

Well Construction Manual

Spanish Language Version

INTRODUCCIÓN

El agua fresca y cristalina es algo preciosa; toda la vida depende de ello. Sin embargo, mucha gente en los países en desarrollo obtiene agua de fuentes contaminadas o que no son confiables debido a variaciones en la estación lluviosa o a sequías. La primera prioridad es asegurar que la gente reciba suficiente agua, no importa la calidad, para tomar, lavar, hidratar a los animales e irrigar sus siembras. La segunda prioridad es proveer mejor calidad de agua, ya que el agua contaminada puede resultar en la transmisión de muchas enfermedades.¹

Además de la mejora en la salud, uno de los principales beneficios de una nueva fuente de agua es el de economizar tiempo y esfuerzo en la recolección del agua.²

Escogiendo una fuente de agua

Cuando una comunidad decide que necesita más y/o mejor calidad de agua, debe decidir qué tipo de fuente es posible y que mejor se ajuste a sus necesidades; un pozo no es siempre la fuente de agua más apropiada para una región en particular. Para hallar la forma más económica y confiable de proveer la cantidad de agua limpia requerida, es necesario considerar lo siguiente:

- 1) **Agua de lluvia:** El agua de lluvia puede ser recogida de los techos o de canales protegidos a nivel del piso y guardado en cisternas cubiertas (para evitar contaminación). Sin embargo, aún en las regiones húmedas, el agua de lluvia solo puede usarse para complementar otra fuente, ya que generalmente hay períodos prolongados de estación seca o de sequía.
- 2) **Aguas de superficie:** Las quebradas, ríos y lagos son fuentes de agua usadas comúnmente. Aunque no se necesita construcción para habilitarlos para proveer agua, la calidad del agua casi siempre es pobre.
- 3) **Ojos de agua:** Se encuentra mucho agua en el suelo y en las rocas en casi cualquier lugar bajo la superficie terrestre. Los ojos de agua se forman donde el agua subterránea intercepta la superficie terrestre. Aunque en la mayoría de las veces esta agua puede llevarse a través de tuberías sin bombeo, debe usarse con discreción porque su rendimiento de agua no es confiable y/o puede estar contaminado.³
- 4) **Pozos:** El agua subterránea también se puede usar por medio de la construcción de un pozo por bombeo. Un pozo es un hoyo cavado o perforado lo suficientemente profundo en el suelo para alcanzar la capa que por lo menos está parcialmente llena de agua ("capa acuífera"). El agua que entra en el fondo de un pozo se ha filtrado en el suelo y es más limpio que el agua de superficie (ver apéndice 2). La construcción de pozos es el método más confiable para satisfacer las necesidades de agua de las comunidades rurales en los países en desarrollo.

¹ Ochenta por ciento de las enfermedades en los países en desarrollo se relacionan con el agua: tifoidea, cólera, disentería, giardiasis. Para evitar estos problemas debemos mantener un control estricto sobre la calidad del agua. Aunque no se discute en este manual, los buenos hábitos de higiene son críticos: aún cuando el agua proviene de fuentes confiables, puede contaminarse antes de ser usado para consumo doméstico.

² Las mujeres de áreas rurales frecuentemente pasan más de una hora al día recogiendo agua; generalmente es la tarea de mayor consumo de tiempo. En áreas áridas donde las fuentes de agua están distantes, la recolección de agua puede consumir más de 30 por ciento de las calorías ingeridas por las mujeres en un día. (Cairncross, 1987).

³ Con frecuencia el flujo de los ojos de agua se reduce considerablemente durante la estación seca. Además, la contaminación bacteriana de los ojos de agua es común y puede ocurrir cuando la precipitación infiltrada se mueve a poca distancia a través del subsuelo antes de brotar (esta distancia puede no ser suficiente para remover o filtrar bacteria y otros organismos que son perjudiciales a la salud).

Tipos de construcción de pozos

Los pozos se pueden construir excavando, taladrando, perforando, por sistema de chorro y barrenando. Los dos primeros métodos de construcción son los más usados y se resumen a continuación.

Excavación manual

La excavación manual es la técnica de construcción de pozos más antigua. Mientras que los costos de capital inicial son bajos, la excavación manual es lenta⁴ y pueden haber costos ocultos⁵. Ya que es difícil excavar a más de uno o dos metros por debajo de la lámina acuífera, los pozos cavados a mano generalmente se secan durante la estación seca o cuando hay sequías. Finalmente, los pozos cavados a mano son más susceptibles a polución por fuentes de contaminación en la superficie o cerca de la superficie.

Taladrando con equipo de cable

Al usar el equipo de cable, se levanta y se deja caer repentinamente un pesado tubo de barrenar y la broca de barrena. Esta acción de cortar y martillar rompe la estructura en fragmentos que pueden ser removidos del hoyo por una cuchara o cubeta saca lodo. Usualmente la tubería de revestimiento se empuja hacia adentro a medida que avanza el hoyo. El equipo de cable es capaz de penetrar la mayoría de las formaciones, es el equipo más versátil y económico de mantener y operar y produce pozos de buen rendimiento al fracturar la roca que se está taladrando. Por desdicha, el equipo es costoso, la perforación es muy lenta y depende directamente de la habilidad de los operadores.

Perforación rotativa

En muchas áreas, se ha reemplazado el equipo de cable por el taladro hidráulico rotativo porque es más rápido y penetra a mayor profundidad en la mayoría de las formaciones. El equipo rotativo es el más caro de mantener y operar y requiere el más alto nivel de habilidad técnica. En la perforación rotativa con lodo, se utiliza un tubo hueco y una broca de barrena para cortar las formaciones. Se circula un líquido de perforación espeso (lodo) para mantener el hoyo abierto y remover los recortes. El lodo se bombea hacia abajo en los tubos de perforación, a través de la broca de barrena y se mueve hacia arriba entre las varillas y el hoyo abierto hacia un tanque de asentamiento en la superficie⁶. Generalmente no se le pone la tubería de revestimiento al pozo hasta que se encuentre una formación aceptable en la sobrecapa o que el hoyo llegue a un nivel de roca.

⁴ Debido a que el taladro funciona con petróleo, el obrero se fatiga menos que en la excavación manual. El volumen de tierra y roca removido también es menos – un pozo de 30 m con 11.5 m. de diámetro cavado manualmente requiere remover aproximadamente 50 metros cúbicos de suelo y roca; uno de 30 metros, con 20 cm. de diámetro requiere la remoción de aproximadamente un metro cúbico de tierra y roca.

⁵ Incluye accidentes; una piedra que caiga de una pared de una excavación profunda sobre la cabeza de una persona 10 metros abajo puede causar heridas graves. También, los pozos cavados a mano frecuentemente tienen paredes recortadas, inestables que pueden colapsar, lastimando o matando a los obreros que están dentro.

⁶ A veces el flujo del líquido de perforación se invierte de modo que se mueva por gravedad desde el tanque de asentamiento en la superficie hacia abajo por el anillo entre los tubos de perforación y la pared del taladro, y se bombea hacia arriba por dentro de los tubos de perforación para volver al tanque de asentamiento. Este método se usa principalmente para construir pozos municipales o industriales de gran diámetro (0.5 a 1.5 m de diámetro) y de alta capacidad.

En la perforación rotativa con aire se usa el aire comprimido, en vez del lodo, para remover los recortes del hoyo. La perforación rotativa con aire se usa para taladrar formaciones de sobrecapa o lechos de roca que no colapsaría, por ejemplo, arcilla dura. A veces se usa un martillo neumático ("down-hole-hammer"). Este método combina el efecto de percusión con equipo de cable con la acción rotativa de la perforación rotativa. Es el método más rápido para taladrar formaciones de roca dura.

Torre de perforación LS-100

La experiencia en países en desarrollo nos ha mostrado que la construcción de pozos perforados debe ser simple y eficiente. Esto mantiene los proyectos económicamente viables, mantiene un cierto ímpetu y realza el entusiasmo local. La mayoría de las torres de perforación rotativas y de lodo, sin embargo, son muy caras para comprar, requieren un alto grado de mantenimiento sofisticado, programas de perforación bien organizados y operadores altamente calificados. Es, por lo tanto, muy prudente seleccionar una torre de perforación pequeña y sencilla que producirá hoyos a una velocidad un poco menor, pero con menor requerimiento de reparación y mantenimiento y menor demanda de piezas importadas y de divisas.

La LS-100 es una pequeña máquina de perforación de lodo rotativo portátil manufacturada por Lone Star Bit Company (ver apéndice 4). Usando esta pequeña torre de perforación es posible completar rápidamente y de forma segura pozos de agua seguros y confiables. Según datos de Hamann (1992), las ventajas de la LS-100 incluye: costos comparativamente bajos, movilidad, y la velocidad y profundidad que puede alcanzar la torre comparada con métodos manuales (ver tabla 1). Las desventajas de esta máquina son que está limitada a barrenar hasta una profundidad de 100 pies y que no penetra efectivamente la roca dura, peñas sueltas o grava gruesa (actualmente se está desarrollando una versión nueva rotativa de aire de la LS-100 para barrenar en estos medios).

Tabla 1: Comparación entre las técnicas de construcción de pozos		
Factor de comparación	Excavación manual	Perforación con LS-100
Costo capital	Bajo	Moderado
Tecnología	Existente	Nueva
Método	Establecido, familiar, tradicional	Requiere capacitación especial
Esfuerzo	Gran esfuerzo que une toda la comunidad	Depende de pocos perforadores
Tiempo para completarse	Semanas o meses	Días
Seguridad	Colapso, riesgo de caída de rocas al cavar hoyos profundos	Nadie en el hoyo
Contaminación	Susceptible si el forro o tapa no es hermético; poca profundidad de agua	Protegido por hoyo sellado y revestimiento continuo
Descontaminación	Difícil	Fácil
Almacenaje de agua	El diámetro grande permite que el almacenamiento aumente el bajo rendimiento	No permite construir pozo útil en acuíferos de bajo rendimiento
Limitaciones	Profundidad del pozo limitado a 1-2 metros dentro de la capa de agua	Las rocas grandes o el estrato bien cimentado demoraría o detendría la perforación
Mantenimiento	Equipo mínimo de fácil acceso	Puede depender de piezas difíciles de obtener

Decisión de barrenar con la LS-100

Una pequeña torre rotativa de lodo para barrenar es solo una minúscula parte de una solución a un gran problema. El éxito en el uso del equipo de barrenar depende de muchos factores incluyendo unas condiciones geológicas favorables del subsuelo, habilidades técnicas y experiencia, apoyo de la comunidad, y un compromiso de mantenimiento, educación y comunicación con otros con relación a los éxitos y fracasos de perforación. Al momento de decidir barrenar o no con la LS-100, se deben considerar los siguientes factores porque pesan fuertemente sobre el éxito o fracaso del proyecto de perforación:

- ◆ ¿Hay personas locales que ya han utilizado la técnica de perforación rotativa con lodo? Si no, ¿hay personas con habilidades mecánicas dispuestas a aprender a barrenar y dar mantenimiento a la maquinaria?
- ◆ ¿Hay personas locales dispuestas y capaces de mantener el pozo una vez que se instale?
- ◆ ¿Hay disponibilidad de los materiales básicos (tubería, petrol, cloro)?
- ◆ ¿Hay suficiente apoyo técnico disponible para asistir si se encuentran dificultades?
- ◆ ¿Qué equipo, si necesario, (piezas para el motor, colador de pozo, bomba manual, etc.) se tendrá que importar? ¿Cuán confiable es el proveedor?
- ◆ ¿Aceptan los posibles usuarios el proceso de barrenar y tomar agua de una bomba manual?
- ◆ ¿La gente local entiende los costos asociados (tiempo, dinero y esfuerzo)?
- ◆ ¿La gente se siente comprometida a participar activamente para completar el proyecto?

Deben completarse por lo menos 5 pasos a fin de aumentar la posibilidad de realizar exitosamente un pozo seguro de agua potable.

Paso 1: Determine la localización del pozo (basado en la necesidad y formaciones geológicas favorables);

Paso 2: Perfore un hoyo a la profundidad deseada (100 pies o menos);

Paso 3: Instale un revestimiento de PVC y colador con ranuras en el hoyo y empaque el pozo con filtros (para mantener el hoyo abierto y permitir la entrada de agua);

Paso 4: Desarrolle el pozo (para remover la turbidez del agua);

Paso 5: Construye una plataforma de concreto alrededor del pozo, instale una bomba y desinfecte el pozo.

El resto de este manual expone estos pasos en detalle.

SITIO DEL POZO

Cuando el equipo para barrenar está disponible, hay gran tentación de empezar a trabajar enseguida y perforar un pozo donde más se necesita el agua o donde deciden las autoridades locales. Aunque estas consideraciones son válidas, se debe resistir fuertemente la tentación; los pozos deben situarse cuidadosamente de modo que la perforación solamente ocurra donde el LS-100 tiene alta probabilidad de tener éxito penetrando formaciones acuíferas y donde el pozo podrá ser usado con efectividad, mantenido y protegido de contaminación. En vista de que cada hoyo no resulta en un buen pozo, la planificación con anterioridad y escoger cuidadosamente el sitio aumentará el número de pozos exitosos y minimizará los costos de perforación.

Para tener éxito en encontrar sitio para pozos, los involucrados deberán saber algo sobre los lugares donde hay aguas subterráneas y como llega el agua a esos lugares (ver apéndice 2). Para identificar lugares donde hay gran probabilidad de perforar pozos con una provisión abundante de agua limpia, debemos primero estudiar las condiciones locales de agua subterránea, el tipo de subsuelo, topografía, agua de superficie, vegetación, posibles fuentes de contaminación y considerar la accesibilidad de los usuarios.

Las fotografías aéreas, informes geológicos, historia de pozos y mapas topográficos resultan útiles en el estudio de estos factores (ver apéndice 9 para fuentes). De ser posible, se debe buscar ayuda de especialistas en aguas subterráneas para usar técnicas geofísicas para definir las condiciones del subsuelo⁷. Esto es sumamente importante en áreas donde las fotografías aéreas y la información hidrogeológica son deficientes, donde la precipitación pluvial local es menor de 700 mm/año (White, 1987) y donde solamente las rocas proveen fuente de agua adecuadas (Dijon, 1981). A pesar de todo, generalmente, la mejor fuente de información para situar un pozo es conversar con personas que han cavado pozos locales y la inspección personal de los pozos en el área. Aunque esto puede consumir tiempo, es sumamente importante y contribuye a un mejor entendimiento del área y la selección del mejor lugar para un pozo exitoso.

Profundidad, cantidad y calidad del agua subterránea

Donde existen pozos cavados, es posible determinar la profundidad hasta el agua, la geología y cantidad y calidad de agua esperada. La historia de los pozos antiguos indicará a qué profundidad cae el nivel del agua durante la estación seca e indicará a qué profundidad se deben hacer los pozos nuevos. **En general, el LS-100 solo debe usarse en áreas donde la gente está recibiendo agua de pozos artesanos (menos de 40 metros de profundidad).** Solamente se debe intentar esta perforación después de haber cavado numerosos pozos en área donde hay poca información sobre aguas subterráneas o donde las

⁷ El éxito en situar pozos productivos ha mejorado de 50 - 60 por ciento (basado en el reconocimiento del sitio e interpretación de fotografías aéreas) a más de 90 por ciento cuando se utiliza tecnología geofísica (White, 1987). La inspección geofísica emplea instrumentos que rápida y económicamente miden las propiedades físicas del suelo y las rocas (densidad, magnetismo, conductividad eléctrica, radioactividad, etc.). La inspección geofísica puede ser muy valiosa para localizar zonas de fallas portadoras de agua, para encontrar el espesor adecuado de sobrecapa o lecho rocoso y para determinar profundidad de la lámina acuífera (ver Hazell et al., 1992 y Reynolds, 1987). El éxito depende de aplicar las técnicas adecuadas, tener suficiente tiempo para la investigación, y tener geólogos capacitados para operar el equipo e interpretar los resultados (Driscoll, 1986). En algunos países, el gobierno proporciona la inspección geofísica como un servicio.

condiciones subterráneas (arcilla impermeable, piedra dura, etc.) han impedido la construcción de pozos artesanales.

Si se sanearan los pozos existentes para continuar usándolos, el nuevo pozo deberá perforarse lo más lejos posible para asegurar que ambos producirán suficiente agua sin interferir uno con el otro (tomando agua de la misma parte acuífera).

Tipos de suelo subterráneo

La cantidad (o rendimiento) de una fuente de agua subterránea es tan importante como su calidad. La única forma de saber exactamente cuanta agua hay disponible bajo tierra en una fuente acuífera (formación portadora de agua) en bombeando un pozo existente o recién construido. Sin embargo, se puede hacer un cálculo aproximado identificando el tipo de suelo y roca que compone la fuente acuífera.

La mayoría de los depósitos no consolidados (no cimentados) de partículas del tamaño de arena y grava contienen cantidades significativas de agua. Sin embargo, la cantidad de agua que se puede bombear realmente de estos depósitos depende de su grosor y permeabilidad (cuán fácil es que el agua fluya a través de él). De un modo general, cuanto más grande el tamaño del grano y más grueso el depósito, mayor es el rendimiento de la fuente acuífera.

Desdichadamente, el LS-100 no puede taladrar eficazmente a través de peñones (roca suelta mayor de 10 cm en diámetro) o a través de grava suelta mayor de 1-2 cm de diámetro (es muy difícil evitar que el hoyo colapse y es duro levantar la grava y sacarla del hoyo). Es, pues, importante inspeccionar otros pozos y declives profundos (laderas de los valles, frentes de colinas, canteras, etc.) para determinar si hay algunas rocas o grava espesa presente en el subsuelo.

A pesar de que los depósitos de arena y grava rinden gran cantidad de agua, trate de evitar situar y desarrollar pozos en depósitos de arena y grava de poca profundidad si la lámina acuífera está a menos de 3 metros bajo tierra. En estas condiciones, las aguas negras pueden fácilmente infiltrarse a la lámina acuífera cerca del pozo y contaminar la fuente de agua.

Los pozos construidos en suelos arenosos o de arcilla tendrán poco rendimiento indistintamente de cómo se construyan. Para compensar esto, se deben perforar cuidadosamente pozos de gran diámetro para que, con el tiempo, se acumulen lentamente grandes volúmenes de agua dentro del pozo y provean cantidades suficientes cuando se requieran.

Finalmente, las piedras consolidadas, tales como la roca calcárea o roca de cuarzo también pueden rendir cantidades adecuadas de agua. Los mejores rendimientos se encuentran donde hay muchas grietas (fracturas) y una zona espesa de roca a la intemperie (Dijon, 1981). En general, las rocas de granos finos, tales como arcilla esquistosa, no sirven como acuíferos productivos. También es importante enfatizar que el LS-100 no puede barrenar efectivamente a través de capas cimentadas de piedra o roca dura como granito o neis. Por

lo tanto, si hay capas de roca dura mayores de 1 a 2 metros de espesor cerca del sitio propuesto para perforación, se deberán considerar otros métodos.

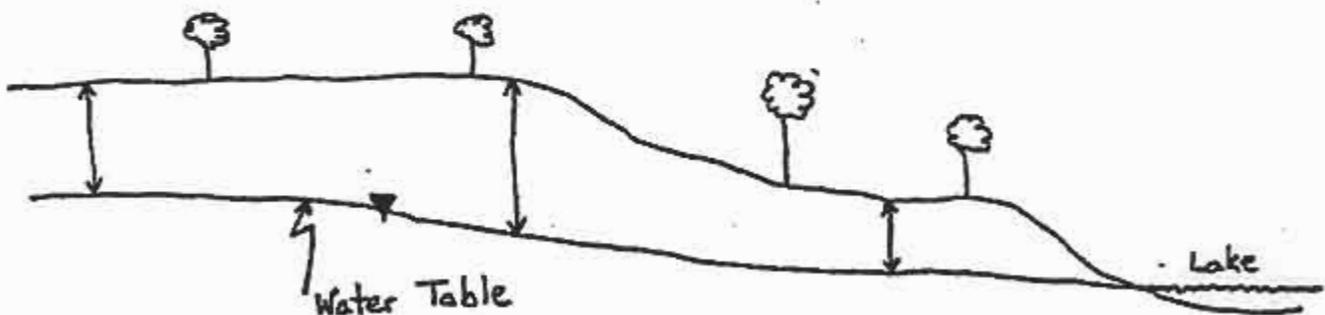
Vegetación

Ciertos tipos de árboles y plantas tienden a crecer donde el agua subterránea está cerca de la superficie. Los mejores indicadores de agua subterránea son cañas de crecimiento en toda estación, árboles de hojas anchas y arbustos de cedro y sauce. Las áreas de vegetación abundante en medio de un terreno árido son buenas indicadores de la presencia de agua subterránea. Los cultivos anuales, tales como hierbas y helechos, no son buenos indicadores porque van y vienen con la estación. La estación seca es la mejor época para inspeccionar la vegetación para indicadores de agua subterránea.

