, 151
  - — —, efectos sobre el diseño del pozo, 29, 39, 42, 47
  - — —, selección de la fuente de energía, 153
  - — —, operaciones de pesca, 104
- Crecimiento de bacterias, 133
- Cuerda o cable de perforación, longitud de, conservación de registros, 106
- Curvas de análisis con tamiz, 52

## D

- Datos geológicos, 34
- Desagüe, sistemas de punta de pozo para, 25
- Desarrollo del agua del suelo, 3, 33
  - — —, pozo, (véase Desarrollo de pozos)
  - — —, de pozos, 42, 45, 50, 60, 115
  - — —, artificialmente empacados con grava, 124
  - — —, lavado por retroceso, inyección a alta velocidad, 121
  - — —, herramienta de inyección, 121
  - — —, limpieza por oleaje, 118
  - — —, objeto de, 115
- Descarga natural, de la capa acuífera, 21
- Descomposición química, 8
- Desechos agrícolas, efectos sobre la calidad del agua de suelo, 28, 159
- Desinfección, (véase Desinfección de pozos)
- Desinfección de pozos, 115, 125, 133
  - — —, de flujo artesiano, 126
  - — —, soluciones de cloro para, 125
- Desintegración, mecánica, 8
- Detrimentos, efectos sobre la calidad del agua de suelo, agrícolas, 29, 159
  - — —, animales, 29, 159
  - — —, industriales, 32, 159
  - — —, humanos, 29
- Depósitos, aluviales, 9, 11
  - — —, arroyo, 9, 11
- Depósitos de agua de suelo, protección sanitaria de, 159
- Depósitos, de lago, 11
  - — —, deltáicos, 9
  - — —, espesor de, 9
  - — —, extensión superficial de, 9
  - — —, glaciales, 9, 12
  - — —, incrustación, 29, 58
  - — —, incrustantes, 125
  - — —, lama, 135
  - — —, llevados por el viento, 9, 11
  - — —, marinos, 9, 11
- Diámetro, agujero barrenado, 1, 65, 88
  - — —, entubado, 64, 40
- Dióxido de carbono, 31, 57, 128
- Diseño, pozo, 39, 91
- Dirección de la formación, Dolomita, 9
- Drenaje de la superficie, contaminación, de pozos, 125
- Dureza, 30

## E

- Efectos laxantes, sustancias químicas causantes en el agua, 29
- Elevador del entubado, 84
- Embalse, 20, 36, 49, 128
  - — —, definición, 20
- Embolo de limpieza por oleaje, 118, 131
  - — —, operación dentro de la rejilla del pozo, 120
  - — —, tipo de una pieza, 118
  - — —, tipo de válvula, 119

## E

- Embudo Marsh, 78
- , viscosidad, 78
- Empaquetadura de los pozos con grava, 61, 123
- Empaquetadura acuñada de plomo, 101
- Empaquetadura de plomo, 91
- Enfermedades, causadas por el agua, 2
- , diarreicas, 2
- , gastrointestinales, 2
- , por virus, 2
- , transmisibles, 2
- Enlucido con barro, 86, 135, 163
- Entubado, (véase Entubado del pozo)
- Entubado del pozo, extremo inferior de, 64
- , instalación, 83
- , retiro del, 94
- , sellado de pozos abandonados, 163
- , temporal, 65
- , zapata, 82
- , construcción, 8, 26, 36, 66
- , diseño, 39, 91
- , profundidad de, 1, 36
- , terminación, 115
- Equilibrio, definición, 20
- Equipo de bombeo, 40, 136
- Equipo de perforación, (véase Métodos de perforación)
- , barrenado, 41
- , cuidado y uso de, 104
- , chorro, 68
- Equipo de perforación, inyección,
- , broca, 69
- , equipo, 68
- , percusión hidráulica, 71
- , percusión con cable y herramienta, 80, 91
- , —, —, aparejo de perforación, 80, 119
- , —, —, broca, 80
- , —, —, cuerda de herramientas, 80
- , —, —, grillete de cable, 80, 114, (véase también Grillete de la línea de cable)
- , —, —, percusores de perforación, 80
- , —, —, percusores para pescar, 80
- , —, —, ventajas y desventajas, 83
- , rotación hidráulica, aparejo, 73
- , —, bomba de lodo, 74, 122
- , —, broca, (simple), 75
- , —, brocas de perforación, 73
- , —, collar, 73, 89
- , —, equipo, sencillez, 75
- , —, fluido, funciones del, 73
- Equipo de perforación, rotación hidráulica,
- , —, foso de almacenamiento, 74
- , —, foso de sedimentación, 74
- , —, lodo de perforación, funciones del, 76
- , —, —, vástago de perforación, 73
- , —, —, ventajas y desventajas, 80
- , —, —, sacalodos, 71
- Erosión, 36
- Espaciamento de los pozos, 23
- Esquistos, 10
- , de arcilla, 10
- Estabilización de la formación, 60
- Estratificación, 10, 17, 54
- Estructura de las corrientes, 37
- Evidencia superficial, exploración de agua de suelo, 33, 37
- Exploración del agua del subsuelo, 33