Topografía

Generalmente la lámina acuífera sigue a la superficie de la tierra (ver Figura 1). Mientras que la tierra más baja (fondo de valles o depresiones donde se acumula el agua después de la lluvia) es generalmente el mejor lugar para barrenar (Dijon, 1987), debe hacerse con cuidado para asegurar que el sitio tiene facilidad de acceso, que no está sujeto a inundaciones y que no está cerca de donde puede empozarse el agua superficial contaminada. La presencia de zonas acuíferas agrietadas puede ser detectada por características de la superficie, tales como depresiones lineales poco profundas y cambios súbitos en el alineamiento de valles. Muchas veces estas son difíciles de ver en el suelo pero resultan visibles desde el aire.

Figura 1: Profundidad del agua subterránea



Agua de superficie

Generalmente se puede perforar un buen pozo cerca de ríos; si el pozo es profundo, es posible que tenga agua aún cuando el río se seque temporalmente (figura 2). Hasta se han situado pozos confiables en o cerca de lechos de ríos anchos y arenosos los cuales están activos una vez cada 5-10 años (Dijon, 1981). El agua tomada de un pozo localizado por lo menos 15 m de un río es usualmente más limpia y fresca que el agua tomada del río. Si el agua del pozo permanece turbia después de la construcción, los suelos pueden estar proveyendo filtración inadecuada y el agua de río contaminada puede estar pasando hacia el pozo.

Debe darse especial consideración a la presencia de ojos de agua y rezumaderos (áreas húmedas y pantanosas). Un ojo de agua en la ladera de una loma puede indicar la presencia de formaciones acuíferas subterráneas. Con frecuencia se puede construir exitosamente un pozo dentro de esta formación acuífera perforando un poco más arriba del ojo de agua en la loma. Las huellas de animales generalmente nos conducen a rezumaderos y ojos de agua.

Finalmente, se puede usar los patrones de drenaje de la superficie para determinar el tipo de roca (figura 3):

- ◆ El drenaje enrejado y rectangular se desarrolla donde se encuentran presentes rocas sedimentarias fracturadas hundidas; estas son las áreas más favorables para formaciones acuíferas de alto rendimiento (Selby, 1985);
- ◆ El drenaje contorcido se desarrolla sobre rocas plegadas. A veces se desarrolla cerca del tope de los pliegues fracturas por tensión y grietas que retienen agua entre las capas de dureza diferente;
- ◆ El drenaje anular se desarrolla típicamente sobre cúpula volcánicas o invasoras (de granito), con arroyos que corren en las zonas de fracturas;
- ◆ Los patrones de dendríticos o ramificados con un gran número de tributarios son típicos del drenaje en áreas de roca cristalina impermeable tales como gneiss. Los patrones de drenaje paralelo pueden desarrollarse en áreas de estructuras acuíferas lineales tales como las fallas y diques.

Figura 2: Situando pozos cerca de ríos

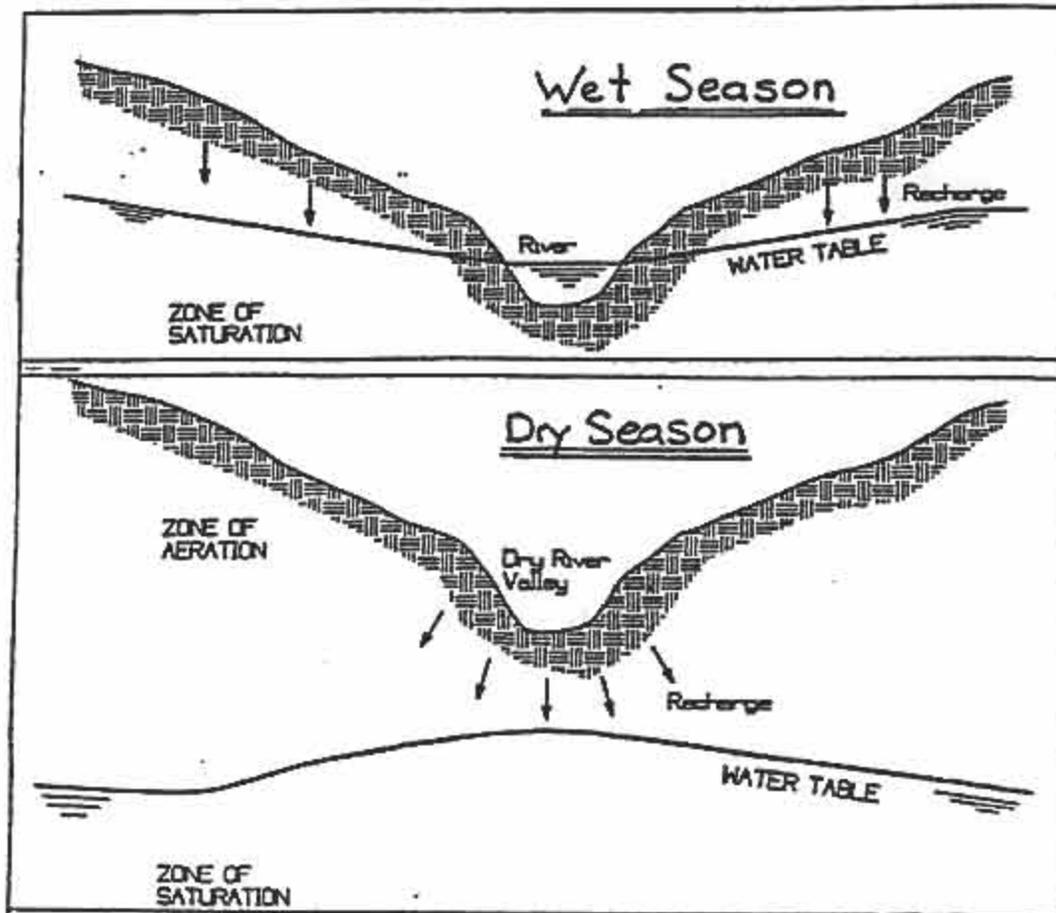
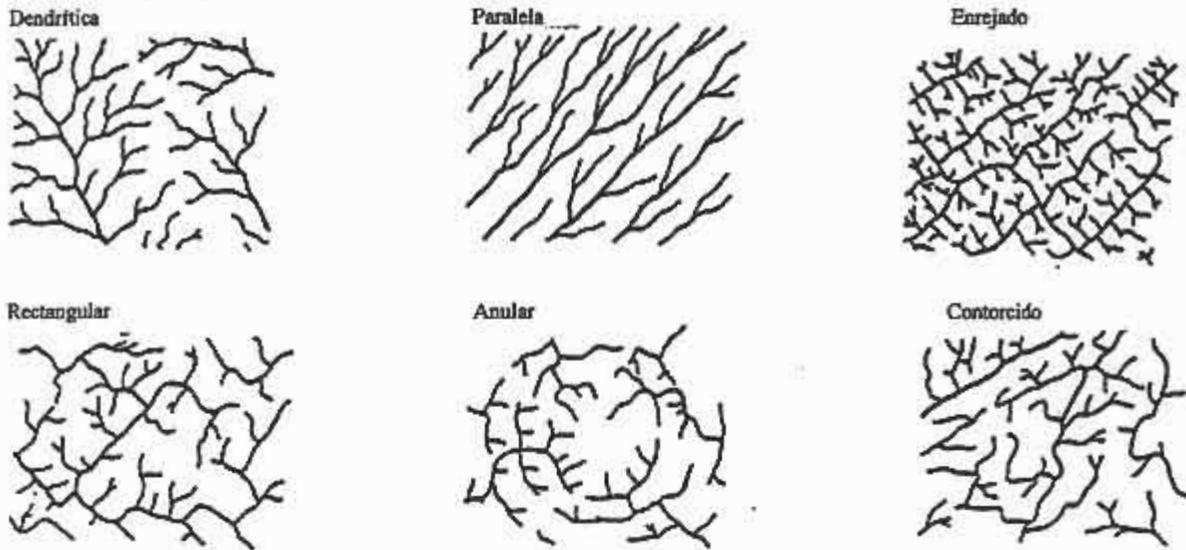


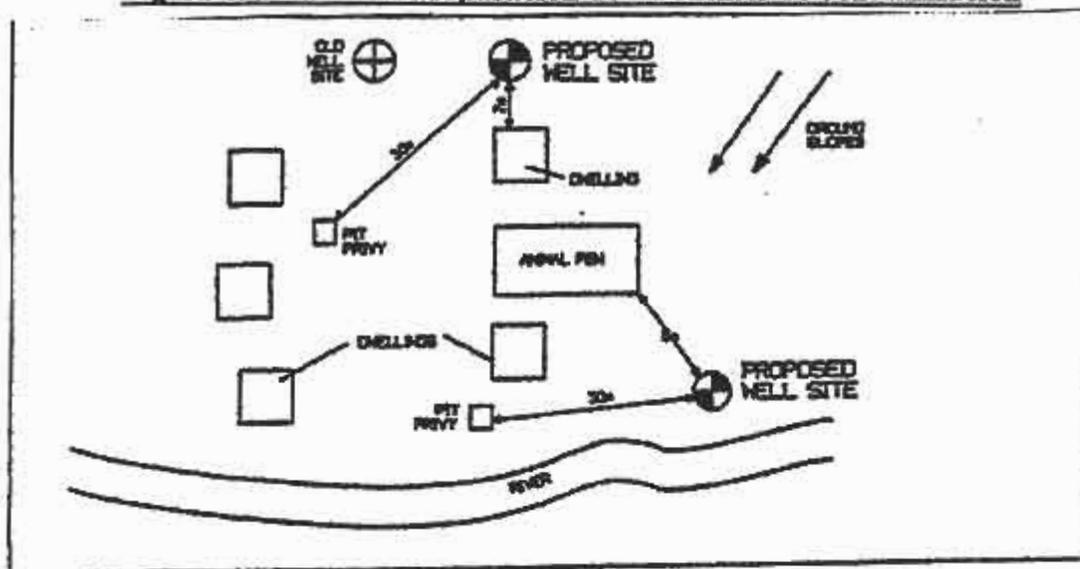
Figura 3: Patrones de drenaje**Fuentes de contaminación**

El agua subterránea debe estar libre de organismos causantes de enfermedades y debe ser clara y de buen sabor; de lo contrario la gente podrá volverse a sus fuentes de agua tradicionales inseguras. Esto se logra mejor evitando la perforación en áreas donde se sabe que el agua es inadecuada y manteniendo los pozos lo más lejos posible de las fuentes de contaminación potenciales. (Tabla 2, figura 4)

Tabla 2: Distancia de separación mínima de las fuentes de contaminación	
Distancia (m)	Posible fuente de contaminación
100	Vertederos de basura/ pilas de desechos, reparación de carros o venta de combustible (petrol), operaciones industriales/ locales del almacenaje, etc.
50	Sumideros o cloacas
30	Servicios de hueco (letrina), redil de animales, graneros, campos fertilizados con estiércol.
15	Tanque séptico, cuerpo de agua de superficie
7	Drenaje, rezumaderos, casa

Sitúe los pozos más alto (loma arriba) de las fuentes potenciales de contaminación cercanas (p.e., el suelo **No** deberá inclinarse desde las fuentes de contaminación hacia los pozos). Si esto no puede ser evitado, trate de situar los pozos lo más lejos posible en la ladera (p.e. no directamente en las faldas de las posibles fuentes de contaminación).

Figura 4: Distancia de separación de las fuentes de contaminación



L'ESPERANCE INTERNATIONAL
P.O. BOX 1006, ARCADIA, CA 91707
12254 BUSINESS CENTER DRIVE, IRVING, CA 92618
PHONE 951 922-4897 FAX 951 922-5785

Accesibilidad

Los pozos deben estar lo más cerca posible de las viviendas porque la gente usa mucho menos agua si los pozos están lejos de sus hogares. El uso cae de 40 litros por día (lpd) por persona cuando el agua se supe en el terreno a 15 lpd para fuentes que se encuentran a 200 m de distancia; este promedio se mantiene relativamente constante para distancias de hasta 1,000 metros (Cairncross, 1987). Solamente cuando los pozos se localizan a más de 1 km de las casas es cuando cae nuevamente el promedio de consumo, cayendo frecuentemente a menos casas es cuando cae nuevamente el promedio de consumo, cayendo frecuentemente a menos de 7 lpd⁸. Esto quiere decir que los **beneficios más significantes (que surgen por el aumento de consumo de agua) ocurren cuando los pozos reemplazan fuentes antiguas de agua que se encontraban a más de un kilómetro de distancia** (Cairncross, 1987)⁹.

⁸ Por razones de diseño, 5 lpd es el nivel de consumo mínimo y 25 lpd es una meta aceptable en lugares donde no es posible tener agua en tuberías que van directamente a las casas (Brush, 1977). Cabe notar que la cantidad de agua necesaria también puede verse afectada significativamente por el número de ganado que requiere agua y si el agua se tiene que usar para la irrigación de jardines.

⁹ Aun teniendo agua cerca y limpia, la educación es crucial. A menos que las personas entiendan los beneficios que puede traer el agua limpia, no harán uso adecuado de un pozo recién perforado y será de poco beneficio (Brush, 1977). La educación también es importante para el mantenimiento continuo del pozo; si las personas ven que el agua limpia es vital, estarán dispuestos a tomar un poco de tiempo y dinero ocasionalmente para mantener su fuente de agua segura y funcionando confiadamente (Brush, 1977).

Otro factor en la preparación del material para desarrollar pozos es la determinación de cuantos pozos se necesitan para servir a la población. Cuando más de 300 personas utilizan un pozo equipado con una bomba manual habrán largas filas esperando obtener agua.

Se debe establecer la localización de estructuras de agua subterránea existentes y planeada en la propiedad antes de iniciar la construcción del pozo. Por ejemplo, al bombear agua de un pozo localizado muy cerca de líneas eléctricas, las tuberías podrán entrar en contacto con las líneas y electrocutar a la persona que está sosteniendo la bomba.

Asegúrese que el sitio es accesible al año entero y que la ruta de acceso al pozo no es susceptible a inundación. Finalmente, asegúrese que el sitio tiene acceso legal aceptable a los usuarios desde el punto de vista social. Se deben evitar las disputas que involucran tierras de propiedad privada. Las leyes de posesión de terreno generalmente son diferentes a lo que estamos acostumbrados a ver y requiere consideración cuidadosa. El tener un pozo en la propiedad aumenta su valor por consiguiente es necesario determinar claramente un arreglo formal para el acceso antes de barrenar el pozo.

Preparación de un mapa del sitio

Debe prepararse un mapa de la comunidad y lugares vecinos. Agréguele al mapa todas las características relevantes tales como viviendas, establos de animales, letrinas, ríos, tierra fangosa, áreas de disposición de basura e indique el sentido del declive del terreno (ver figura 4). Dibuje todas las alternativas de sitios para pozos en el mapa y seleccione el mejor sitio (ver ejercicio de sitios en el Apéndice 10).

Raramente hay un sitio ideal y deben sopesarse la ventajas y desventajas relacionadas con cada sitio. La Agencia encargada de la Acción, la gente que usará el pozo y los perforadores deberán decidir juntos cual es el mejor sitio para la comunidad. Como la selección de un buen sitio es asunto de juicio y experiencia, siempre es recomendable buscar la ayuda de hidrogeólogos, aunque la investigación de éstos puede tomar tiempo y agregar algún costo al proyecto de perforación, ayudará a asegurar que se seleccione un sitio seguro y con abundante suministro de agua.

PERFORANDO CON LA LS-100

La LS-100 es una torre de perforación de lodo rotativa. El hoyo se perfora por la rotación de una broca de barrena al final de un tubo de perforación. Los recortes del hoyo se remueven por circulación continua de un líquido de perforar a medida que la broca de barrena penetra la formación. El tubo de perforación se conecta al motor del taladro. El líquido de perforar se bombea para abajo, hacia la broca de barrena del taladro, a través del tubo de perforación hueco usando una bomba centrífuga (bomba de lodo). El líquido fluye hacia arriba en el espacio anular entre el tubo de perforación y el hoyo a la superficie donde es canalizado a una mina de reposo y la mayoría de los recortes se caen. El líquido de la mina de reposo se desborda a una segunda mina (mina de succión). El líquido relativamente limpio de la segunda mina es entonces bombeado nuevamente al tubo de perforación y se repite el ciclo.

Preparación antes de la perforación

Antes de viajar a un sitio de perforación, hay un número de tareas que deben hacerse. Aunque a veces resulte necesario embarcarse en un proyecto de perforación sin que todas estas tareas estén completas, los proyectos tendrán mayor probabilidad de éxito y un nivel más bajo de frustración si pueden realizarse de antemano. Lo ideal es que hayan establecido una Agencia encargada de la Acción y un Comité de Agua de la Comunidad. Dentro de este contexto, antes de barrenar asegúrese que:

- ◆ Las personas que se capacitarán en el uso de la LS-100 ya han sido seleccionadas y están disponibles. Cada persona debe tener un alto grado de habilidad técnica, experiencia en haber realizado personalmente algún trabajo de tipo físico y ser meticuloso sobre detalles y mantenimiento. Es sumamente importante que cada persona este dispuesta a asumir un compromiso por tiempo prolongado, desee proveer agua segura, de fuentes confiables y debe tener un profundo deseo de compartir lo que Dios ha hecho en su vida;
- ◆ Se han seleccionado sitios de perforación convenientes (ver Sitio del Pozo). Cada sitio debe estar:
 - a) en áreas habitadas por personas humildes;
 - b) localizada donde la LS-100 tiene alto potencial de éxito; y
 - c) localizada donde la perforación ha sido aprobada por las autoridades gubernamentales competentes.
- ◆ La torre de perforación, bomba de lodo, cilindros de bomba y otro equipo (tal como sellos extra para la bomba y el taladro) ha pasado por aduana, está en buen estado, está guardado en lugar seguro;
- ◆ Hay un camión disponible para transportar la máquina barrena, bombas manuales, materiales de perforación y a los perforadores al campo cada día;
- ◆ El equipo de perforadores tiene el siguiente suplido básico:
 - a) dos palas;
 - b) dos picos;
 - c) cuatro tanques de 200 litros con tapas bien ajustables (para llevar agua al sitio de perforación);
 - d) tres cubos;
 - e) lona plástica (para forrar las fosas de lodo y para colocar el equipo);
 - f) una caja de primeros auxilios (con materiales médicos básicos);
- ◆ todas las compras locales se han completado y los arreglos logísticos están listos (ver Tabla 3)

#	Tabla 3: Compras preparatorias y arreglos logísticos
1	<p>El siguiente material debe comprarse y guardarse para <u>cada</u> pozo que se va a perforar:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 4 sacos de arcilla <u>bentonite</u>; b) 5 tramos de tubos de PVC CALIBRE 40, 4 pulgadas de diámetro, 20 pies (7m) de largo; c) 8 uniones de PVC para tuberías de 4 pulgadas (10.16 cm) d) 1 tapón de madera para tubería de PVC de 4 pulgadas (10.16cm); e) 2 litros de adhesivo de PVC; f) 5 litros de cloro; g) 1 tramo de 7 m (20 pies) de envoltura de colador manufacturada o de colador de PVC (si hay disponible)
2	<p>El siguiente material debe comprarse y guardarse para <u>cada</u> bomba manual que se instalará</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 5 tramos de tubos de PVC de 1.25 pulgadas, calibre 40, 20 pies (7m) de largo; b) 12 COUPLERS de PVC (1.25 pulgadas, rosca macho con adaptador hembra con pegamento); c) 12 adaptadores de PVC (1.25 pulgadas, rosca hembra con adaptador macho con pegamento); d) 10 tramos de varillas de acero para la bomba (7/16 pulgada de diámetro, 10 pies de largo, extremos con rosca de 7/16); e) 12 COUPLINGS de acero para varillas de acero (roscas iguales)
3	<p>Asegúrese que se haya establecido los Comités de Agua de la Comunidad en cada sitio donde se proyecta perforar y que el comité y los probables usuarios apoyan la idea de la construcción del pozo y están dispuestos a apropiarse del pozo proveyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 24 horas de seguridad en el local durante la perforación; b) Fondos para pagar por parte la bomba; c) Provisión de agua continuamente durante el proceso de perforación; d) Toda la arena y grava necesaria; e) Mano de obra local gratuita; f) 5 tablas, 5 x 15 cm, 2m de largo (2" x 6" x 6.5') <p>Por cada pozo deben proveer:</p> <ul style="list-style-type: none"> g) 4 sacos de cemento; h) 8 sacos de arena; i) 10 sacos de grava para la mezcla de concreto; j) 3 sacos de grava de río <u>lavada y cernida</u> (2 a 3 mm de diámetro) para alrededor del colador de pozo; k) 0.5 kg (1lb) de clavos – 10cm de largo (4 pulgadas), l) 40 litros (10 galones) de gasolina (petrol); m) 4 litros (4 cuartos) de aceite de motor SAE 30; n) 1 kg (2lb) de grasa pesada; o) 30 metros (100 pies) de sogas de nylon; p) 30 metros (100 pies) de varillas de 1cm de diámetro para reforzar la plataforma de concreto.

NOTA: El volumen equivalente de un saco es 1.1 pies cúbicos;
El peso equivalente de un saco es aproximadamente 50 kg o 96 lb.

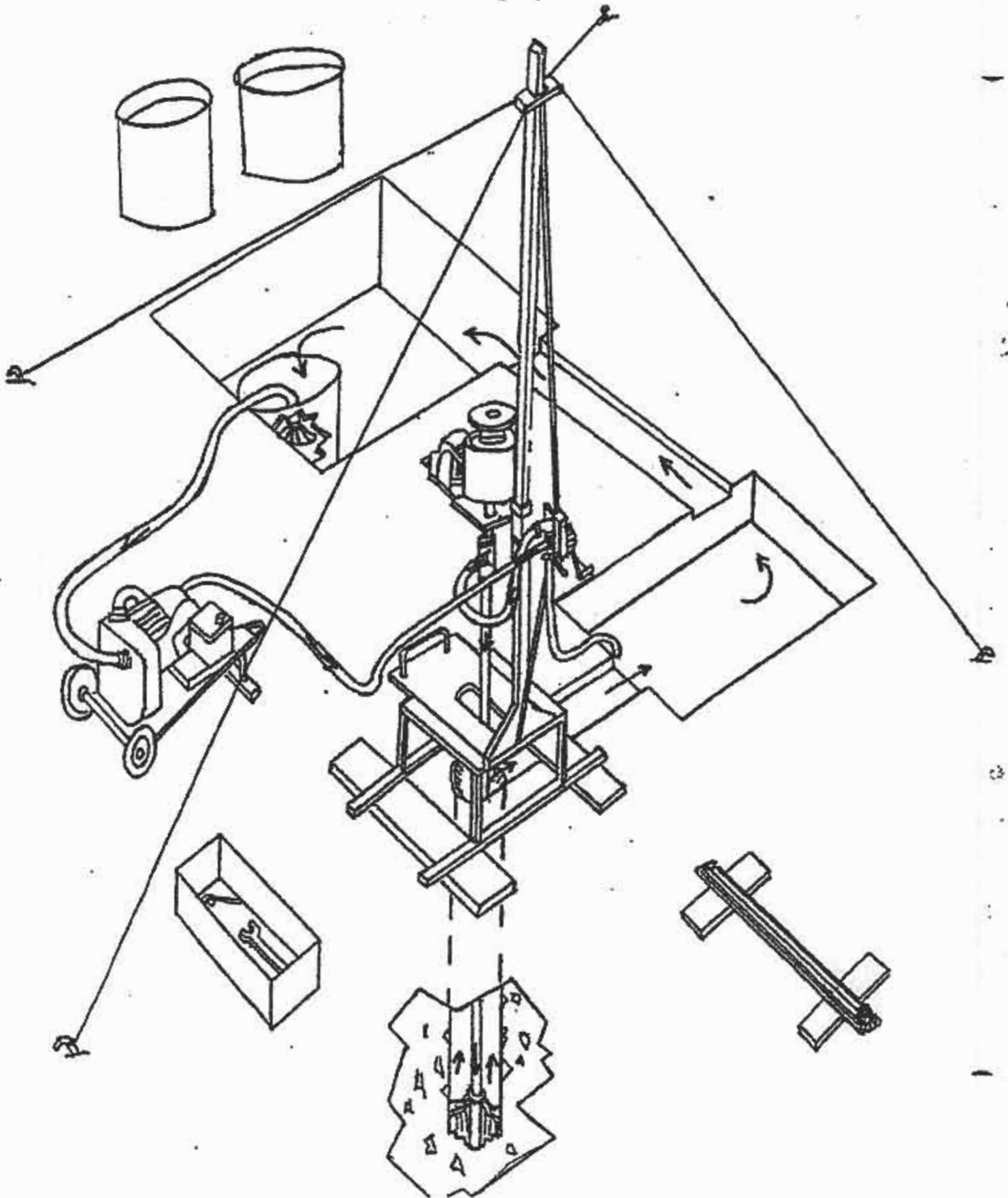
Montaje en el sitio

- ◆ Descargue todas las herramientas y equipo cerca del lugar preseleccionado para perforación. Si fuera posible, oriente la torre de perforación de modo que le dé sombra en la tarde.
- ◆ Seleccione un lugar seco, de preferencia granular, para poner los tubos de perforación de modo que a las roscas no le entren tierra, polvo, insectos. Como es muy difícil limpiar arena de roscas engrasadas, mantenga los tubos separados del piso colocándolos sobre dos tablas (o ramas de árbol).
- ◆ **Llene los cuatro tanques de 200 litros (55 galones) con agua (o emplee alguien para hacerlo) y supla de agua según se requiere en el proceso de perforación.** Coloque los tanques de agua cerca del área donde se barrenarán los hoyos. Añada 1 taza de cloro a cada tanque de agua para asegurar que no se inyecte bacteria en el agua subterránea durante la perforación.
- ◆ Coloque una cerca para que todos los espectadores se mantengan detrás de ella durante el proceso de perforación. Designe a uno de los perforadores o a un líder local para asegurar que esta medida de seguridad se respete en todo momento y para explicar de vez en cuando lo que está sucediendo y que está realizando ese trabajo.
- ◆ Identifique el sitio exacto para la localización del pozo propuesto y cave a mano un "agujero guía" de 4 pulgadas de diámetro y 6 pulgadas de profundidad. Como la erosión puede ser un gran problema y los recortes se deben mantener fuera del hoyo que se está abriendo, puede ser necesario instalar una "cubierta de superficie" de 1 m de largo y 5 a 6 pulgadas de diámetro con una "te" o tubo de escape que va al hoyo de reposo.

Diseño/construcción del estanque de lodo

- ◆ Cave dos hoyos, uno (estanque de sedimentación) directamente enfrente del marco de perforación y uno (estanque de succión) a tres pies de distancia, con una canal entre ambos (ver Figura 5).
- ◆ Juntos, los dos hoyos deben ser por lo menos tres veces el volumen del hoyo que se está perforando¹⁰ (Driscoll, 1986). Generalmente es acuerdo si cada hoyo tiene aproximadamente 2 pies de profundidad, 2 pies de ancho y 3 – 4 pies de largo (con el eje largo paralelo a la dirección de flujo).

¹⁰ Idealmente, para un hoyo de 100 pies de profundidad barrenado con la LS-1200, el hoyo de reposo debe ser de 2 pies de profundidad, 2.5 pies de ancho y 6.5 pies de largo; el hoyo de succión debe ser de 2 pies de profundidad, 2.5 pies de ancho y 3.5 pies de largo. Sin embargo, a pesar de que estos hoyos proveen capacidad de reposo óptimo, requieren que se traigan grandes cantidades de agua al sitio.

Figura 5: Montaje de torre de perforación y bomba de lodo

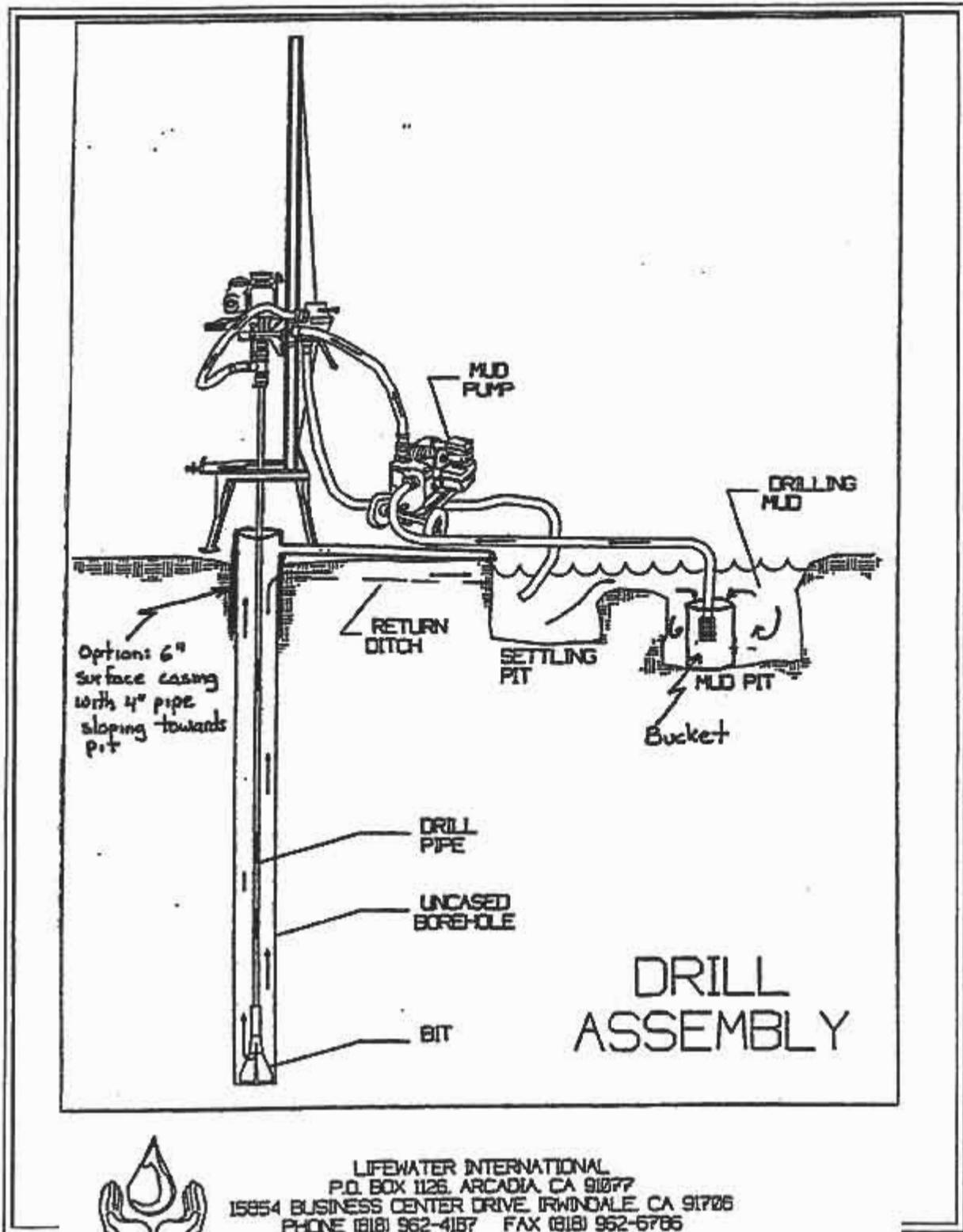
- ◆ Si el suelo en el hoyo es muy permeable (arenoso), considere forrar los hoyos con plástico no perforado (especialmente si el agua es escasa). Cuidadosamente doble el borde del plástico y entiérrelo un pie o más dentro del suelo a lo largo de las canales de flujo para evitar que los líquidos de perforación fluyan debajo del plástico. Como alternativa, los hoyos pueden ser contruidos de madera (con o sin forros plásticos) o se podrían enterrar 4 tanques de 45 galones que han sido cortados en dos (los hoyos rectangulares son mejor)!
- ◆ Cave un canal de 6 pulgadas de profundidad entre el agujero guía y el primer hoyo de lodo.
- ◆ Sitúe la bomba de lodo entre la torre de perforación y el hoyo de succión de lodo (ver Figura 5).

Montaje de torre de perforación y bomba de lodo

Monte el LS-100 y la bomba de lodo de acuerdo a los pasos descritos abajo (vea Figura 6):

- ◆ Llène las cajas del cigüeñal de los motores y transmisiones del LS-100 y la bomba de lodo con aceite SAE hasta que el nivel llegue al nivel del orificio del llenador.
PRECAUCIÓN: cambie el aceite después de las primeras 5 horas de operación en máquinas nuevas.
- ◆ Afloje el cuello de la tuerca superior e inferior de la placa giratoria de entrada del agua, retire el perno de 3/8 de pulgada del eje y hale el manguito hacia fuera. Unte grasa libremente en los asientos de los sellos en el manguito y en las superficies de los sellos. Reinstale el manguito, introduzca el perno de 3/8 y apriete la tuerca. Apriete el cuello de la tuerca superior e inferior hasta que ajuste bien y apriete el juego de tornillos. Con una pistola de grasa, inyecte grasa tanto en el cuello de la tuerca superior como en la inferior a través de los ajustes.
- ◆ Alce la máquina barrena sobre los orificios de guía, aplane el terreno alrededor e instale las planchas 2 x 6 adelante y atrás (ver Figura 6). De ser posible, coloque rocas grandes o bolsas de arena encima de las planchas (esto aumentará grandemente la carga de inserción disponible).
- ◆ Amarre tres alambres de retención al mástil de perforación y asegúrelo firmemente al suelo en forma triangular (ver Figura 5). Apriete los alambres para ajustar la torre de perforación en forma vertical (use un pequeño nivel de carpintero puesto sobre el mástil en dos superficies adyacentes).
- ◆ Conecte las mangueras del modo siguiente (ver Figura 5):

- una manguera al puerto central de la válvula de tres vías, y el otro extremo al puerto de descarga de la bomba de lodo (parte de arriba);
 - un extremo del ensamblaje de la manguera de succión al puerto de succión de la bomba de lodo y baje la válvula de pie (colador) en un cubo de 5 galones colocado en pozo de succión (ver Figura 5). Se necesita el cubo para evitar volver a circular los recortes de vuelta al hoyo;
 - la manguera de 5' (con ambos extremos ajustados) del puerto superior de la válvula de 3 vías al puerto lateral de la placa giratoria de la torre de perforación;
 - la punta de ajuste de manguera de paso que tiene solamente un ajuste (ver Figuras 5&6) en el puerto inferior de la válvula de 3 vías. Deje que el otro extremo cuelgue en el depósito de sedimentación o en el canal de retorno entre el barreno y el depósito de sedimentación.
- ◆ Para evitar que el motor del LS-100 se pare cuando el obturador de la gasolina se coloque en la posición de cerrado (neutral), ajuste el regulador de aire de la siguiente manera antes del arranque inicial:
 - Retire el filtro de aire del carburador;
 - Gire el brazo de control del obturador de la gasolina a la posición de totalmente abierto (si es del tipo hale-empuje, hale totalmente hacia fuera);
 - Manteniendo el obturador de la gasolina totalmente abierto, mueva el cable en la dirección que cierra completamente la válvula del regulador de aire en el carburador. Vuelva a apretar el cable de la abrazadera.
 - ◆ Eleve la cabeza de perforación (ensamblaje de motor/embrague) a un nivel que facilite halar la cuerda de arranque (**siempre es más fácil arrancar el motor antes de levantar la cabeza de perforación hasta arriba**). Para arrancar el motor del LS-100, active el mecanismo de regulador de aire girando el brazo de control del obturador de la gasolina (manigueta de motocicleta) contra reloj hasta la posición de abierto (si se instala un regulador del tipo hale-empuje, hálelo todo hacia fuera). Hale fuertemente la cuerda de arranque (varias veces si es necesario). Cuando arranque el motor, vuelva a girar el brazo de control del obturador de la gasolina hasta que el motor ande suavemente.
 - ◆ Para asegurar que la palanca del rendimiento del LS-100 no gire cuando el obturador de la gasolina está en la posición neutral, revise y ajústelo de la siguiente manera:
 - Con el motor andando, gire el control del obturador de la gasolina contra el tope en la posición neutral (dirección opuesta a la posición del ahogador);
 - Si la palanca de rendimiento está girando, ajuste el tornillo de la posición neutral del enlace de la guía de obturador del carburador para reducir las RPM a un punto donde la palanca de rendimiento deje de girar.
 - Si el ajuste del tornillo no tiene efecto, ajuste el largo de los resortes en la guía de enlace estirándolos o doblando los extremos para acortarlos.
 - ◆ Asegure una broca de barrena de perforación de 4 pulgadas (vea sección de "Broca de barrena de Perforación") en el extremo del tubo de perforación con una llave de ajuste después de limpiar y lubricar las roscas, tanto del tubo de perforación como de la broca de barrena de perforación.

Figura 6: Montaje del LS-100

El proceso de perforación

- ◆ Usando agua de los tambores de 200 litros (55 galones), llene los estanques del lodo hasta el mismo tope. Asegúrese de que haya una persona responsable por mantener los estanques llenos de agua durante todo el proceso de perforación. Esto debe hacerse para asegurar que los recortes se asienten.
- ◆ Llene el tanque de combustible del motor de la barrena y arránquelo. Con el motor andando en la posición de vacío, eleve la cabeza de la barrena a una altura suficiente para permitir la instalación de una sección un tubo de perforación con la broca de barrena. Gire el tubo manualmente para enroscarlo en la rosca giratoria hasta que embone completamente.
- ◆ Baje la broca de barrena del agujero guía cavado a mano. Permita la rotación del tubo de perforación sobre el fondo del agujero guía.
- ◆ Llene el tanque de combustible de la bomba de lodo y comience a usar el siguiente proceso:
 - Abreviar la bomba antes de arrancar el motor removiendo la manguera de descarga o el tapón de encima de la caja de la bomba vertiendo agua en esta abertura hasta llenarla. Tomara una buena cantidad de agua ya que también se llenará la manguera de succión.
 - Colocar las palancas de **Choke (ahogador)** y **Run (correr)** en las posiciones de **CHOKE** y **RUN** respectivamente. Estos controles se encuentran localizados del lado del tanque de combustible opuesto al lado de la bomba del motor.
 - Tire de la cuerda de arranque (varias veces si necesario) y cuando el motor comienza a andar, inmediatamente gire la palanca de **choke (obturador)** a la posición de **OFF (apagado)**. Deje la palanca de **RUN (correr)** en la posición de **RUN**. Nótese que tomara unos minutos para abreviar la bomba.
- ◆ Aumente las revoluciones por minuto (RPM) del motor hasta que el embrague enganche y el tubo empiece a girar. Gire la válvula de 3 vías para que el agua circule de la bomba de lodo a través de la manguera de paso del fondo nuevamente hacia el hoyo. **Añada agua según sea necesario para llenar los estanques.**
- ◆ Luego gire las válvulas para que el agua fluya hacia la mesa giratoria de la barrena.. Asegúrese que no escape agua de los sellos de la mesa giratoria. Si sucediera, vuelva a hacer que el agua salga a través del orificio de paso o detenga la bomba de lodo. Afloje los tornillos de ajuste y apriete las tuercas del cuello para que ajuste y hasta que no haya escape. Vuelva a apretar los tornillos de ajuste. Tal vez sea necesario repetir este proceso durante el proceso de perforación. Bombee grasa dentro de las tuercas de cuello superior e inferior antes de apretar los tornillos.

- ◆ Cuando se empiece a bombear el agua a través del tubo de perforación, salpicará bastante así que asegúrese de que el operador de la barrena esté preparado para bajar el tubo de perforación con cierta rapidez. Después que la barrena haya penetrado un pie más o menos, habrá un flujo suave de agua.
- ◆ Mantenga una leve presión posterior en el manubrio del huinche; a una velocidad moderada de perforación, el manubrio del huinche debe dar vueltas en circunferencia completa cada 20 segundos mas o menos. **No se debe exceder esta velocidad ya que el agua no podría remover los recortes del hoyo efectivamente (haciendo fallar la broca de barrena) y/o las paredes del hoyo no se recubrirán de suficiente menudo para evitar el colapso.** En formaciones más duras, debe girar en circunferencia completa cada 40 segundos. En la roca muy dura, se puede esperar una capacidad de perforación de 1 a 5 pies por hora.
- ◆ En roca dura, la presión insuficiente en los tubos de perforación podrá resultar en la velocidad de perforación extremadamente lenta. Debe tomarse precaución para evitar el exceso de presión de tracción hacia abajo (peso) ejercida sobre el cable de la barrena porque esto puede resultar en hoyos desviados, varillas de perforación torcidas y broca de barrenas atascadas. La velocidad de rotación se debe disminuir a medida que aumenta la presión de tracción hacia abajo.
- ◆ Cuide que el agua circule continuamente mientras esté girando la barrena.
- ◆ Tan pronto como la barrena haya penetrado mas o menos 2 pies, tome una muestra de los recortes del primer hoyo pequeño y colóquelo en el lugar de registro apropiado.
- ◆ Continúe el proceso de perforación hasta que los 5 pies del tubo de perforación hayan penetrado el hoyo.
- ◆ Deje el cable de la barrena girando en el fondo del hoyo y continúe corriendo lodo de perforación hasta remover los recortes del hoyo de perforación (aunque tome 5 minutos o más). **Este proceso de limpieza crece en importancia a medida que se profundiza el hoyo:** si no se realiza exactamente como se describe, los recortes pueden asentarse en el fondo del hoyo perforado y hacer imposible poder agregarle otra extensión al tubo de perforación, causar que el hoyo se obstruya y/o atascar la broca de barrena de perforación (ver "sección de "Problemas de construcción/operación del pozo"). Note que mientras más profunda la perforación, más demora en removerse los recortes del hoyo.
- ◆ Mueva la válvula de 3 vías para que el líquido de perforación circule hacia el hoyo de lodo en vez de por el tubo de perforación. Selle el tubo de perforación y desenrosque la cabeza de perforación.