## F

- Faja intermedia, 7
- , —, agua del subsuelo, 7
- Fallas, 34
- Filtración, efectos sobre la calidad del agua de suelo, 26, 160
- Fisuras, 26, 161
- Fluido de perforación, funciones de, 74, 94, 97
- Flujo, base, 3
- , convergente, 19
- , dirección de, 34
- , velocidad de, 16, 26, 161
- Flujo, hacia los pozos, 19
- , laminar, 16
- , resistencia al, 17
- Fluorosis dental, 29
- Fluoruro, 29
- Fondo de deslave, 97
- Formación consolidada, 8
- , impermeable, 64
- , laminada, 61
- , muestras de, 71, 79
- , no consolidada, 1, 8, 79, 161
- , penetrada, registro de, 36, 79
- , —, —, portadora de agua, compactación de, 115
- , —, —, estabilidad por medio del desarrollo del pozo, 115
- , —, —, 7, obstrucción de, 115, 128
- , —, —, transmisión de la contaminación en, 159
- Formaciones geológicas, 8
- Formas de tierra, 36
- Fosas sépticas, 159
- Fosos de grava, 35
- Fotografías aéreas, 34, 35
- Fracturas, 10
- Fricción, 138
- , pérdidas por, 153
- Fuentes contaminantes, 2
- , de agua del subsuelo, 3, 159, 161
- Fuerzas capilares, 7
- Fuga, 21
- Función de conducto de las capas acuíferas, 14

## G

- Gelificación, 77
- Geofísica, 33
- Geología, efecto sobre la calidad del agua, 31
- Gradiente hidráulico, 16, 19
- Grados de bombeo, 128, 130, 143, 147, 157-158
- Granito, 9
- Grava, 9, 12, 94
- , envoltura de empaque, espesor de, 62, 124
- Grillete de cable, 80, 115 (véase también Grillete de línea de cable)
- Grillete de línea de cable, 111 (véase también Grillete de cable)

## H

- Herbicidas, 31
- Herramientas de perforación, (véase Métodos de perforación)
- , almacenamiento, 106
- , cuidado y uso de, 104
- , registro de dimensiones, 106
- , uniones de herramientas, recuperación, 106
- Herramientas para pesca, amortiguador de percusor, 114

## M

- → arpón de centros de cable, 110
- → bloque de impresión, 106
- → dado de enchufe, 109
- → enchufe corredizo, 108
- → gancho de pared, 108
- → grillete de combinación, 112
- → herramienta ahusada, 108
- → percusores de pesca, 80, 111
- → perforadora, 111
- Hidrólogo, 34
- Hierro, 29, 31, 58
  - , bacteria, 58, 128, 131
  - , hidróxido, 128, 130, 134
- Hinca del entubado del pozo, 82
- Hinca de la punta del pozo, 68, 99
- Hipoclorito de calcio, 125, 133
  - , almacenamiento de, 126
  - , solución de reserva, 126
- Hipoclorito de sodio, 126, 134
- Hormigón, 62, 163
- Huellas de elementos, 31
- Inclinación de la formación, 34
- Incrustación, 57, 129
  - , reducción de, 130
- Infiltración, 5, 21
- Insecticidas, 31
- Interferencia, 21, 152
  - , definición de, 21
- Intersticios, 26
- Inyección, (véase Métodos de perforación)
  - , alta velocidad, desarrollo de pozos, 121
  - , con agentes dispersantes, 124
  - , tratamiento con cloro, 133

## L

- Labores de pesca, 108
  - , cuello del grillete del cable, 114
- Labores de pesca, liberación de percusores atrapados, 114
  - , línea de cable rota, 111
  - , medidas preventivas, 104
  - , objetos cilíndricos, 112
  - , pasador de herramienta, 112
  - , preparaciones para, 106
  - , tubería de perforación dividida, 108
- Lagos, 35
- Lana de plomo, 96, 101
- Lava, 10
- Lechada, cemento, 85, 96, 101
  - , aplicación, 64, 84
  - , mezcla, 86
  - , tiempo para fraguar, 88
  - , de barro amasado, 86, 135, 163
- Lechos de ríos, 48
- Letrina de foso, 161
- Ley de Darcy, 15, 19
- Límite, efectos, 20
  - , impermeable, 22
  - , negativo, 22
  - , positivo, 22
- Limpieza por oleaje, tratamiento con cloro, 133
  - , desarrollo del pozo, 117
- Líneas de contorno, 35
- Localización de pozos, 24, 29, 33, 36, 161
- Lodo de perforación, 71, 94, 96, 115, 124
  - , espesor de, 78
  - , propiedades de, 76
  - , propiedades de gelificación, 124

## LL

- Llanuras aluviales, 36
  - , costeras, 37
  - , ríos, 37

## M

- Magma, 10
- Magnitud del porcentaje, definición, 51
- Manganeso, 28, 58
- Mantenimiento de los pozos, (véase Pozos, mantenimiento)
- Mapa de contorno de la capa acuífera, 36
- Mapas geológicos, 34
- Máquina, 136, 142, 148
  - , diesel, 155
  - , gasolina, 155
  - , Kerosina, 155
- Marga, 9
- Mármol, 10
- Materia en suspensión en el agua de suelo, 26
- Material para empacar con grava, clasificación de, 61, 124
- Material para empacar con grava, selección, 61
- Metemoglobinemia, 29
- Métodos de perforación, 66, 90
- Métodos para enlucir, 87
- Métodos para enlucir, colocación por gravedad, 87
  - , —, tubería exterior, 88
  - , —, tubería interior, 87
- Métodos para perforar pozos, (véase Métodos de perforación)
- Minerales, solución en el agua, 28
  - , velocidad requerida del viento, 155
- Molinos de viento, 136, 155
- Motor eléctrico, 136, 142, 148
  - , sumergible, 151
- Munición de plomo, 96, 101

## N

- Necesidades de agua para la agricultura, 2
- Nivel de bombeo del agua, 64, 138, 152
  - , industria, 2
- Nitrato, 29
  - , definición de, 20
  - , estimación de, 152
  - , estático del agua, 19, 124, 127, 138
  - , definición, 19
- Normas para el agua potable, Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de América, 27

## O

- Olores en el agua del subsuelo, 26, 31
- Operaciones de pesca, 103
- Organismos, productores de enfermedades, 26, 125, 160
- Oxígeno disuelto, 30, 57

## P

- Pantanos, 37
- Parasitoides, 31
- Pared de lodo en los agujeros, 31
- Partículas, disposición de, 17
  - , Distribución de, 18, 54
  - , empaque de, 9, 17
  - , forma de, 12
  - , redondez de, 9
  - , selección de, 9
  - , tamaño de, 12, 17
  - , esciércol de, 159
- Percolación, beneficios de, 3, 27
- Percusores, perforación, (véase métodos de perforación)
  - , pesca, (véase herramientas para pesca)

**P**

Perforación por percusión, (véase métodos de perforación)  
 Perforación por percusión con cable y herramienta, (véase métodos de perforación)  
 Perforación por percusión hidráulica, (véase métodos de perforación)  
 Perforación por rotación hidráulica, (véase método de perforación)  
 Perforación rotatoria, (véase métodos de perforación)  
 Permeabilidad, 15, 33, 52, 120, 161  
 Permeabilidad, 15, 36, 52, 120, 161  
 —, Coeficiente de, 16  
 —, Factores que afectan 17  
 Permeable, 8  
 Pesca, definición, 104  
 pH, 51 posición, 107  
 Polifosfatos, 134, 124  
 Poro, 5, 14, 160  
 Poros, continuidad e, 17  
 —, volumen de, 17  
 Porosidad, 17, 161  
 —, definición, 159  
 Poroso, 8  
 Pozo abandonado, 162  
 Pozo de flujo artesiano, 13, 40, 125  
 —, no artesiano, 13  
 Pozos, apuntes, 36  
 —, arreglo de, 24  
 —, artificialmente empacados con grava, 43, 55, 60, 99  
 — — —, condiciones que favorecen el uso, 61  
 — — —, desarrollo de, 124  
 —, capacidad, 136, 152  
 — — —, disminución de, 121  
 —, cavados, 135  
 —, eficiencia de, 50, 52, 55, 61  
 —, entubado, diámetro de, 40, 48  
 — — —, enlucido v sellado, 64, 84  
 Pozos, funcionamiento, 39, 127  
 —, mantenimiento de, 127  
 —, hidráulica, 12  
 —, hincados, (véase métodos de perforación)  
 —, inventarios de, 33, 36  
 —, localización, 34, 29, 33, 36  
 — — —, con relación a las fuentes de contaminación, 161  
 —, mantenimiento, 127  
 —, materiales para, resistentes a la corrosión, 39, 56  
 — — —, requerimientos de resistencia, 56, 59  
 — — —, selección de, 56  
 —, operaciones de mantenimiento, 130  
 — — —, agentes dispersantes, 134  
 — — —, conservación de registros, 129  
 — — —, frecuencia de las observaciones, 130  
 — — —, planeación de, 129  
 — — —, aplicaciones el ácido, 131  
 — — —, precauciones, 133  
 — — —, tratamiento con cloro, 133  
 —, productores de arena, 54  
 —, punta de, instalación, hincas, 67, 99  
 — — —, en pozos cavados, 135  
 — — —, método de agujero abierto, 99  
 — — —, método de retroceso, 99  
 Pozos, punta de, tipos de, 45  
 —, rejilla de, 40, 122  
 — — —, diámetro de, 47, 56  
 — — —, diseño, influencia sobre las características de la capa acuífera, 48