- ◆ Levante la cabeza de perforación hasta el mástil más alto (tenga cuidado de no permitir que el cable se doble para entrar en el orificio de arriba en el mástil de la barrena y se atasque). Si el motor de la barrena está apagado, arránquelo cuando esté en un nivel de operación fácil a medida que se está elevando la cabeza de la barrena. **Trabaje rápidamente para evitar problemas causados por recortes asentándose en el hoyo de perforación.**
- ◆ Lubrique las roscas del otro tubo de perforación y enrósquelo al que está sellado en la cabeza de la barrena. Enrosque el otro extremo al tubo de rendimiento. Apriete las juntas con una llave de tuerca.
- ◆ Mueva la válvula de 3 vías para que el líquido de perforación comience a circular en el tubo de perforación. **No baje la cabeza de la barrena hasta que haya clara evidencia de que el lodo está fluyendo nuevamente a través de los estanques.**
- ◆ Una vez se está perforando, es importante:
 - examinar los recortes para determinar e que tipo de material se está perforando. Tomar muestras de los recortes en cada metro más o menos (o por lo menos en cada tubo de perforación);
 - limpiar los estanques de lodo frecuentemente para asegurar que los recortes no vuelvan a circular;
 - asegurar que se provea un flujo continuo de agua a los tanques de 55 galones. Mantener los tanques de agua llenos.
- ◆ Después de completar el hoyo "piloto" de 4 pulgadas a la profundidad deseada, permita que el líquido de perforación circule por 10 minutos para remover la mayor parte de recorte posible del hoyo.
- ◆ Después de 10 minutos, levante la cabeza de la barrena hasta que la grapa en la mesa de perforación se acople al empalme del próximo tramo de tubo de perforación. Apague la bomba de lodo.
- ◆ Remueva el tramo superior de tubo de perforación y baje la cabeza de perforación para embonar el grillete en el próximo tramo de tubo de perforación.
- ◆ Continúe removiendo cuidadosamente el tubo de perforación del pozo. **ESTÉ SEGURO QUE LA GRAPA ESTÁ COMPLETAMENTE EMBONADA CADA VEZ Y QUE TODO ESTÁ BIEN ASEGURADO** porque es bien fácil perder el tubo de perforación y las herramientas en el hoyo de perforación
- ◆ Asegúrese de mantener los estanques de lodo y el hoyo de perforación llenos de agua durante el proceso.

- ◆ Cuando se remueva todo el tubo de perforación, el equipo debe decidir ahora si las condiciones del subterráneo justifican completar el pozo. Si pareciera que el hoyo de perforación solamente ha penetrado un acuífero marginal (ver “Cuando dejar de barrenar”), coloque un revestimiento de PVC de 2” con ranuras de 1/8” en el área acuífera. Entonces remueva rápidamente el revestimiento, bombéelo usando tubería de Watterra o remueva el agua soplándolo con un compresor de aire (ver “Probando el rendimiento del pozo”). Si el revestimiento puede secarse fácilmente con la bomba, valdría la pena abandonar el pozo y barrenar en otro lugar.
- ◆ Si hay un buen flujo del acuífero, agregue una broca de barrena ensanchadora de 6 pulgadas después de la broca de barrena de 4 pulgadas (ver sección de “Broca de barrena de perforación”). Luego vuelva a barrenar el hoyo para ensancharlo a las 6 pulgadas requeridas. Mientras se hace esto, el intervalo de prueba, largo del revestimiento, cantidad de empaque de grava, lechada, etc. pueden ser calculados, los materiales cortados al tamaño requerido etc. Ayuda mucho hacer esto ya que el tiempo es siempre esencial cuando el tubo de perforación y la broca de barrena se retiran completamente del hoyo de perforación y se instalan el colador y el revestimiento.
- ◆ Si hay mucha arcilla pegajosa, se puede llenar la porción cargadora de agua del hoyo de 4 pulgadas con arena limpia antes de ensanchar. Esto evita que la arcilla caiga dentro del hoyo de perforación y se pegue a las paredes del hoyo de perforación (causando problemas severos en el desarrollo del pozo).
- ◆ Reemplace el líquido de perforación con agua limpia o lodo de perforación antes de barrenar dentro del acuífero (ver “Líquido de perforación”). **Si no se hace, el pozo ¡tal vez no alcance su máximo rendimiento!**
- ◆ Después de barrenar el hoyo de 6”, permita que el líquido de perforación circule por 10 minutos para remover del pozo el máximo de recortes posible. Luego remueva el “lodo” del hoyo de perforación remplazándolo con agua fresca (limpia).
- ◆ Cuando se está removiendo el tubo de perforación del pozo, mantenga la broca de barrena rotando y agua en movimiento. Esto deja las paredes del hoyo de perforación lisas cuando las brocas de barrenas están saliendo del hoyo.¹¹
- ◆ Ahora se pueden instalar el revestimiento, el empaque de grava, el sello anular, plataforma de cemento y bomba manual.

Líquido de perforación (“Lodo”)

¹¹ Si no se hace esto, las aletas del filo de la broca puede molestar el hoyo de perforación y causar que los recortes de sedimentos/arcilla se “empeloten” o hagan puente en el hoyo de perforación. Adicional a eso, el líquido de perforación puede hacer que los sedimentos y arcilla (especialmente sobre el nivel de la capa de agua) se hinchen y abulten dentro del hoyo de perforación. Lograr que la malla pase estos obstáculos puede resultar difícil y es casi imposible evitar que la malla se obstruya severamente.

Cuando se perfora con la LS-100, se usa líquido de perforación (frecuentemente llamado "lodo") para:

- ◆ levantar recortes de suelo/roca del fondo del hoyo de perforación y llevarlo al depósito de sedimentación;
- ◆ permitir que los recortes caigan en el depósito de sedimentación para que no recirculen (movidos por el espesor del lodo, la velocidad del flujo en los depósitos de sedimentación y la forma/tamaño de los depósitos);
- ◆ evitar que los recortes sedimenten rápidamente mientras se agrega otro tubo de perforación (si los recortes caen muy rápidamente, pueden amontonarse sobre la broca de barrena y atascarla en el hoyo);
- ◆ crear una capa de pequeñas partículas en las paredes del hoyo de perforación para evitar colapso y asegurar que el flujo ascendente del líquido de perforación no erosione la formación adyacente;
- ◆ sellar la pared del hoyo de perforación para reducir la pérdida de líquido (minimizar volúmenes de líquido de perforación es especialmente importante en áreas secas donde el agua tiene que ser traída de muy lejos);
- ◆ enfriar y limpiar la broca de barrena; y
- ◆ lubricar la broca de barrena, soportes, bomba de lodo y tubo de perforación (Driscoll, 1986).

Siempre debe iniciarse la perforación con agua limpia como el líquido de perforación; mantenerlo lo más limpio posible durante la perforación para minimizar el desarrollo de problemas en la realización del pozo. En formaciones ricas en arcilla, el agua se mezclará rápidamente con las arcillas naturales en el hoyo de perforación para formar una pasta aguada (Driscoll, 1986). **Aunque este "lodo natural" puede usarse para barrenar el hoyo piloto de 4 pulgadas, debe reemplazarse por agua limpia o lodo de perforación antes de ensanchar las zonas portadoras de agua a 6 pulgadas. Si esto no se hace, las arcillas naturales caerán en el acuífero y no se desintegrarán con el avance, por ende, limitando la producción del pozo.**

En suelos arenosos, la arcilla bentonítica (montmorilonito de sodio) se debe mezclar con el agua de perforación para aumentar su viscosidad y evitar que el hoyo de perforación colapse (solo se requiere una pequeña cantidad de bentonita). Aunque es mejor que las arcillas naturales, la arcilla bentonítica no desintegra su estructura cohesiva fácilmente y puede ser difícil de removerse del hoyo de perforación y del acuífero. Como esto puede evitar que los hoyos de perforación alcancen todo su potencial productivo (Moffat, 1987),

se debe poner todo empeño en el uso de lodos sintéticos tales como Revert cuando se perforan acuíferos marginales¹². Si no hay bentonita ni Revert disponible, es mejor determinar (con el gobierno u otra organización que tenga conocimiento) donde hay una buena provisión de arcilla adecuada para perforación que sea relativamente pura y que contenga poco o nada de arena).

El lodo de perforación se produce mezclando completamente el agua con arcilla a una consistencia deseada. Bombea agua por la manguera de paso de la válvula de 3 vías y - haga correr el agua nuevamente por los estanques para asegurar que la arcilla y el agua se han unido completamente.

Después de mezclarse el líquido, se debe permitir suficiente tiempo para asegurar la hidratación total de la arcilla antes de correrlo por el hoyo (Driscoll, 1986). Si no se hace esto, la arcilla se puede inflar dentro del hoyo o en el acuífero propiamente. Si sucede esto, puede resultar imposible removerlo después de instalar el revestimiento y el pozo tal vez no alcance su potencial de producción.

Los líquidos de perforación se pueden preparar lo suficientemente espesos (viscoso) para traer los recortes de suelo del fondo del hoyo a la superficie, pero no tan viscoso como para evitar que se depositen en los estanques de lodo. Es, por ende, muy importante que se comprenda las propiedades de los lodos de perforación y su uso apropiado:

- ◆ la capacidad del líquido para remover los recortes aumenta rápidamente a medida que la viscosidad (el grado al cual un líquido resiste fluir al aplicársele presión) y la velocidad ascendente aumentan. Sin embargo, una vez que se traen los recortes a la superficie, es esencial que precipiten a medida que el líquido fluye por el depósito de sedimentación. Se obtienen los resultados deseados diseñando correctamente los estanques de lodo, controlando la viscosidad y peso del líquido de perforación y ajustando la velocidad de la bomba de lodo (Driscoll, 1986).
- ◆ Durante el proceso de perforación, se acumulan sólidos en el líquido de perforación, especialmente cuando se perfora fango, arcilla o lajas poco consolidadas (Driscoll, 1986). Generalmente se necesita ajustar el espesor del líquido de perforación agregando más agua y/o removiendo algunos de los recortes acumulados del depósito de sedimentación.
- ◆ El líquido muy espeso será difícil de bombear y causará desgaste innecesario de la bomba ya que los recortes no sedimentarán fuera del lodo antes que el lodo es

¹² Revert, fabricado por Johnson & Johnson (621-636-3900), es un polímero orgánico agregado al líquido de perforación que toma el lugar de la arcilla natural o de la bentonita. Cuando Revert se mezcla con agua a razón de unos 7.1 Kg por 1000 litros (6 lbs por 100 galones) se forma un líquido viscoso azul brillante. Revert evita colapsos, deposita los recortes en el estanque de lodo mejor que los compuestos de bentonita. La biodegradación lo hace cambiar ("revertir") a un líquido tan delgado como el agua después de varios días (el líquido se vuelve gris claro cuando es evidente se evidencia su reversión a un líquido acuoso). Se puede acelerar la desintegración agregando 500 a 1,000 ppm de cloro al líquido de perforación. Después que el líquido revierte, puede ser removido del pozo y el pozo puede avanzar tan bien como si solamente se hubiera usado agua clara en la perforación. El polvo de Revert seco puede ponerse en una lata de café y esparcirse lentamente en el tanque de agua que se puede revolver usando un mezclador de paleta (tal como un mezclador de pintura adaptado a un taladro eléctrico). Si se agrega muy rápido tiende a empelotarse. Si hay más de 3 ppm de hierro presente, trate el agua previamente con aproximadamente .75 lb de hipoclorito de calcio por 1,000 galones de agua (50 ppm de cloro) para oxidar cualquier hierro disuelto.

bombeado nuevamente al hoyo de perforación. **También dificultará la remoción del lodo de las paredes del hoyo de perforación y el acuífero adyacente durante el proceso.** También se reduce potencialmente la velocidad de penetración (Driscoll, 1986).

- ◆ Si el lodo es muy ralo, no traerá los recortes a la superficie y la broca de barrena y el tubo de perforación se pueden atascar en el hoyo de perforación por causa de la sedimentación de los recortes. Además, el lodo ralo puede resultar en la penetración excesiva de lodo en la formación, disminuyendo así el potencial de producción del pozo.

Una vez iniciado el pozo y el bombeo del líquido, es importante mantener el pozo y los estanques de lodo llenos de agua y completar la perforación e instalación del revestimiento antes de permitir que el pozo carezca de agua producto del proceso de perforación.

Si la perforación se detiene por más de unos cuantos minutos y el agua retrocede al hoyo, el pozo puede colapsar (ver "Problemas de construcción/operación de pozos"). Para disminuir el riesgo de colapso, mantenga el tubo de perforación en el pozo (varios metros del fondo) y rellene el pozo a través del tubo de perforación. ¡No vierta agua en el hoyo abierto ya que esto en realidad puede causar un colapso! Si se prolonga el cese de la perforación, retire el tubo de perforación del hoyo de perforación para asegurar que no se atasque y se pierda (el cable de la broca de barrena hasta puede ser removido manualmente usando llaves de tubería).

Brocas de barrenas de perforación

Se usan tres tipos generales de brocas de barrena durante la perforación con LS-100: la broca de arrastre (cuchilla o cola de pescados), broca de rodillo (o tricono) y broca ensanchadora (ver Figura 7).

Las brocas de arrastre tienen hojas cortas; cada una forjada a un borde cortante y forradas con puntas de carburo de tungsteno. Las trompas cortas guían el chorro del líquido de perforación por las láminas de las cuchillas para limpiar y enfriarlas (Driscoll, 1986). Las brocas de arrastre tienen acción de cizalla y cortan rápidamente en arena, arcilla y algunas formaciones de roca blanda. Aunque la mayor parte de la perforación se hace con la broca de arrastre (especialmente en arena y arcilla), no funciona bien en grava espesa o formaciones de roca dura. Una broca de cuchilla es básicamente una broca de arrastre en la cual las láminas se pueden reemplazar.

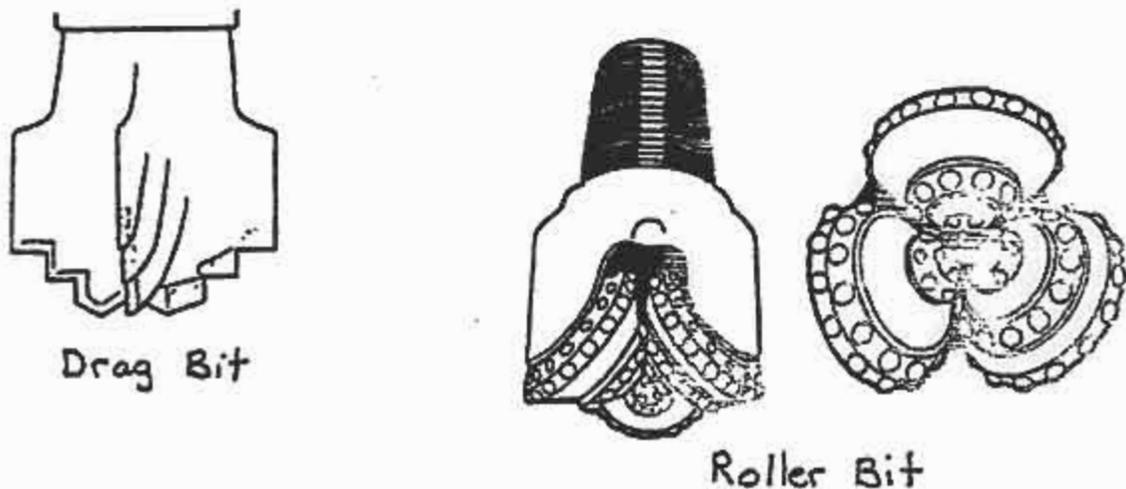
Las brocas de rodillo ejercen una acción de triturar y cincelar, haciendo posible el recorte de estas formaciones (Driscoll, 1986). Los rodillos o cuchillas son hechos de dientes de acero endurecido o de injertos de carburo de tungsteno de diversas formas, largos y espacios, diseñados de modo que cada diente ejerza presión en un punto diferente en el fondo del hoyo a medida que giran los conos. Los dientes de los conos adyacentes se entrelazan en tal manera que se limpien automáticamente. Los dientes cortos de poco espacio entre sí se usan para barrenar formaciones densas. La broca de tres rodillos **Tricone** es la broca de barrena de rodillo más común y se usa como una broca de barrena

multi-propósito en todo tipo de formación. Tiene rodillos de forma cónica sobre un juego de ejes y soportes a un ángulo relacionado al eje de la broca. Las superficies cortantes de toda broca de rodillo son lavadas por chorros de líquido de perforación dirigidas desde adentro (centro) de la broca.

Usualmente se usa una broca de 4 pulgadas para barrenar un agujero guía (especialmente en formaciones duras). Esto agiliza la velocidad de perforación y le da al equipo de perforación "visión previa" de las condiciones del subsuelo. Se usa una broca ensanchadora más adelante para ampliar el hoyo a 6 pulgadas. Una broca ensanchadora consiste de superficies cortantes endurecidas adaptadas a un tubo de perforación; se atornilla inmediatamente arriba de la broca.

Por regla general, las brocas de cuchillas para formaciones blandas deben girar a una velocidad más alta y deben ser menos pesadas que las brocas de cono usadas para barrenar formaciones más duras. Además, las brocas de cuchillas se deben usar para el hoyo de prueba de 4 pulgadas porque produce recortes que son más fáciles de registrar. Si es posible, use broca de rodillo para ensanchar porque producen mínima cantidad de salpiques de arcilla etc. en las paredes del hoyo de perforación.

Figura 7: Tipos de brocas de barrena



Informe de construcción de pozo

Se debe preparar un informe por cada pozo que se perfora con la LS-100 (ver Figura 8). Esta información se usa como guía para perforaciones futuras, para asegurar que la pantalla se extiende sobre el grosor apropiado del acuífero y que el revestimiento/pantalla del pozo ha descendido hasta el fondo del hoyo: El informe de quien perfora debe incluir su descripción de:

- el carácter geológico de cada formación;
- la profundidad en la cual se observan cambios;
- el espesor de las diversas formaciones
- la velocidad de perforación. A veces se pasa por alto el valor de un registro sistemático del tiempo de perforación de cada barra para perforación. Cada cambio significativo en la velocidad de perforación indica una diferencia en el material que se perfora. Se puede calcular la superficie, el fondo y el espesor de cada formación a partir de la velocidad de perforación ¹³ (Driscoll,1986).
- la profundidad para llegar al agua o donde parece haberse alcanzado el agua; y
- la profundidad en la cual se suspendió la perforación.

Los que trabajan en la perforación deben recoger muestras representativas a profundidades medidas y a intervalos que muestren el carácter litológico completo de las formaciones penetradas. Para los hoyos perforados con la LS-100, se deben tomar las muestras a intervalos de 1.5 m(5 pies) y en cada cambio de materiales de formación. Las muestras recogidas consistirán de cortes enlodados producidos por la acción de las brocas de barrenas.

La percepción de los cambios en el acto al barrenar es vital para recopilar una anotación precisa e informativa. Las observaciones hechas por el trabajador deben incluirse en la anotación porque la acción de barrenar y la velocidad de penetración indica el carácter de la formación y especialmente la profundidad en la cual se encuentra cambio de la formación (Driscoll, 1986) Por lo tanto, la persona que hace la anotación debe prestarle atención cuidadosa a los cambios en el nivel del líquido de perforación, al movimiento del equipo y al ruido que hace el equipo.