**P**

— — —, influencia sobre el desarrollo del pozo, 115, 123  
 — — —, instalación, 91  
 — — —, en pozos empacados con grava, método de retroceso, 99  
 — — —, gancho descendente, retroceso, 99  
 — — —, método de inyección para el asentamiento combinado del entubado y la rejilla, 97  
 — — —, tipo de ranura continua, 40, 123  
 — — —, velocidad de entrada en, 42, 47, 56, 130  
 — — —, sección cubierta de, 39  
 — — —, sección de admisión de, 39  
 Precipitación, 5, 21  
 Presión, 15, 19, 31, 47, 121, 138, 136, 144  
 —, atmosférica, 137  
 —, capa acuífera, 12  
 —, diferencias de, 16  
 Presión artesiana, 163  
 —, de flujo artesiano, 13  
 Procesos de purificación natural en los suelos, 160  
 Procesos geológicos, 11  
 Protección sanitaria, depósitos de agua del subsuelo, 159  
 Protección sanitaria, pozos, 62, 162  
 — — —, sello del pozo, 64  
 Prueba de bombeo, 152  
 Punta de hincar, (véase punta de pozo)  
 Puntas de broca, (véase métodos de perforación)

**R**

Radio de influencia, 20  
 Recarga, 20, 24  
 —, área de, 13, 20, 34  
 —, definición, 14  
 —, efectos de, 20  
 Recursos de agua del subsuelo, desarrollo de, 3, 5  
 — — —, administración de, 3  
 Rehabilitación de un pozo, 127  
 Rejilla, (véase de pozo)  
 Rejilla de pozo, aberturas, formas de, 41  
 — — —, normalización de tamaños, 55  
 — — —, obstrucción de, 128  
 — — —, tamaño de, 51  
 — — —, área abierta, 41, 56  
 — — —, base tubo, 43  
 — — —, instalación, gancho descendente, 92  
 — — —, método de agujero abierto, 94  
 — — —, método de lavado, 96  
 — — —, método de retroceso, 91, 99  
 — — —, longitud de, 47, 56  
 Rejilla de pozo, ranuras, tubo plástico, 46  
 — — —, recuperación, método de unión-arena, 101  
 — — —, tamaño telescopio, 48, 56, 91  
 — — —, tamaño tubo, 49, 56  
 — — —, tipo de lumbrera o persiana, 43  
 Relleno de valle, 37  
 Rendimiento, 9, 23, 35, 37, 58, 127, 131, 152, 163  
 —, específico, 14  
 — — —, definición, 14  
 Resumideros, 26, 29, 159, 161  
 Retención específica, 14  
 Retretes, 27, 29, 159  
 Ríos de agua salobre, 28  
 Rocas, acción del tiempo sobre, 8  
 —, blandas, 8  
 —, clasificación de, 8

**R**

—, consolidadas, 8, 26, 34, 161  
 —, definición, 8  
 —, Depósito de,  
 —, duras, 8  
 —, erosión de, 8  
 —, extrusivas, 10  
 —, ígneas, 8, 29  
 —, intrusivas, 10  
 —, metamórficas, 8, 10  
 —, no consolidadas, 1, 8, 34  
 —, plutónicas, 10  
 —, sedimentarias, 8  
 Rocas, transporte de, 8  
 —, volcánicas, 10