Cuando se perfora con la LS-100, la acción de barrenar en arcilla o lajilla será suave. Un traqueteo ocasional (un poco de rápida sacudida/salto de la broca y tubo) o reducción temporal en el grado de penetración puede indicar grava esparcida en la arcilla y morena glacial o concreción de lajilla. El traqueteo continuo indica formaciones de arena y grava o arenisca. La perforación suave con penetración rápida ocurre en capas de arena fina (Driscoll, 1986).

El barro la arcilla son de menos de 0.08 mm de diámetro, la arena fina de 0.08- 0.43 mm, la arena gruesa de 2.0- 4.8 mm y la grava fina de 4.8- 29.0 mm (Sistema de clasificación de suelo unificado).

¹³ Otros factores, además del carácter de la formación, pueden afectar el grado de la perforación. Estos incluyen el peso sobre las brocas, el filo de las brocas, el diámetro del hoyo, tipo de broca, velocidad a través de las boquillas en las brocas y la velocidad de rotación (Driscoll, 1986). Por ejemplo, el peso sobre la broca aumenta a medida que se profundiza el hoyo y se agregan otros tubos de perforación, consecuentemente aumentando el grado de penetración. Aunque la interpretación de la anotación del tiempo es un asunto relativo, el aumento gradual del peso sobre la broca no afecta seriamente la utilidad de los resultados.

Profundidad a la cual se halló agua (m): _____

Profundidad de capa de agua (m): _____

Profundidad de hoyo barrenado (m): _____

Rendimiento del hoyo barrenado	
Rendimiento (l/m):	Duración de la prueba: (minutos):
Describa como se midió el rendimiento:	

Colador y revestimiento del pozo	
Material (PVC, otro):	Diámetro revestimiento/colador (cm):
Espesor (calibre 40 u 80):	Largo del sumidero del colador (m):
Número de columnas de ranuras:	Espacio vertical entre ranuras (mm):
Largo de ranuras (mm):	Largo de colador (m):
Largo de revestimiento instalado(m):	Largo total de colador/revestimiento (m):
Describa los centralizadores del colador (número, donde/como se adaptan)	
Describa el tapón(forma, donde/como se adapta):	

Terminación del pozo	
Tamaño de material de empaque de grava(mm)	Volumen de empaque de grava (l):
Tipo de material estabilizador	Volumen de material estabilizador (l):
Mezcla de lechada (arena:grava:cemento):	Volumen de lechada (l):
Mezcla de plataforma de concreto (arena:grava:cemento):	Espesor de plataforma de cemento (cm):
Tamaño de plataforma e cemento (m x m):	Bien protegido con cerca (S/N):
Distancia de la superficie del suelo hasta el cilindro de la bomba (m)	Diámetro del cilindro (cm):

Desarrollo del pozo	
Técnica usada:	Tiempo de desarrollo
Describa el proceso (turbidez en agua de desagte sobre tiempo y profundidad):	

Cloración	
Tipo de cloro usado:	Volumen de cloro usado:
Duración del período de desinfección:	Olor a cloro en agua de desagüe (S/N):
Describa como se mezcló el cloro con el agua del pozo:	

Calidad del agua	
Color:	Turbidez
Olor:	Sabor:
Tipo de prueba bacteriana:	Resultados de la prueba bacteriana:
Otras pruebas o características (pH, total de sólidos disueltos, nitrato, pigmentación, etc.):	

Comportamiento del pozo completo	
Drenaje de agua usada:	Estabilidad de la bomba:
Grado de bombeo sostenible (l/m):	Pistón libre en el cilindro arriba y abajo (S/N)
Otro:	

Día de inicio de perforación _____ Obra completada: _____ N° de obreros _____

Nombre de capataz de construcción (letra de molde) _____

Firma de capataz : _____

Agencia promotora/Confirmación de inspector de Lifewater

Nombre (letra de molde): _____ Firma: _____

Fecha de inspección: _____

Cuando dejar de perforar

Un método infalible de determinar cuando se encuentran volúmenes considerables de agua subterránea es conduciendo una valoración preliminar de pozos o fuentes de agua en el área y teniendo una buena comprensión de donde aparece agua subterránea. Generalmente es buena práctica revisar la mayor cantidad posible de pozos del vecindario. Si los pozos revisados encuentran agua subterránea aproximadamente a la misma elevación y el agua subterránea no aparece en capas intermitentes, debe haber agua subterránea en el subsuelo más o menos a la misma elevación de los pozos revisados.

Sin embargo, a veces no hay hoyos para guiar la perforación. En estos casos frecuentemente es muy difícil asegurar cuando un hoyo ha interceptado la capa de agua debido a que el lodo de la perforación sella el hoyo a medida que la broca avanza. La observación cuidadosa de la perforación a veces revela una o más de las señales siguientes indicando que ha alcanzado una buena capa acuífera:

- ◆ los recortes pueden indicar que la broca de barrera ha llegado a la zona de arena y/o grava, formaciones y usualmente producen volúmenes abundantes de agua si están saturadas. Este es el indicador más ampliamente usado y requiere muestreo continuo y cuidadoso de los recortes.
- ◆ Frecuentemente hay un aumento significativo en la velocidad con la que se perfora el hoyo cuando se alcanza un acuífero de arena permeable;
- ◆ Cuando se está perforando en un acuífero de grava, la grava hará rebotar la broca con cierta frecuencia;
- ◆ A veces el líquido de perforación (lodo de perforación) comienza a aguarse considerablemente;
- ◆ Puede haber una disminución notable en el nivel del líquido de perforación (Bush, 1977). Si una formación es lo suficientemente permeable para recoger agua, también puede que produzca suficiente agua para un pozo.
- ◆ La temperatura del agua puede bajar cuando se encuentra agua subterránea.

En general, los hoyos de perforación deben completarse lo más profundo que se pueda dentro del acuífero porque:

- ◆ Más del acuífero podrá suplir la porción de la entrada del pozo, resultando en un pozo de rendimiento más alto (capacidad específica aumentada).

- ◆ Hay suficiente espesor saturado para mantener la producción del pozo aun en períodos de sequía severa o de mucho bombeo.
Donde hay suelos arcillosos, frecuentemente es importante barrenar un poco dentro de la roca subyacente para encontrar cantidades significativas de agua (ver apéndice B)
Como se mencionó anteriormente, cuando deja de barrenar, asegúrese que el hoyo barrenado se mantiene lleno de líquido de perforar hasta que se coloquen el revestimiento y el colador.

Seguridad en el trabajo

Las normas de seguridad en el trabajo, aprendidas de inicio ayudan a reducir las posibilidades de accidentes que causan lesiones dolorosas, reparaciones costosas o daños irreparables a la maquinaria o inclusive al pozo mismo. Los buenos hábitos de trabajo reducen errores que pueden acabar en accidentes y/o lesiones, tales errores incluyen:

- ◆ Colocación del equipo en laderas empinadas que están llenas de arcilla, suelta u otro material inestable, sobre rellenos de rocas viejas, sobre suelo superficial o laderas con vegetación por encima de pendientes rocosas, cerca de riesgos de tránsito o debajo de canteras peligrosas (Lovett, 1985).
- ◆ No mantener productos inflamables (combustible, cloro, etc.) en envases aprobados, marcados correctamente y almacenados lejos de fuentes de calor. También pueden resultar incendios supliendo los tanque de gas con el motor andando y si no se permite que enfríe o fallando en limpiar inmediatamente después que se derrame la gasolina (Lovett 1985);
- ◆ Arrancando el motor de la barrena cuando los tubos de perforación no están seguros;
- ◆ Aplicando mucha presión hacia abajo sobre la barrena y haciendo que la máquina se voltee (especialmente si los cables de retención no están aseguradas a las pesas en la base son muy livianas)
- ◆ En contacto con las líneas de transmisión eléctrica mientras se levantan los tubos de perforación o el mástil de la barrena o barrenando durante una tormenta eléctrica (cuando el mástil de la barrena está elevado y susceptible a su partida por un rayo):
- ◆ Tocando un tubo de perforación que está girando;
- ◆ Empleador o espectadores que se colocan en lugares donde pueden ser golpeados o donde puede perder el equilibrio se el tubo de perforación se afloja o se trava;
- ◆ Trabajando sobre maquinaria en movimiento (Lovett, 1985);

- ◆ Pueden ocurrir quemaduras serias si las personas no toman cuidado y tocan los tubos de escape de los silenciadores de la bomba de lodo o del motor de la barrena cuando están calientes.
- ◆ No tapar el hoyo barrenado después de completado y permitiendo que caigan herramientas y otros desperdicios (esto puede inutilizar el hoyo!). De igual manera, un instante de descuido puede resultar en que se resbale el tubo de perforación o la barrena dentro del hoyo cuando se han aflojado;
- ◆ Descuidando las precauciones sobre resbalones y caídas (particularmente donde hay arcilla mojada);
- ◆ Cargando incorrectamente cargas de tubos muy voluminosos o pesadas etc. Causando demasiado esfuerzo sobre la columna;

Los accidentes están más propensos a suceder si los espectadores no se mantienen detrás de una barrera clara /definida. Además, la barrena debe ser operada por un obrero capacitado desde una posición donde le es fácil alcanzar todos los controles. No se debe usar ropa holgada al barrenar porque está más propenso a atascarse en objetos afilados u objetos en movimiento y siempre se debe usar equipo de protección personal (tales como cascos de seguridad, guantes y botas). Finalmente, es importante mantener el equipo en buenas condiciones de operación y asegurarse de que el área alrededor de la barrena se mantiene nítida y en buen orden (Lovett, 1985).

Revestimiento y Colador del pozo

Para evitar que la arena suelta y grava colapsen dentro del hoyo barrenado, es necesario usar revestimiento y colador en el pozo, La colador sustenta las paredes del hoyo barrenado mientras permite que el agua entre al pozo; se coloca un revestimiento sin hendiduras sobre la colador para mantener abierto el resto del hoyo barrenado y para servir de cobertura para el equipo de bombeo. Como la colador del pozo es singularmente el factor más importante que afecta la eficiencia de un pozo a veces se llama el "corazón del pozo".

Diseño de la colador

Las coladores de pozo deben tener el más alto porcentaje de ranuras que no se obstruyan que sea posible, ser resistente a corrosión, ser suficientemente fuerte para resistir el colapso, ser fácilmente desarrollado y evitar el bombeo de arena (Duscall, 1986).

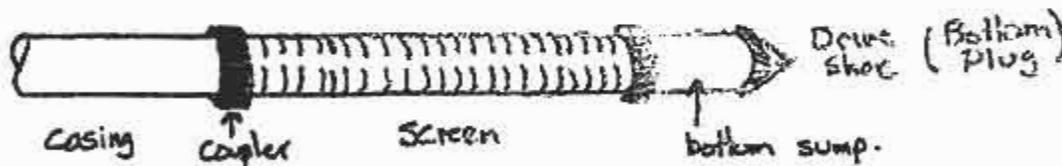
Estas condiciones las reúnen en la mejor forma de coladores comerciales de ranuras continuas (envoltorio de alambre) que consiste de un alambre en forma triangular envuelto

alrededor de una serie de bastones ¹⁴. Si estas coladores están disponibles analice el tamizado con muestras de la formación acuífera y seleccione el tamaño de ranuras que retengan el 40 a 60 por ciento del material.

Aunque las mayas de envoltorio de alambre se deben usar cuando fuera posible, pueden ser muy costosas y/o no estar disponible. La mayoría de los pozos de Lifewater se construyen usando revestimiento y colador de PVC ¹⁵ (Figura 9). La tubería de PVC gris, que se encuentra en la mayoría de los países, es relativamente barata, resiste la corrosión, es liviana, fácil de trabajar y químicamente inerte.

Diseño de ranuras: Con el uso de una cegueta, corte ranuras en el revestimiento de plástico que estén lo más largas y lo más cercanas que se pueda. Las ranuras deben estar lo más cercas una de otra que sea posible verticalmente y deben extenderse a 1/5 de la circunferencia del tubo; debe haber tres hileras iguales de ranuras extendiéndose hacia arriba del tubo separadas por tres hileras más angosta de área sólida, no cortada (para fortalecer).

Figura 9: Colador de PVC recortado



¹⁴ Son fuertes, permiten el máximo grado de flujo y el tamaño pequeño de las ranuras tamiza el menudo. Además es raro que la malla se obstruya con el tiempo ya que los granos de arena no pueden obstruir ranuras en forma de V que se abren hacia adentro y las partículas de arena solo pueden hacer contacto en dos puntos (Duscull, 1986). Finalmente, el tejido cerrado de las ranuras continuas facilita el desarrollo uniforme del pozo (Schreurs, 1987).

¹⁵ Las desventajas de usar las mallas manufacturadas localmente cuando se compara con mallas comerciales de envoltura continua son:

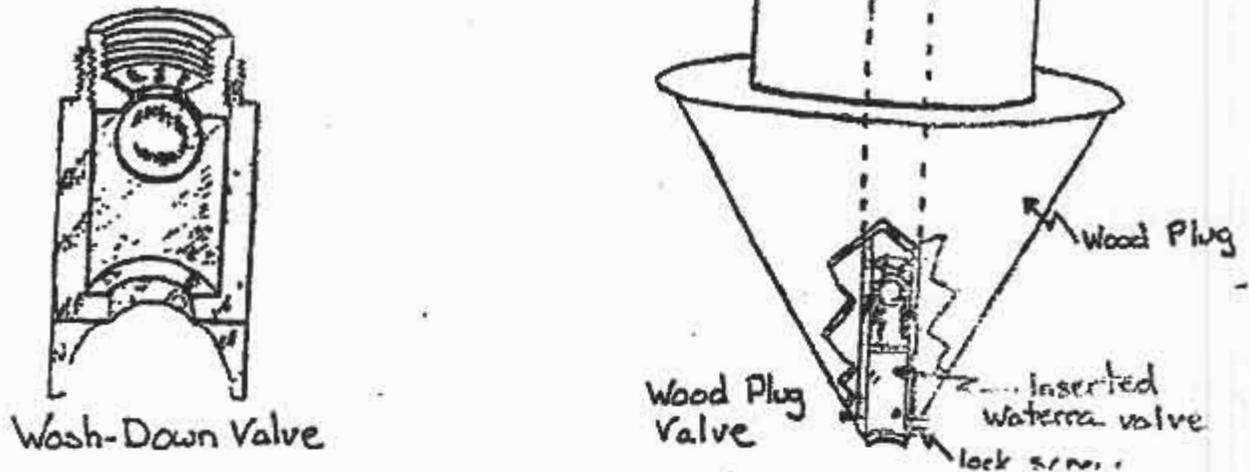
1. Como no se puede mantener la resistencia si las aberturas están cercanas, el porcentaje de área abierta es menor (4-12 % de área abierta comparada a 30-52 % para mallas de envoltura de alambre) por ende restringiendo la entrada de agua en el pozo.
2. El tamaño de las ranuras varía significativamente y las ranuras no pueden hacerse lo suficientemente chicas para tamizar la arena fina.
3. La malla tiende a obstruirse durante el proceso de desarrollo si el acuífero se compone de arena fina. Los granos de arena puede alojarse sólidamente en una abertura redonda o cuadrada u limitar grandemente la efectividad de la malla (Schreurs, 1987); y
4. Las áreas en blanco entre las ranuras evita que toda posición del acuífero alrededor de la malla se desarrolle efectivamente.

Diámetro del revestimiento/colador: Fácilmente se pueden introducir revestimiento y colador de tres pulgadas de diámetro en el hoyo de 6 pulgadas barrenado con la LS-100 y permite la creación de un filtro de 1.25 pulgadas de espesor (esto es especialmente importante donde el acuífero está compuesto de materiales muy finos). Sin embargo, como el colador de 3 pulgadas no siempre está disponible y tiene un total de área abierta muy baja, se usa con más frecuencia coladores de 4 pulgadas cuidadosamente centradas y empacadas con filtros. Los coladores de mayor diámetro hacen ineficaces los empaques de filtros y **NO** aumentan significativamente el rendimiento del pozo. Por ejemplo, cambiando un colador de 4 pulgadas a una de 5 pulgadas aumentará el rendimiento en 3 por ciento menos. Además, un buen empaque de filtro expande el radio de efectividad del pozo a la totalidad de las 6 pulgadas de diámetro del hoyo barrenado.

Largo de la colador: En acuíferos confinados, se debe colocar colador al 80 – 90 por ciento del espesor de la zona acuífera (Driscoll, 1986). Se obtiene mejores resultados centrando la sección de la colador en el acuífero. En los acuíferos no confinados, se obtiene la capacidad específica máxima usando la colador más baja que sea posible pero resulta más aspiración al adicional al usarse la colador más corta que sea posible! Estos factores son optimizados usando la colador 30 – 50 por ciento del fondo del acuífero (Driscoll, 1986). **Generalmente resulta adecuado un colador de 20 pies (7m) de larga. La colocación del colador a 6 –7 metros por debajo de la plataforma de agua generalmente asegura rendimiento adecuado durante todo el año (Bush, 1987).**

Revestimiento del fondo: Generalmente hay cantidades significativas de materiales finos en el extremo superior y en las partes bajas de un acuífero. Por lo tanto, a menos que el acuífero sea menor de 7 m de espesor, extienda al revestimiento por lo menos a 1-2 m dentro de la parte superior del acuífero antes de iniciar la colador. Similarmente, a menos que el acuífero sea muy delgado, asegúrese que por lo menos 1-2 metros del fondo del acuífero se complete con una pieza sólida de tubo de revestimiento. Este revestimiento (conocido como “sumidero” o “hueco de rata”) provee un lugar para la sedimentación de sólidos a medida que son halados dentro del pozo, minimizando así la obstrucción de la colador y minimizando la cantidad de menudo arrastrado para adentro del pozo (ver Figuras 11 y 14).

Tapón del fondo: siempre debe instalarse un tapón (“shoe drive”) para ayudar al revestimiento a desligarse en el hoyo barrenado y prevenir la entrada de menudas no filtradas al pozo (Figura 14). Los taponés más comunes son una copia o tapón de madera puntiaguda. Si se usa revestimiento “acampanado” (con una boquilla incorporada) al extremo no acampanado puede dársele forma de punta. Finalmente se puede instalar una válvula de lavado hacia abajo o una válvula de una vía (que permita que el agua fluya hacia fuera del revestimiento) en un tapón de madera el cual ha sido acuñado en la superficie interna (Figura 10). Esta válvula permite que el pozo se enjuague eficientemente y asegura que el empaque de filtro esté bien colocado.

Figura 10: Tapones de desagüe

Colocación del colador en pozos barrenados en roca: Generalmente no se requiere revestimiento ni colador en la posición del hoyo barrenado en roca. Los primeros 2-3 metros del hoyo barrenado en roca deben ser de 6 pulgadas de diámetro; el hoyo barrenado entonces puede extenderse usando una barrena de 4 pulgadas (esto maximiza la velocidad de perforación que puede ser muy lenta en roca). El revestimiento OD de 4.5 pulgadas debe colocarse dentro del hoyo de 6 pulgadas y alineada cuidadosamente con el hoyo de 4 pulgadas. Llene el espacio anular de la roca con 40 cm de grava gruesa seguida de 60 cm de arena gruesa/grava fina con 100 cm de arena por encima (esto evita que la arena fina y barro que se encuentra generalmente en el contacto con la sobrecapa de los lechos de roca penetren en el pozo). Como la zona acuífera principal puede estar en las primeras partes superiores del lecho de rocas, solamente selle el revestimiento o la roca con cemento donde hay mayor preocupación por la contaminación.

Centralizadores de la colador: Las ranuras pueden obstruirse cuando la colador se coloca dentro del hoyo barrenado y, si la colador se coloca contra la pared del hoyo, el pozo puede producir siempre agua turbia. Estos problemas pueden evitarse adjuntando (colando, atornillando, amarrando con alambre) 3 tiras centralizadoras en los extremos superiores e inferiores de la colador. Los centralizadores se pueden confeccionar del revestimiento de PVC, madera verde flexible o bandas de hierro de 0.5 pulgadas de ancho (ver Figura 11). Solamente asegure el extremo inferior de cada centralizador para que pueda "flexionar" y no le ponga nada en el revestimiento o la colador /revestimiento se puede atascar durante la colocación. Los centralizadores trabajan mejor con un revestimiento de 3 pulgadas; se pueden trabar al instalarse el revestimiento de 4 pulgadas en el hoyo barrenado de 6 pulgadas (el diámetro de los empalmes es de 5.2 pulgadas). Si esto le preocupa, simplemente haga el tapón del fondo del mismo diámetro de los empalmes.

Figura 11 : Centralizadores del colador**Figure 11: Casing Centralizers****Instalación del revestimiento y colador**

Asegúrese de conocer la distancia que hay del nivel del suelo hasta el fondo del hoyo barrenado y que estén preparados los tramos requeridos de revestimiento y colador para el pozo, limpios, a mano y listos para instalar cuando se termine la perforación. Pegue el sumidero del revestimiento con el tapón al fondo de la colador del pozo (ver sección sobre soldadura con solvente). Si la campana y tubo de espiga no se usan, pegue con cola previamente el empalme (cuello) a un extremo de cada tramo de revestimiento (Figura 12).

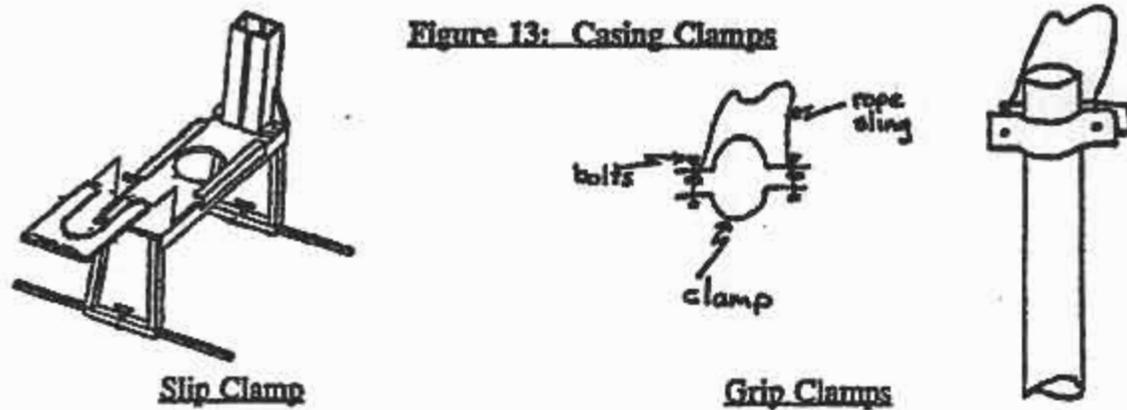
Figura 12: Preparación del tubo para instalación

Una vez que el hoyo barrenado alcance la profundidad deseada, continúe circulando el líquido de perforación a través del tubo de perforación en el fondo del hoyo hasta que los fluidos de retorno estén libres de recortes, arena, bolas de arcilla y grava. Tal vez necesite reemplazar el agua en el estanque de lodo varias veces antes que el agua que sale del hoyo este limpio. Cuando esté, mantenga el líquido en circulación y la broca rotando y lentamente remueva el tubo de perforación del hoyo.

Cuando se haya removido todo el tubo de perforación del hoyo barrenado, que el conjunto motor/guía hacia un lado. Prepárese para sellar el revestimiento usando dos abrazaderas de mordaza hechas de hierro o madera: la abrazadora debe estar en el revestimiento suspendido en el hoyo y el otro en el tramo de revestimiento que se va a unir (Figura 13). Como alternativa use una abrazadera de desliz hecha de planchas de

acero de 1/2 ó 3/8 de pulgada contando una ranura un poco más ancha que el revestimiento y soldándolo sobre un manubrio. (Figura 13)

Figura 13: Abrazaderas del revestimiento



Teniendo el hoyo barrenado lleno de agua, 2 trabajadores deberán bajar cuidadosamente la colador ya armada en el hoyo. Asegúrese de adjuntar una abrazadera de mordaza o use una abrazadera de desliz para recibir el revestimiento si acaso cae cuando se está bajando al hoyo. Una a la vez; limpie, agregue y pegue tramos de 6 metros (20 pies completos) de revestimiento (ver sección de "soldadura solvente"). Si se usa una abrazadera de desliz, amárrele una soga de cáñamo de 1 cm de grosor o envuélvale alrededor de la parte superior del revestimiento 3-4 veces (Figura 14) y manténgalo apretado cuando hale la abrazadera hacia atrás para asegurarse que no pueda deslizarse el revestimiento. Después que la abrazadera de desliz esté en su lugar, disminuya la tensión sobre la soga y permita que el revestimiento se deslice suavemente dentro del pozo hasta que nuevamente repose sobre la abrazadera. Siga añadiendo y descendiendo el revestimiento hasta que la colador llegue al fondo del hoyo. Luego levántelo ligeramente y suspéndalo usando abrazaderas de mordaza o amarrándole una soga a la mesa de perforación (esto asegura que el revestimiento se coloque recto). Trabaje rápidamente para minimizar la posibilidad de que el hoyo colapse.

Figura 14: Soga envuelta alrededor del revestimiento durante la instalación



Tome nota de los tramos de colador y revestimiento que se instala para asegurarse que llegue al fondo del hoyo y que no esté atascado a medio camino (ver problemas de "Construcción/Operación). Manteniendo el revestimiento suspendido a 10 cm del fondo del hoyo, corte la parte superior del revestimiento de modo que solo sobresalgan unos 50 cm sobre el nivel del suelo (ver Figura 15 y 16).

Después de que el revestimiento esté suspendido y bien asegurado, lave el hoyo con agua limpia (esto disminuye grandemente el tiempo de desarrollo del pozo). Si se instaló una válvula de una vía en el fondo del revestimiento, introduzca un tubo de perforación dentro del revestimiento hasta que embone en la parte superior de la válvula. Si no hay válvula, coloque un bloqueador de oleaje bien ajustado o un trapo bien seguro en el extremo del tubo de perforación. Después baje el extremo del tubo de perforación al fondo de la colador y bombee agua limpia a través del tubo de perforación de modo que sea presionada a través del fondo de la colador. Si estos procesos de lavado no son posibles, enjuague el revestimiento conectando la manguera de salida de la bomba de lado a la parte superior del revestimiento por medio de una cubierta del pozo con ajustes apropiados.

Igualmente, desaloje o bombee el revestimiento. Puede desalojarse hasta quedar casi seco, desarrolle todo el largo de la colador varias veces (ver "Desarrollo del Pozo"). Continúe hasta que no se note ningún otro mejoramiento en el rendimiento del pozo. Si no hay suficiente agua, remueva el revestimiento y abandone el pozo (ver "Probando el rendimiento del Pozo").

Soldadura con solvente

Suelde con solvente los segmentos usando el procedimiento siguiente (NWWA, 1981):

- ◆ Limpie las superficies de contacto del extremo del tubo con un trapo de algodón seco o con papel toalla. Raspando las superficies de contacto con el papel abrasivo ayuda para desarrollar mejor adhesión;
- ◆ Verifique si las secciones que van a ser cimentadas embonan. Embonan bien "en seco" si el extremo macho entra en el empalme a más o menos medio o dos tercios de su profundidad. **No** se debe usar tubos y empalmes que no embonan bien;
- ◆ Aplique la primera mano a la parte externa del extremo del revestimiento y a las superficies internas del empalme para prepararlos para unirse (la primera mano puede requerir más tiempo para suavizar el extremo acampanado del revestimiento que para preparar las partes internas de los empalmes separados);
- ◆ Aplique una capa delgada, uniforme, de solvente de cemento a la superficie entera del empalme y a la parte externa del macho del revestimiento (el exceso del solvente puede debilitar el revestimiento);

- ◆ Introduzca el macho de la sección del revestimiento con fuerza dentro del empalme a toda la profundidad del empalme cuando tanto la parte interior como la parte externa del revestimiento estén completamente cubiertos con cemento. Dale una media vuelta al revestimiento mientras los une;
- ◆ Sostenga las secciones del empalme y revestimiento por lo menos 15 a 20 segundos o hasta que comience a pegarse. Luego limpie el exceso de cemento de alrededor de toda la circunferencia de la unión revestimiento/empalme;
- ◆ Para asegurar una adherencia fuerte, se debe permitir que se fijé la unión por lo menos 5 minutos. Si se desea menor tiempo, inserte 3 ó 4 tornillos autoroscantes de 3/8 ó 1/2 pulgada a través de cada unión para asegurarse que el tubo no puede separarse durante la instalación. No deben usarse tornillos de penetración total porque su corrosión a través del tiempo puede dejar huecos en el revestimiento por los cuales podrán entrar contaminantes o bacterias al pozo (Driscoll, 1986).

Filtro de empaques

Un filtro de empaques es arena gruesa o grava fina (2-3 media) que se coloca entre la pared del hoyo y la colador (ver figura 15). Sedimenta granos finos de partículas que de otro modo entrarían al pozo y aumenta el diámetro hidráulico eficaz del pozo. El filtro de empaque puede considerarse el "pulmón" llevando agua al "corazón del puente" (la colador). Se debe instalar un filtro de empaque en todos los pozos excepto en los que se han completado en roca, arena gruesa o grava.

Tamaño del grano/uniformidad: La arena y grava debe ser de un tamaño uniforme lo cual es levemente un poco mayor que el tamaño de las ranuras de la colador del pozo. Este es el factor más importante para continuar la posibilidad del bombeo de arena! La arena del desierto, por ejemplo, debe ser evitada porque es muy fina y obstruiría la colador o se lavaría bien dentro del pozo causando turbidez en el agua y desgaste rápido del cilindro de la bomba. Si hay un rango amplio del tamaño de las partículas el filtro de empaque puede volverse severamente bloqueado (Ives & Coad, 1987). Como alternativa se puede separar el material grueso mientras se vierte en el pozo resultando en un posible bombeo continuo de arena (Driscoll, 1986).

Forma del grano: Deben usarse los granos bien redondeados y escogidos provenientes del río o de depósitos del océano, ya que ellos reducen la aspiración adicional, aumentan el rendimiento y permiten un desarrollo más eficaz (Driscoll, 1986). Aunque la grava redondeado tenga que ser transportada de muy lejos, no se debe usar rocas granuladas, ya que se compactarían cuando se bombea el pozo y pueden restringir severamente el flujo de agua (Moffat, 1987). Finalmente, los granos que se descascarillan son inaceptables porque se sedimentan para formar un filtro del medio con una permeabilidad muy baja (Ives y Coad, 1987).

Material del filtro: Lo ideal sería que el material del filtro consistiera de una base silícea ya que no se disuelve con el tiempo; esto asegura el mantenimiento de la integridad del filtro y que no se cuele sustancias dañinas y desagradables en agua (Ives y Coad, 1987).

Limpieza del material: El material del filtro debe ser limpio ya que el filtro de empaque debe retirar el suero del agua en vez de agregarle (Ives y Coad, 1987). El material limpio minimiza el colapso del filtro de empaque y reduce el tiempo de desarrollo del pozo (Driscoll, 1986). Trate todo material de filtro con 50mg/L de solución de cloro antes de su colocación para asegurar que no contamine el pozo.

Volumen del filtro: Calcule el volumen del filtro necesario para llenar el espacio anular del pozo hasta 2 metros por encima del colador (esto permite que las áreas socavadas del hoyo se llenen sin exponer la parte superior de la colador a estabilizadores de formación o menudos del venado). Cuando fuera posible, sin embargo, no coloque grava dentro de los 10-20 pies de la superficie del suelo. Primero determine el largo del filtro de empaque deseado, luego verifique el volumen requerido en el apéndice 1.

Instalación: Después de instalar el revestimiento y la colador, continúe enjuagando el hoyo mediante la circulación de agua a través del fondo del revestimiento (ver "instalación de revestimiento y colador"). Lentamente vierta el medio de filtro en el espacio anular y déjelo reposar en el agua que fluya hacia arriba (3-4 GPM). Este proceso, llamado "flotación del empaque de grava" ayuda a evitar que el material de filtro forme puente sobre las ranuras y evita que los menudos sedimenten. Se debe usar una tira calibradora o una cinta de medir con contrapeso para confirmar la localización de la parte superior del filtro de empaque. Después de instalar el filtro de empaque, coloque una tapa sobre el revestimiento para que no caiga nada en el pozo durante el enlechado y la construcción de la plataforma de cemento. Ahora se puede remover LS-100.

Enlechado y Sellado: Después de colocar el filtro de empaque, aún queda un espacio anular irregular alrededor del revestimiento. En materiales que se derriban, tales como arena o arena y grava, generalmente el espacio anular se llena rápidamente por material que se derrumba. Sin embargo, donde la formación aurífera descansa sobre arena firme, arcilla, lajilla, etc. Y el hoyo no se derrumba, se debe llenar el espacio anular. El espacio anular por del filtro de empaque se puede llenar hasta uno 3-6 metros (10-20 pies) de la superficie con un estabilizador de formación que consiste de arena o recortes barrenados limpios (ver figura 15). Si el cemento y/o la bentonita no son muy costosos, es mejor evitar el uso de un estabilizador de formación en los pozos construidos en rocas sobrepuestas por sedimentos consolidados, relativamente delgados y sueltos; estos deben ser enlechados desde la superficie del suelo hasta la roca.

Para prevenir la infiltración de agua de superficie contaminada por la parte externa del revestimiento hacia el pozo, rellane 3 -6 metros de la parte superior del espacio anular con una sello de formación que se extiende hasta el nivel del suelo (figura 15). El

sellante puede ser lechada de cemento, bentonita (arcilla o concreto). Para calcular el volumen necesario, vea el apéndice 1. El sello de formación debe ser colocado adecuadamente para evitar la contaminación el drenaje del agua de superficie contaminada se infiltre en el pozo.

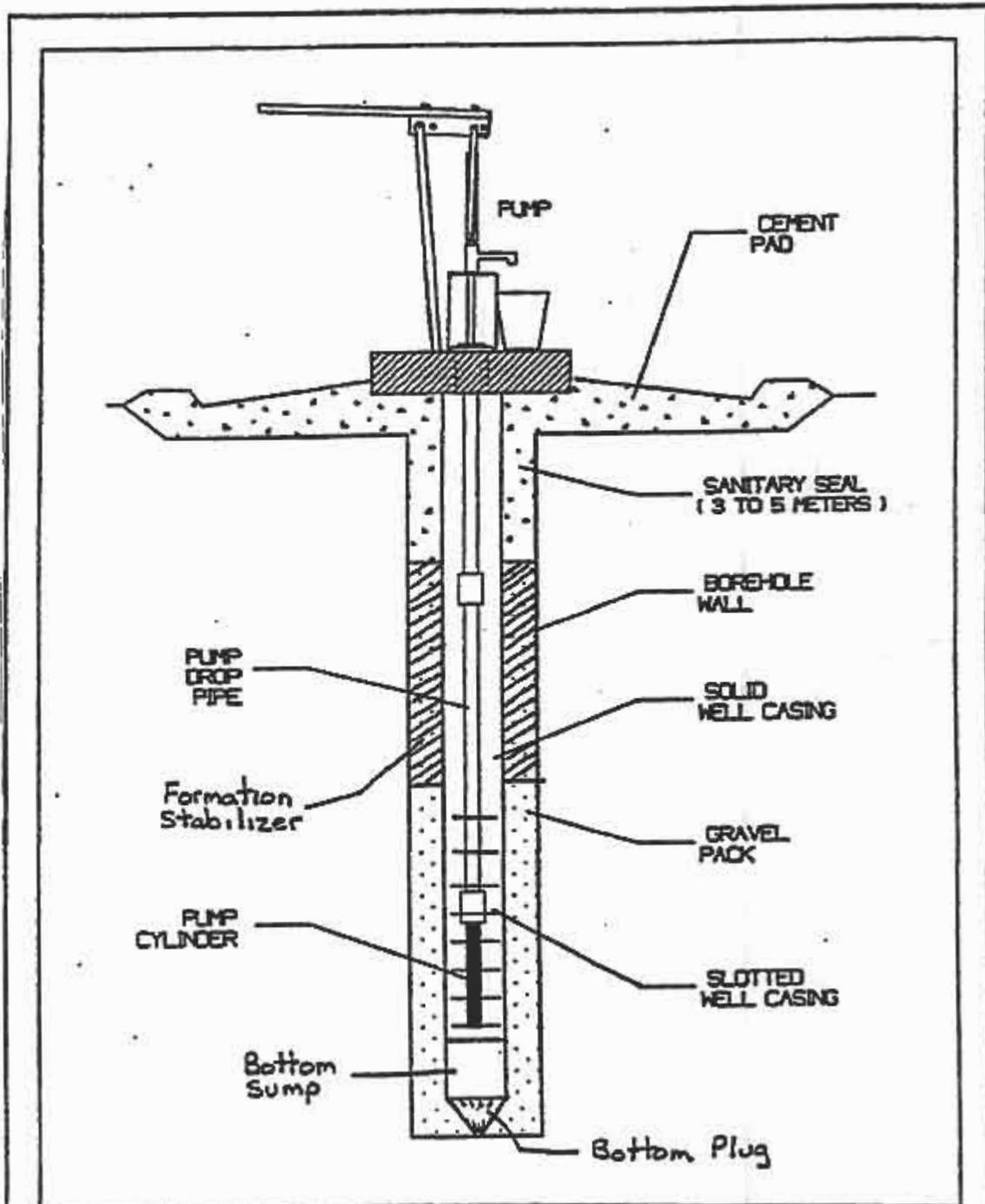
Normalmente se usa el concreto como sello de formación; preparado a razón de 2:3:0-2 partes de cemento: 3 partes de arena: 0 partes de grava. Aunque la grava se usa frecuentemente en el concreto, el espacio anular (entre el revestimiento y las paredes del hoyo barrenado) es tan pequeño que solo logran que baje una lechada delgada es difícil; agregando grava a la mezcla lo hacía mucho más difícil. Mantenga la mezcla de concreto lo más seco posible ya que aumentando el agua aumentaría encogimiento subsecuente y aumentaría la posibilidad de que entren contaminantes en pozo. Si la lechada se vierte en el hoyo a través de una pequeña línea de lechada (tubo trompa) mezcle la lechada a una consistencia de crema espesa (4 volúmenes de polvo de cemento + 3 volúmenes de agua = 5 volúmenes de pasta de lechada (Australia, 1992). Se puede usar un tubo de materia o un tubo de perforación como línea de lechada.

No hay penetración significativa de cemento en la arena uniforme con grano de tamaño más fino que 0.6 mm (0.025) pulgada). Por lo tanto se coloca lechada encima del filtro de empaque, asegúrese de colocar 1 metro (3 pies) de arena fina sobre el filtro de empaque primeramente para evitar que se oblitere con lechada. Si está disponible, es hasta mejor echar 0.3 -1.0 metro de bentonita encima del filtro de empaque antes de verter el sello de cemento. Se hace esto, la bentonita se infla y penetra y empuja el cemento hacia adentro de la formación creando uno de los mejores sellos que se pueden tener en un pozo.

Si no hay cemento disponible, el revestimiento se puede sella con tan solamente verter bentonita en el hoyo. La bentonita deber{a mezclarse en concentraciones de 0.7 Kg (1.5 lb) de bentonita por 3.81 (1 galón) de agua (Driscoll, 1986). Viértalo inmediatamente después de mezclado para que se hidrate (absorba agua) se infle) en el suelo, cuando así un sello apretado. Aunque esta concentración es muy pesada para ser bombeada, no se encogerá si el suelo alrededor de la lechada permanece algo húmeda.

Finalmente, amontone la tierra de alrededor del pozo y nivélelo hacia fuera del pozo. Esto evitará que el agua de la superficie de pobre calidad se empoce cerca del pozo y penetre a través del espacio anular (entre el revestimiento y el hoyo barrenado) si el sello de lechado no es perfecto.

Figura 15: El pozo terminado



LIFEWATER INTERNATIONAL
 P.O. BOX 1126, ARCADIA, CA 91707
 15854 BUSINESS CENTER DRIVE, IRVINDALE, CA 91706
 PHONE (818) 962-4187 FAX (818) 962-6786

DESARROLLO DEL POZO

Como se mencionó anteriormente, el revestimiento es el "corazón del pozo" y el filtro de empaque actúa como los "pulmones" llevando agua al colador! Sin embargo, después de barrenar con la Ls-100, es necesario hacer "bombear el corazón" y hacer que los "pulmones respiren" ya que el líquido de perforación forma una delgada capa de lodo sobre los granos de arena de las paredes del hoyo y penetra los espacios y las rajaduras del acuífero. Este efecto de taponaje disminuye el flujo de agua en el pozo.

El hecho de limpiar la arcilla y menudos introducidos durante el proceso de barrenar como también la parte fina del acuífero directamente alrededor de la colador antes de poner el pozo en servicio, se llama "desarrollo del pozo"¹⁶

La eficacia en el desarrollo del pozo:

- ◆ Aumenta el grado en el cual el agua se mueve del acuífero al pozo;
- ◆ Estabiliza el acuífero para evitar el bombeo de arena, por ende produciendo mejor calidad de agua y aumentando la vida útil del cilindro de la bomba y el pozo (Schreurs, 1987);
- ◆ Remueve materia orgánica e inorgánica que puede inhibir la eficaz desinfección del pozo.