**S**

Sabores en el agua de suelo, 26, 28, 30  
 Salud pública, 1  
 Secciones transversales geológicas, 34  
 Sedimentos, 10  
 —, terrestre 11  
 Sequía, 3  
 Sistemas de pozos múltiples, 22  
 Sólidos totales disueltos, 30, 57  
 Solvente, agua como, 27  
 Sustancias químicas tóxicas en el agua,  
 31  
 Succión, 153  
 —, altura de, 123, 137, 144, 153.  
 — — —, definición, 137  
 Sulfato, 30, 128  
 Sulfuro de hidrógeno, 31, 57

**T**

Tamices, normas, 52  
 Tamizado de la arcilla, 50  
 Temperatura, 16, 26, 138  
 Terrazas, 11, 35  
 Textura de las rocas, 8

**T**

Torta de lodo, 77, 100, 119  
 Transmisibilidad, 16, 20, 36  
 —, coeficiente de, definición, 17  
 Transmisividad, coeficiente de, 16  
 Transporte, roca, 8  
 Tratamiento, agua, 26, 30  
 Tratamiento con cloro, (véase Operaciones  
 de mantenimiento de pozos)  
 Tratamiento químico de los pozos, (véase  
 Tubería, abrazadera de, 84, 102  
 Operaciones de mantenimiento de pozos)  
 —, cloruro de polivinilo, (cpv) 58  
 —, hierro negro, 131  
 —, para enlucir, 87  
 —, plástico, 46, 58, 131  
 —, ranurada, 39, 123  
 —, uniones con espigas, 46  
 Tubo capilar, 7

**U**

Uso de la tierra, 36

**V**

Vacío, 138, 144  
 Valles, 11, 35  
 Vástago de perforación, 73  
 Vegetación, 7, 36  
 Velocidad, 15, 19, 40, 57, 128, 136, 144  
 —, carga, 153  
 Vesículas, 10  
 Viento, 37, 154

**Z**

Zapata de entubado, 82  
 Zapata de hincas, (véase Zapata de entu-  
 bado)  
 Zona de aireación, 5  
 —, saturación, 5

ESTA OBRA SE TERMINO DE IMPRIMIR EL DIA 25  
 DE MARZO DE 1976, EN LOS TALLERES DE OFFSET  
 REBOSAN, S. A., ZACAHUITZCO 40, MEXICO 13, D. F.

LA EDICION CONSTA DE 2,000 EJEMPLARES  
 Y SOBANTES PARA REPOSICION

KE-90

## OBRAS AFINES

Una obra moderna y original, que cubre en forma extensa este importante campo de la Ingeniería, tanto en su aspecto teórico como en el de las aplicaciones prácticas.

Obra de consulta para profesionales, trata sobre el planeamiento, diseño, financiamiento, construcción y operación de las obras de captación, conducción y distribución de aguas, así como de la evacuación de las aguas residuales.

Este libro ayuda a satisfacer, en forma amplia y moderna, las crecientes necesidades industriales de agua de la más alta calidad, estudiando todos los métodos efectivos de acondicionamiento.

Un grave problema ecológico, característico de nuestra época, es el de la contaminación de las aguas superficiales provenientes de ríos y lagos, puesto que el agua es el elemento indispensable para la supervivencia e higiene de la especie humana e imprescindible para la agricultura e industria.

El inadecuado suministro de agua origina graves problemas de salud, fenómeno agudizado en los países del tercer mundo, donde las dos terceras partes de la población la recibe de fuentes contaminadas, ocasionando que cinco millones de niños mueran anualmente por causa de enfermedades diarreicas.

Las aguas del subsuelo generalmente son, por su filtración natural, de mejor calidad física, microbiológica y química; evitan gastos de conducción y se obtienen a más bajo costo que las superficiales. Pese a ello y a su relativa abundancia, han desempeñado un papel inferior en el aprovisionamiento, por desconocer su existencia, circulación y captación, así como por la falta de aplicación de los métodos modernos aportados por la investigación y la tecnología.

Esta obra proporciona una amplia información sobre: localización del depósito y selección del mejor lugar, diseño y construcción, elección de bomba y terminación del pozo; agregando, además, valiosas instrucciones sobre conservación, protección sanitaria, mantenimiento y rehabilitación.

Este manual se ha preparado para Ingenieros, geólogos, hidrólogos, agrónomos, agricultores, maestros y estudiantes de Ingeniería Sanitaria, así como para todas aquellas personas relacionadas con el abastecimiento de agua en forma particular o para la comunidad.