Al asegurar que los pozos se desarrollen con las mejores normas técnica posible, se necesitarán menos hoyos para alcanzar la demanda total y los pozos estarán menos propenso a fallar en unos pocos años (Moffat, 1987).

El desarrollo debe continuarse hasta que la descarga de agua salga clara. Esto es difícil porque los menudos del pozo y acuíferos adyacentes tienen que ser reconocidos después que se instalan la colador y el filtro de empaque. El tiempo que se requiere para el desarrollo depende de la naturaleza de las capas acuíferas, el espesor de las ramas de la colador en relación al tamaño de las partículas del acuífero, la cantidad de material enjuagado del pozo antes de colocar el filtro de empaque, y el tipo de equipo y grado de desarrollo deseado. Se requiere gran cantidad de energía de desarrollo para remover el líquido de perforación conteniendo aditivos de arcilla (Driscoll, 1986); El desarrollo de un pozo se puede completar en una hora, pero puede requerir hasta 10 horas (Brush, 1977).

Todos los métodos de desarrollo de pozo se basan en establecer velocidades de flujo mayores que los valores estimados de la cata de bombeo de un pozo completado. Lo ideal es combinar esto con un fuerte reverso del flujo (oleaje) para evitar que los granos de arena

¹⁶ En las arenas y grana, generalmente crean los filtro de empaque desarrollando el pozo de modo que 30-60 por ciento del material acuífero adyacente a la malla pase hacia adentro del pozo dejando un filtro, de arena gruesa y grava graduado hidráulicamente alrededor de la malla (Anderson, 1993).

choquen una contra otra (Schreurs, 1987). El movimiento en una sola dirección, como cuando se bombea del pozo, no produce el efecto de desarrollo apropiado – los granos de arena pueden obstruir los vacíos alrededor de la colador. La agitación por el bombeo durante el uso normal de la bomba puede hacer que estas obstrucciones se deshagan con el correr del tiempo y se bombee arena.

Como se discute más adelante, hay un número de técnicas que se pueden usar para desarrollar pozos recién construidos. Aunque el sistema de chorro hidráulico y el fraccionamiento hidráulico son técnicas efectivas en el desarrollo de un pozo, no son cubiertas en este manual porque requieren equipo comercial sofisticado y entrenamiento especializado y generalmente se usan para pozos de gran capacidad.

Sobrebombeo: El método de desarrollo de pozo más simple pero menos eficaz es el bombeo del pozo a un grado de descarga 2-3 veces mayor de lo diseñado por un período prolongado. En realidad esto no agita el suelo lo suficiente para crear un verdadero filtro alrededor de la colador y tiende a desarrollar solo una pequeña sección de la extensión de la colador (Anderson, 1993).¹⁷ Sin embargo es útil porque si se puede bombear el pozo libre de arena a un alto grado, se puede bombear libre de arena a un grado más bajo (Driscoll 1986).

Si el nivel del agua está entre los 10-15 pies de la superficie del suelo, a veces es posible usar la bomba de lodo como bomba de succión para bombear agua del pozo por 2 a 3 horas. Si se puede hacer esto, no bombear continuamente: el ciclo de bombeo de parar es mejor para el desarrollo del pozo.

Si esto no es posible, instale una bomba manual y use un cilindro separado para el proceso de desarrollo, ya que las partículas removidas durante el desarrollo pueden ocasionar un desgaste altamente crucial de la bomba resultando en falla precoz de la bomba. El uso de un cilindro de bomba más grande de lo planeado para la instalación final puede mejorar la eficacia del desarrollo del pozo.

La eficacia del sobrebombeo se puede mejorar colocando una arandela de caucho alrededor de la parte superior del cilindro de la bomba y bajándolo dentro del pozo hasta que esté adyacente a la parte superior de la colador del pozo. Comience a desarrollar el pozo en la parte superior de la colador para que la materia fina de alrededor de la colador se afloje gradualmente y sea bombeada hacia fuera del pozo sin atascar la bomba! Cuando el bombeo deja de producir sedimentos, se puede bajar la bomba varios pies usando bastones de medio largo preparados especialmente y un cuarto de largo de tubos de caída (también conocidos como columna de bomba o tubo de succión). El ciclo de bombear hasta que el agua aclare, descender y bombear más dentro del intervalo con colador debe continuarse hasta que la colador entera se haya desarrollado. La adaptación de una segundo arandela

¹⁷ A una rata de bombeo dada, cuando más larga la malla, menor será el desarrollo que se logrará en la parte baja de la malla. Después de removerse la materia prima de las zonas permeables cerca de la parte superior de la malla, el agua que entra a la malla se mueve de preferencia a través de estas zonas desarrolladas, dejando escasamente desarrollada el resto del pozo y contribuyendo muy poco al rendimiento del pozo (Driscoll, 1986).

de 0.5 a un metro debajo del fondo del cilindro de la bomba aumentará grandemente el efecto de succión en las secciones aisladas de la colador.

Enjuagado: Este también es un método relativamente simple para el desarrollo el cual requiere un dispositivo que recoja agua y un recipiente en el cual se pueda almacenar agua y del cual se hará que el agua fluya fácilmente de vuelta al pozo. El agua se bombea hacia la superficie hasta que el recipiente esté lleno; de allí se vierte rápidamente de vuelta al pozo. Repitiendo este movimiento varias veces podrá proveer un desarrollo de las formaciones acuíferas.

Es crítico que el agua se permita que el agua bombeada o la superficie repose hasta que sedimente el material que está en suspensión. Entonces el agua clara puede ser baldeada a un segundo recipiente y de allí vertida otra vez dentro del pozo. Esto asegurará que las partículas finas no se vuelvan a introducir inadvertidamente al pozo.

Si no se adapta una arandela a la parte superior del cilindro de la bomba, puede ser posible combinar el proceso de sobre bombeo con el de enjuague recogiendo agua del proceso de sobrebombeo, permitiendo que repose y rápidamente vertiendo el agua baldeada nuevamente en el pozo.

Oleaje: el oleaje es el método más común de desarrollo de pozo. Involucra el movimiento forzoso de agua dentro y fuera de la colador del pozo usando una de las siguientes técnicas.

Aire comprimido: se puede inyectar aire comprimido dentro del pozo para elevar el agua; Cuando llegue a la parte superior del revestimiento, se apaga el aire, permitiendo que la columna de agua oreada caiga (proceso llamado de cuero crudo o verde). El suministro de aire se debe correr periódicamente sin detenerse para bombear los sedimentos del pozo.¹⁸ Usualmente este equipo no está disponible en áreas remotas y generalmente solo abre una pequeña porción de la colador.

Achicador: Un achicador es como una extensión de tubo con una válvula de una vía en el extremo inferior. El achicador se desciende en el pozo hasta llenarse de agua y sedimento; luego se retira a la superficie y se vacía. Entonces el agua del acuífero fluirá hacia el pozo trayendo más líquido de perforación. El movimiento de arriba hacia abajo del achicador causa una acción de oleaje que se desarrolla en el área alrededor de la colador. Cuanto más pesado y ancho sea el achicador, mejor funcionará porque tendrá más fuerza para empujar el agua a través de la colador (Brush, 1977). Está preparado para baldear y baldear y baldear y baldear..... es trabajo duro y demora todo el día!

¹⁸ Si hay volúmenes limitados de aire, coloque una manguera de aire de poco diámetro dentro de un tubo más grande (tal como tubo colgante, de Waterra o tubo de perforación); soplando aire a través del tubo pequeño hará que el agua suba por el tubo más grande (Anderson, 1993) Una regla general útil es determinar la capacidad propia del compresor para elevar el agua en el aire es proveer mas o menos 3/3 c f m de aire por cada l g pm de agua a un promedio predeterminado de bombeo (Driscoll, 1986). En general, se requiere el compresor que perdure 125 p s l y 200 c f m. Sumerja la línea de aire a un 60% de su extensión durante el bombeo.

Bloqueador de oleaje: Un bloqueador de oleaje es un sello plano que cabe bien dentro del revestimiento y que opera como un chupón debajo del nivel del agua. Como sella bien el revestimiento, tiene una acción positiva muy directa sobre el movimiento del pozo (Brush 1977?).

Colocar un bloqueador de oleaje en el extremo de un tubería de Waterra equipado con una válvula de una vía tiene la ventaja de que la carrera descendiente sea más lea que la ascendente porque parte del agua pasa por el tubo. Esto tiene sus ventajas porque asegura que los menudos no se empujen más adentro de la formación y ayuda a remover sedimentos que se aflojan con el movimiento de oleaje. Esto evita que la colador se obstruya totalmente con menudos acumulados.

Para obtener el oleaje de un pozo eficazmente, aplique un movimiento de sube y baja, levantando y dejando caer el tapón de 2 a 3 pies. El tapón debe caer rápidamente en el desplazamiento hacia abajo para que la turbidez del agua sea desplazada hacia fuera del tubo de conexión. Aunque el tapón puede presionarse hacia abajo con cada impulso, agregando pero arriba del bloqueador ayudará a hacer más fácil el trabajo por un largo período de tiempo.

El oleaje debe empezar arriba de la colador para reducir la posibilidad de que la arena bloquee el bloqueador de oleaje (Anderson 1993). El oleaje inicial debe hacerse con movimiento largo y un grado bajo (20 a 25 movimientos por minuto); después de agitar por encima de la colador, debe limpiarse el hoyo y empezar el oleaje en el extremo inferior de la colador – gradualmente trabajando hacia arriba hasta que la colador entera haya sido desarrollada (Anderson, 1993). Cuando empiece a disminuir la cantidad de **material fino** recogido en el pozo, debe repetirse el proceso, empezando en la parte inferior de la colador, pero con movimientos más rápidos (30 a 35 movimientos por minuto). El oleaje final debe ser lo más rápido posible por el mayor tiempo posible.

Probando el rendimiento del pozo: El rendimiento del pozo es el volumen de agua que se puede bombear durante un periodo de tiempo específico (se expresa en litro o galones por minuto). A veces se prueba el rendimiento de pozo existentes para determinar se vale la pena barrenar en la misma área. Si se instala una bomba sumergible, se podrá hacer una prueba de bombeo completa¹⁹. Si se instala una bomba manual, trate de medir el nivel del

¹⁹ Con el uso de una bomba sumergible, se puede hacer una prueba de bombeo completa como sigue:

1. Mida la distancia al nivel del agua en el pozo;
2. Luego encienda y ponga a funcionar la bomba a más o menos un tercio de su capacidad por 1 a 4 horas;
3. Durante el bombeo, mida el rendimiento de la bomba llenando un recipiente de volumen conocido y anotando el lapso de tiempo que toma para llenarlo. Para recipientes pequeños, la velocidad es flujo (6pm) =volumen en galones X 60/tiempo (seguidos) para llenar. Para llenar el típico tanque de 55 galones, la velocidad de bombeo en L/S es 209/tiempo (segundos).
4. Al final del periodo de bombeo mida el nivel tan pronto como se apague la bomba.
5. Calcule la aspiración adicional restando la profundidad original del nivel estático de la nueva profundidad.
6. Calcule la "capacidad específica" de 1/3 del punto de aspiración adicional devolviendo, dividiendo el rendimiento (cuántos litros se recogieron en el tanque en un minuto) entre la aspiración adicional.
7. Repita este proceso a los dos tercios de la capacidad de la bomba y de nuevo a la capacidad total. Si el nivel de las mediciones de agua se tornan frecuentemente durante la aspiración adicional y recuperación,

agua antes y después de bombear. Bombee a una velocidad constante por todo el tiempo que sea posible. (1-4 horas si el nuevo pozo va a ser muy usado). Este ritmo de bombeo es sostenible si el nivel de agua regresa a los niveles de antes del bombeo dentro de 6-12 horas. Cuanto más corto el tiempo, mejor el acuífero.

Si el rendimiento de un pozo recién perforado es cuestionable, generalmente es una buena idea probarlo para determinar si vale la pena o no poner la plataforma de concreto e instalar la bomba manual. De modo general, un pozo que es capaz de sostener responsablemente una bomba manual de mucho uso debe poder rendir por lo menos 0.2 l/s (3 galones /min) y tener una capacidad específica de por lo menos 0.01 l/s por cada metro de aspiración adicional²⁰. Se puede obtener un cálculo estimado del rendimiento de los pozos de Lifewater nuevos usando un compresor de aire, o tubería de Waterra equipada con una válvula de pie o un achicador.

Si hay uno disponible, use un compresor de aire para inyectar grandes volúmenes de aire dentro de un pozo. Esto hará que el agua desborde sobre la parte superior del revestimiento del pozo. Se debe preparar una sanja de antemano para que el agua corra y no se acumule alrededor del pozo. Después de 30 minutos, la cantidad de agua que sigue fluyendo sobre el revestimiento proveerá un cálculo estimado de la cantidad de agua que puede producir el pozo. Esto debe confirmarse apagando la bomba y midiendo cuanto demora para que el agua regrese al nivel de antes del bombeo. Mida el nivel del agua cada minuto por 10 minutos, después cada 5 minutos por media hora, luego cada 15 minutos por una hora y luego cada media hora hasta recuperarse totalmente. Estas lecturas pueden ser usadas por los hidrólogos para analizar el acuífero.

Finalmente, se puede usar un sistema de suspensión por inercia (Waterra) o un achicador para probar el rendimiento de un pozo recién construido. Si el pozo puede bombearse hasta quedar seco usando estos aparatos y el rendimiento no mejora con el desarrollo, el pozo no tendrá suficiente rendimiento para sostener una bomba manual.

Si el rendimiento de un pozo es inadecuado para sostener una bomba manual, se debe abandonar el pozo retirando la mayor parte del revestimiento que se pueda y llenando el pozo con arcilla, arena fangosa y rellenándolo arriba con 2 metros de concreto. Si no se hace esto, se puede perjudicar las provisiones de pozos en el futuro, ya que este pozo podrá abrir el paso a contaminantes al agua subterránea.

INSTALACIÓN DE LA BOMBA MANUAL

Esta sección describe el procedimiento para la instalación de una bomba manual y la colocación de una plataforma de cemento alrededor del pozo y la bomba. Las instrucciones para construir la bomba y las directrices para trabajar con concreto se dan en los apéndices 5 y 6.

los hidrólogos podrán usar la información para calcular las características (transmisión y preservación) y se pueden usar para desarrollar en el agua del suelo local.

²⁰ Nótese que si las pruebas se realizan inmediatamente después de construido el pozo y antes que se ponga en uso completo. El desarrollo incompleto generalmente hará que el rendimiento calculado sea menor que el rendimiento después de 2-4 semanas de uso continuo.

Instalación del poste de la bomba

Cave el orificio donde se colocará el pedestal de la bomba a 85 cm debajo de lo que se anticipa que será la parte de arriba de la losa de concreto. Debe colocarse cuidadosamente de modo que la distancia horizontal desde el centro del revestimiento al centro de la varilla sobre el cual se mueve el brazo de la bomba sea de 28 cm (Figura 16). Coloque el poste de la bomba en el orificio con concreto. Asegúrese de que el brazo de la bomba estará a la altura de pecho a hombro de una persona de estatura mediana cuando está a media maniobra (posición horizontal).

Vaciado de la plataforma de concreto

Calcule la cantidad de cemento que se requiere (proporción 1:2:4) para correr una plataforma que sea de por lo menos 2 metros por 2 metros cuadrados y 10 cm de espesor (Apéndice 5 y Figura 17).

Si la plataforma debe ser tan chica, agregue un rectángulo de concreto del lado del brazo de la bomba, de modo que la persona que está bombeando pueda tener una base firme para pararse. Si es conveniente, comunique la plataforma a un canal de drenaje que se dirija a un jardín o a un área donde se le dé agua a los animales. Actúe las piletas de agua por lo menos a 30 metros de distancia y separados del pozo por una barrera fuerte para mantener a los animales lejos del pozo.

Use formaletas de madera para que la plataforma esté bien centrada sobre el revestimiento del pozo. Coloque un enrejillado de barras de acero de refuerzo, amárrelos y levántelos varios centímetros del piso usando palos o piedras (ver apéndice 5). Corra el concreto en las formaletas asegurándose que la plataforma tenga una leve inclinación del centro hacia fuera para que drene el agua.

Instalación del cilindro de la bomba, varilla de bombeo y tubo colgante: Disponga de suficiente tubo colgante (a veces llamado tubo de extracción o columna de la bomba) para que el cilindro de la bomba esté situado en el centro o arriba del centro de la colador (ver figura 15). Nótese, sin embargo, los casos especiales que siguen:

- ◆ Si hay arena fina presente en el agua, el cilindro se debe colocar a 1-2 metros por encima de la colador para disminuir el bombeo de arena;
- ◆ Si la única formación que contiene agua que está disponible tiene por rendimiento, se debe adaptar un tubo de PVC de 10 m de largo y diámetro de una pulgada al cilindro de la bomba, y una válvula de una vía agregada al extremo de abajo. Luego se debe instalar el cilindro de la bomba por encima de la colador con la línea de succión que caiga dentro del revestimiento debajo de la colador. Como el límite de succión es 8.5m, esto limitará el grado del bombeo y evitará que el pozo se bombee hasta quedar seco rápidamente.

Recorte el revestimiento del pozo a 3 cm encima de la altura del recipiente de agua más común.

Figura 16: Configuración de la bomba manual

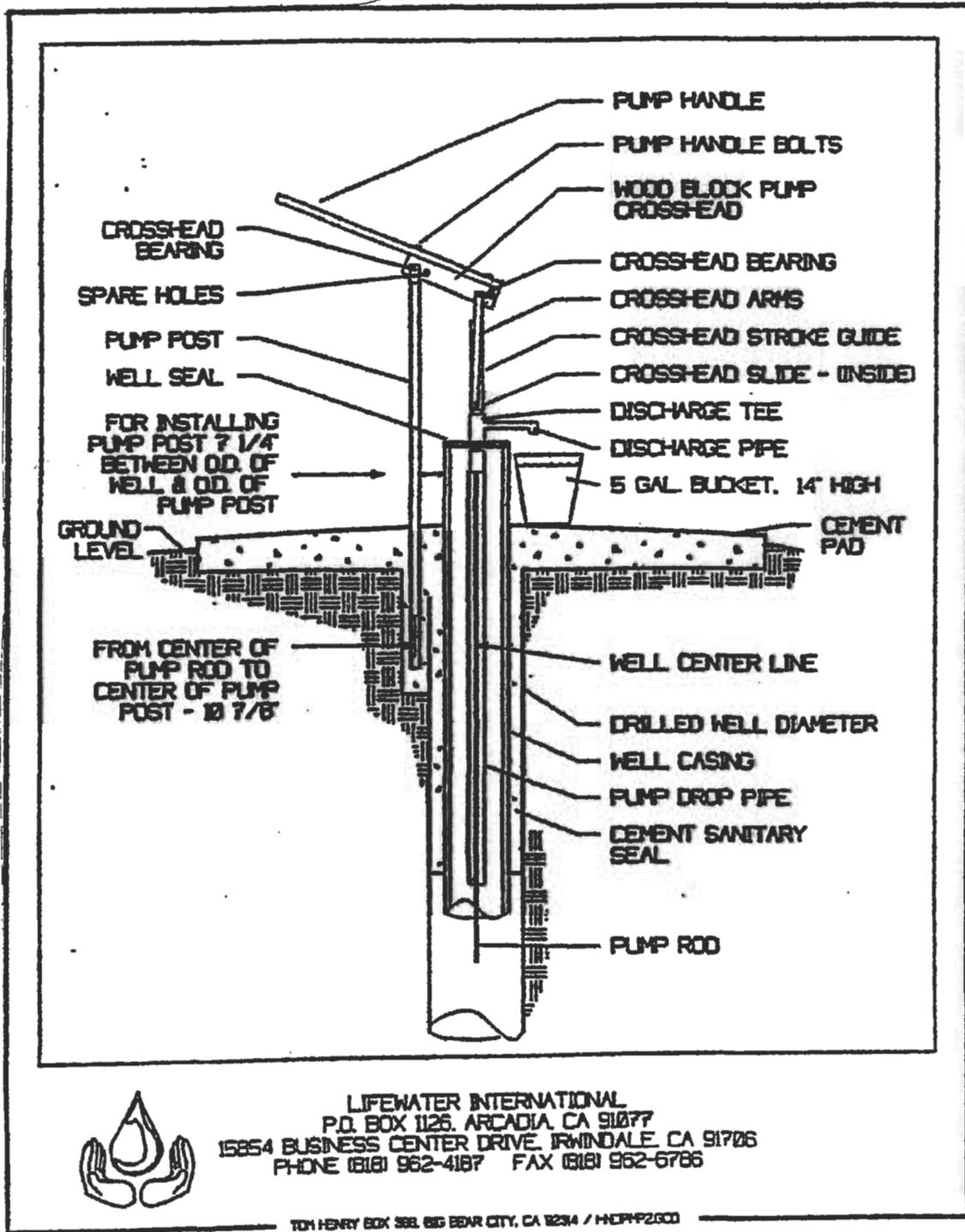
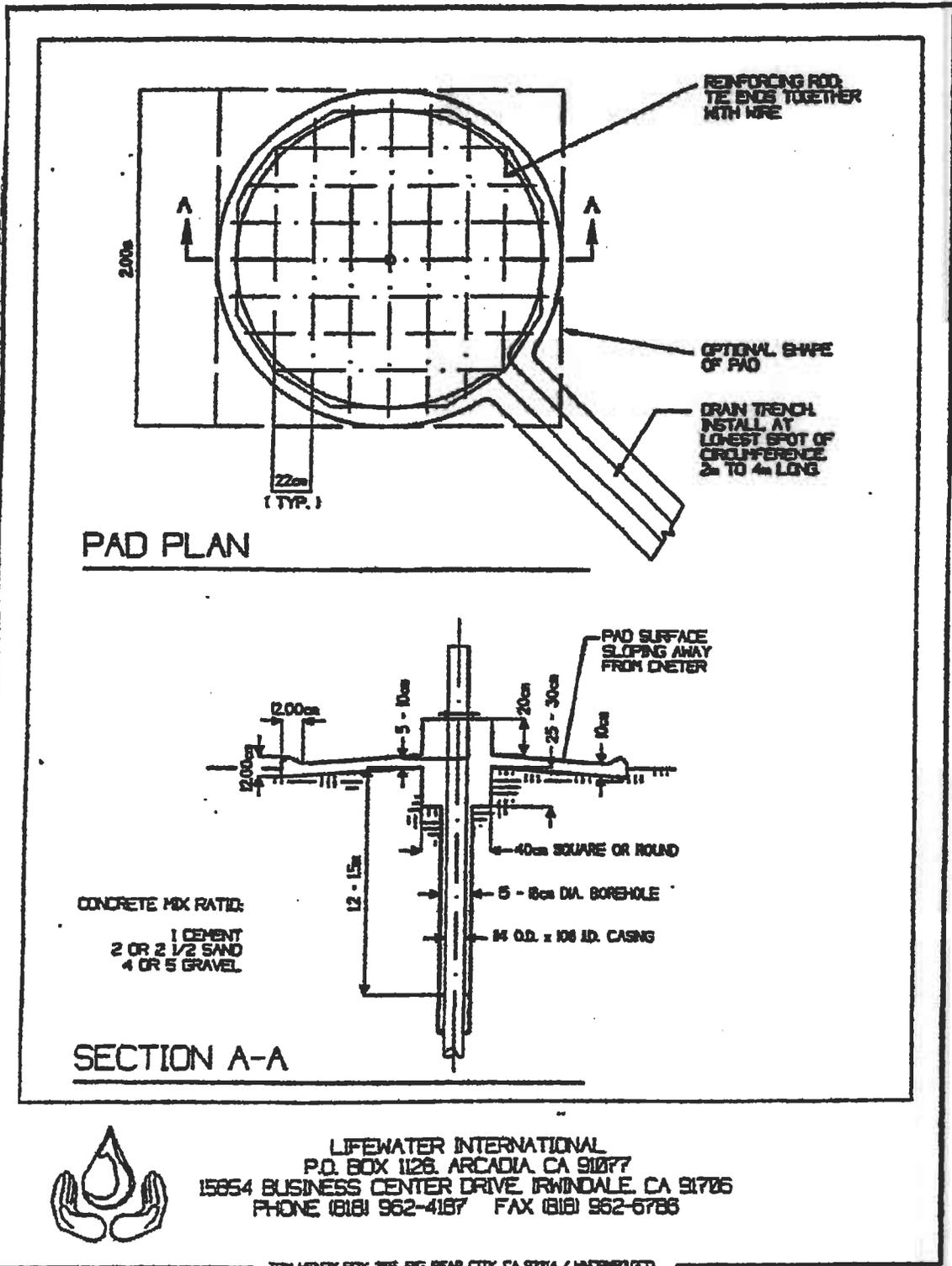


Figura 17: Configuración de la plataforma de cemento



LIFEWATER INTERNATIONAL
 P.O. BOX 1126, ARCADIA, CA 91707
 15854 BUSINESS CENTER DRIVE, IRVINDALE, CA 91706
 PHONE (618) 962-4187 FAX (618) 962-6786

Desarme el cilindro de la bomba y asegúrese de que la varilla del pistón esté firmemente conectado al pistón. Esto se logra apretando una tuerca.

Introduzca un tramo de varilla de acero dentro de un tramo del tubo colgante. La varilla de acero debe tener roscas en ambos extremos. El tubo colgante debe tener ajusten con roca para que pueda ser desarmado cuando se tenga que remover el cilindro para darle mantenimiento. Conecte la varilla de acero a la varilla del pistón del cilindro usando un empalme de acero. **APRIETE FUERTEMENTE!**

Desinfecte una soga del nylon larga con una leve solución de cloro y adáptelo a un extremo del tubo colgante a varios pies sobre el cilindro de la bomba. Conecte el otro extremo al interior de el revestimiento del plano justamente debajo de la parte superior del pozo. Esta soga de seguridad asegurará que el cilindro y el tubo colgante se puedan recuperar se se caen accidentalmente ante la remisión (ver el capítulo de "mantenimiento").

Conecte el tubo colgante al cilindro de la bomba. Asegúrese que las puntas del tubo colgante estén en el mismo lugar que las puntas de la varilla de la bomba. De ser posible, haga centralizadores de caucho o de metal e instálelos cada 20-40 pies para mantener el tubo colgante centrado dentro del revestimiento (esto disminuye la cantidad de desgaste causado por el roce de la varilla de la bomba sobre el tubo colgante).

Baje el cilindro sujeto con la soga, el tubo colgante y la varilla de la bomba dentro del pozo. Asegúrese de agarrar el tubo con la abrazadera deslizante hecha primeramente para que no caiga dentro del pozo. Verifique que la abrazadera sea más grande que el diámetro del revestimiento del pozo para que no vaya a caer dentro del pozo.

Introduzca el siguiente tramo de varilla de la bomba dentro del siguiente tramo de tubo colgante y levántelos verticalmente. Pida a un trabajador que sujete el tubo colgante en el aire a varios pies de altura y conecte firmemente la varilla a la varilla que ya está dentro del pozo. Luego conecte el tubo colgante.

Baje el tubo cuidadosamente hasta que puede agarrarse por la abrazadera en el empalme para el próximo tubo y varilla. Continúe el proceso hasta instalar todos los tubos y varillas y el cilindro esté a la profundidad correcta. Corte el tubo colgante a ras con el revestimiento y póngale cola al macho del ajuste con rosca, y pegue y enrósquelo. Pase el ajuste con rosca a través del orificio en la copa del revestimiento y atornillele el pitón de la bomba.

Conecte la varilla de la bomba al brazo de la bomba. Ajuste este último tramo de varilla de la bomba de la siguiente manera.

1. Baje totalmente el final del brazo de la bomba contra el tope en el porte de la bomba..
2. Hale la varilla de la bomba hasta que el pistón toque la parte de arriba del cilindro, luego bájelo 20-25 mm mientras mantiene esta posición, marque la varilla como 25-30 m sobre el tubo deslizante.

3. Retire esta sección de la varilla y córtelo en la marca. Recorte una rosca de más o menos 25-35 mm de largo en este extremo.
4. Vuelva a instalar la varilla y asegúrelo con dos arandelas de área ancha (para sella el orificio en la parte de arriba del tubo deslizante) con una tuerca y contratuerca.
5. Ahora mueva el final del brazo de la bomba totalmente hacia arriba. Ahora el desliz debe golpear el ajuste T. Si el final de la varilla de la bomba todavía cuelga de la tuerca, entonces el ajuste es correcto. Si la tuerca está a alguna distancia de las arandelas significa que el pistón está tocando fondo en el cilindro. Hale la varilla de la bomba hacia arriba como unos 15 mm y llene la tuerca hacia abajo completamente hacia las arandelas. Verifique si en el movimiento totalmente hacia arriba el pistón no golpea la parte a arriba del cilindro. Vuelva a ajustarlo si es necesario.

Ahora la bomba está totalmente instalada y puede ser bombeada hasta que el agua llegue a la superficie. Continúe bombeando hasta que el agua salga clara. Ahora el pozo debe ser cerrado antes de su uso. Mientras se está clorando el pozo, se puede pintar todo el ensamblaje de la bomba.

Desinfección del pozo: Después de construir/ reparar un pozo o bomba, el pozo completo y el sistema de bombeo deberán desinfectarse para matar microorganismos dañinos (gérmenes y bacterias) que pueden encontrarse en el revestimiento gravas, suelo, tubo colgante, varilla de bombeo o en el agua por el proceso de cavar.

Normalmente se usa cloro como el agente desinfectante ya que destruye las bacterias neutralizando las enzimas que son esenciales para su sobrevivencia (Richard, 1987) Usualmente el cloro se vende en dos formas: hipoclorito de sodio (blanqueador líquido e hipoclorito de calcio (polvo o granos).

El hipoclorito de sodio es el ingrediente principal en blanqueadores líquidos que únicamente contiene un 5% del cloro libre; gradualmente va perdiendo su potencia con el tiempo, especialmente en climas cálidos. Como se requiere sustancialmente grandes cantidades para desinfectar eficazmente pozos de gran diámetro, puede mezclarse fácilmente con el agua y es relativamente seguro de manejar y usar.

El hipoclorito de calcio viene en concentraciones que van de 30-75 por ciento de cloro libre (70 por ciento es lo más común). Al igual que hipoclorito de sodio, puede potencia al estar expuesto al aire y se debe guardar en envases sellados en un lugar fresco y oscuro para retener su potencia. Se necesita mucho menos cantidad de este agente para clorar eficazmente los pozos y hay granos especiales, de disolución lenta que se pueden comprar para proveer residuos de cloro de duración prolongada. Sin embargo, el hipoclorito de calcio se vuelve inestable y puede tener combustión espontánea si se calienta y humedece y hasta puede explotar o arder si se cae.

Debe tenerse cuidado al mezclar y agregar cloro a un pozo ya que exponerse al compuesto puede resultar en irritación severa de la piel/vista y ampollarse. También es venenoso; la inhalación de concentraciones de 30ppm pueden producir tos violenta y las concentraciones de 1,000 ppm pueden ser fatales con unas cuantas inhalaciones!

El cloro es una sustancia muy reactiva. Cuando se agrega a un pozo, se combina con compuestos inorgánicos (sulfuro de hidrógeno, hierro ferroso, manganeso); en esta etapa no hay desinfección. Después que se reducen estos compuestos, el cloro restante reacciona con la materia orgánica (algas, fenoles y limo). Aunque se eliminan algunos malos sabores y olores, solamente hay una leve acción desinfectante y se forman los trihalometanos (organismos clorinados, cancerígenos).

Después que se cumplen las demandas ejercidas por los compuestos orgánicos, el cloro se combinará con compuestos nitrogenados (primordialmente amoníaco) para formar cloraminas. Esta forma combinada de cloro resulta en un desinfectante de acción prolongada, produce un número de sabor/olor de cloro y controla los crecimientos orgánicos. Sin embargo, su acción es lenta y requiere de tiempo de exposición prolongados.

Finalmente, se le agrega aún más cloro al agua, se destruyen las cloraminas y el cloro en exceso, conocido como residuo libre, forma el ácido hipocloroso (HOCL). El HOCL es un desinfectante poderoso, de acción rápida, deseable cuando los tiempos de exposición se mantienen lo más cortos posibles y/o si hay altas concentraciones de hierro, manganeso, color o bacteria. La cantidad de cloro (dosis) que se requiere para crear suficientes cantidades de HOCL depende de:

1. Números de bacteria: si hay grandes números de bacteria aeróbica o anaeróbica en el agua, se requiere una dosis alta de cloro para asegurar que destruya todo organismo causante de enfermedad”;
2. PH: El ácido hipocloroso se formará en aguas donde el pH varia de 6.5-7.5. Si el pH es 7.5, se formará ácido clorhídrico, un desinfectante débil, y a un pH 6.5, el cloro se disocia en iones de hipoclorito y no en desinfectante;
3. Temperatura: Afecta la velocidad de desinfección (alta temperatura = desinfección rápida);
4. Turbidez: La desinfección eficaz de microorganismos solo se iniciará cuando la demanda de cloro ejercida por la turbidez (compuestos orgánicos e inorgánicos) se ha satisfecho. Además, el cloro es un agente de acción de contacto y, como no puede penetrar los sólidos eficazmente para matar la bacteria oculta, la desinfección del agua turbia será incompleta.

En sistemas de tratamiento/distribución de aguas municipales, se filtra el agua para remover los sólidos y las concentraciones excesivas de productos químicos antes de la cloración. En estos sistemas, donde se trae el cloro y agua a un contacto activo bombeándolo en mezcladores, tanque de reserva y/o a través de largas líneas de distribución, la dosis inicial de cloro es generalmente de 1ppm o menos.

Sin embargo, los pozos nuevos generalmente tienen agua turbia, con concentraciones altas de hierro y/o limo orgánico y unos que otros pozos existentes no fueron completamente desinfectados después de sus construcción e instalación de la bomba. Finalmente, es difícil alcanzarlo aún mezclando el cloro y agua en pozos de gran diámetro, el cloro tiene a precipitar en el fondo de los pozos y las altas concentraciones deben alcanzar la parte externa de las baldosas de los pozos y el empaque de grava que lo rodea.

Como resultado, se requiere dosis mucho más altas de cloro para cloración de choque de los pozos que lo que se usa para operar sistemas de tratamiento. Todos los pozos recién construidos deben ser clorados de modo a que mantengan una dosis mínima de cloro de 250ppm por lo menos durante 12 horas (MOEE, 1995). Una vez que los pozos sean eficazmente desarrollados y clorados, se les puede tratar manteniendo una dosis de cloro de por lo menos 50ppm por un tiempo de exposición de 12 horas. Cuanto más alta sea la concentración de orgánicos e inorgánicos en el agua, mayor debe ser la dosis inicial para asegurar que quede presente por lo menos 50ppm de cloro en un pozo por 12 horas después de haber sido añadida.

Los pozos deben desarrollarse eficazmente antes de desinfectarse ya que la presencia de orgánicos (incluyendo residuos del líquido de perforación) y partículas de materia fina pueden hacer que la desinfección sea incompleta y resultar en la formación de compuestos con características inaceptables para la salud y/o la estética.

Proceso de cloración:

1. Calcule el volumen de agua a ser tratada. Para hacer esto, mida el número de metro de agua en el pozo. Para los pozos completados con 4" de diámetro y tubo de PVC calibre 40, el volumen de agua () a ser tratado es la profundidad de agua en el pozo en metro por 10.5 l/m (o la profundidad en pies por 0.85 vs galones/pie)²¹. Si usa un diámetro de 3" tubo de pvc calibre 40, multiplique la profundidad del agua (m) X 8.7 l/m.
2. Calcule cuanto cloro se necesita agregar para desinfectar el volumen de agua calculada. Los pozos recién construidos deben clorarse con 250 miligramos por litro de cloro libre. Para los pozos completados de 4" de diámetro tubo de PVC calibre 40, por cada m de agua en un pozo de LS-100 agregue 3.8 gramos de hipoclorito de calcio de 70% de concentración (Dato: hay más o menos 10 gramos en una cucharada rasa); ó 8,8 gramos de polvo de 25-35% de concentración ó 53 mililitros de hipoclorito de sodio de 5% de concentración (blanqueador líquido).
Si es de 3" de diámetro tubo de PVC calibre 40 instalado en un hoyo barrenado de 6 pulgadas de diámetro, por cada m de agua agregue: 3.1. gramos de hipoclorito de calcio de 70% de concentración; ó 7.2 gramos de polvo o cal clorada de 25-35% de concentración; ó 44 mililitros de hipoclorito de sodio de 5% de concentración (blanqueador líquido).
3. Si uso hipoclorito de sodio, simplemente viértalo en el pozo. Si usa hipoclorito de calcio, disuelva el polvo a las tabletas en un cubo de 20 litros (5 galones) de agua antes de agregarlo al pozo. No ponga más de 100 gramos de hipoclorito de calcio en cada cubo. Cuando se mezcla con agua. Probablemente se formará un residuo insoluble. Se debe permitir que este residuo y el sobrenadante claro que contiene el cloro puede ser decantado (Richard, 1987). Vierta la solución clara en el pozo.

²¹ Esto supone que un pozo con revestimiento de 4 pulgadas de diámetro 1D y 4.5 OD, un hoyo barrenado de 6 pulgadas de diámetro y una prioridad de 30% de empaque de grava y/o estabilizador de formación en el espacio anular. Por ende, el volumen de agua es =volumen del revestimiento X volumen del espacio anular (ver apéndice 1 para volúmenes). Nótese que la cantidad de agua dentro del revestimiento del pozo solamente es de 8.1 litro por metro de revestimiento debajo de la capa de agua, ya que volumen (litros)=profundidad de agua en el pozo (metros) x diámetro del revestimiento en metros/2) x (diámetro del revestimiento en metros/2) x 1,000 l/m³ x 3.14.

4. De ser posible , agite el agua para mezclar uniformemente el cloro. Si ya se ha colocado la bomba, debe usarse hasta que se detecte el olor distintivo a cloro. Si no se siente, coloque la cantidad de polvo o tabletas de cloro requeridas en un envase poroso con contrapeso y muévelo hacia arriba y abajo en el pozo hasta que se disuelva el contenido.
5. Deje la solución de cloro en el pozo por lo menos 12 horas y de preferencia por 24.
6. Después de 12-24 horas, el agua fuertemente clorada se debe bombear fuera del pozo. Si por alguna razón, aún el equipo de bombeo, hágalo ahora; se desinfectará al usarlo para remover el exceso de cloro. Escoja un lugar para desechar la solución de cloro donde tendrá un contacto mínimo con plantas o animales.
7. Si no hay olor a cloro en el agua que se desecha después del tiempo de exposición, se deberá repetir el proceso de cloración.
8. Descargue el agua en el sistema hasta que desaparezca el olor a cloro. La cantidad de cloro que permanece en el agua no hará daño.
9. En más o menos una semana, recoja muestras de agua para examen bacteriológico (ver el capítulo sobre "prueba de calidad de agua". Para estar completamente seguro, hierva toda agua de beber hasta que reciba los resultados del examen bacteriológico. Dos resultados "seguros" consecutivos probablemente indican que el tratamiento ha sido eficaz.²²

Prueba de calidad de agua: No hay ninguna medida única que defina un agua de buena calidad: Depende de su uso. La calidad del agua se define analizándolo en términos de su:

1. Contenido químico: Dureza (calcio + magnesio); metales (hierro, etc.), nutrientes (nitrógeno y fósforo); cloro, sodio, compuestos orgánicos, etc.
2. Contenido físico: Turbidez, color, olor, etc.
3. Contenido biológico: Colibacilos fecales, colibacilos totales, virus, etc.²³

El agua de buena calidad (potable) está libre de organismos causantes de enfermedad, sustancias químicas dañinas y material radiactivo, sabe bien, atrae estéticamente y está libre de color y olor desagradable. Se debe enfatizar que hay una diferencia entre "agua pura" y "agua potable". El agua pura, que se define generalmente como el agua que no contiene minerales o químicos, no existe en ambiente naturalmente. Por otro parte, el agua potable

²² Si las pruebas continúan mostrando contaminación bacteriana, se necesita una segunda cloración. Después del segundo tratamiento se deben conducir pruebas adicionales. Después de repetidas pruebas bacteriológicas positivas, se debe contactar a un contratista de pozo para limpiar el pozo y las formaciones que lo rodean con una solución concentrada de cloro usando el método de oleaje. La cloración esterilizará el pozo y sistema de agua; sin embargo, a menos que se encuentre la fuente de contaminación bacteriana que se corrija, el problema va a reunirse y la cloración no lo resolverá. En algunos casos se tiene que construir un nuevo pozo para corregir el problema.

²³ Los colibacilos incluyen tanto bacteria no patógena como las que causan enfermedades. Como la identificación de microorganismos causantes de enfermedades específicas es difícil, el colibacilo total se usa como indicador de la posibilidad de que el agua contenga organismos productores de enfermedades que normalmente viven en el tracto intestinal de los animales de sangre tibia (Dirscoll, 1986). Los cuatro grandes grupos de organismos patógenos que pueden afectar el agua que bebemos son bacteria, virus, protozoos y ocasionalmente lombrices. La tifoidea, cólera y disentería son causadas por bacteria y protozoos. Las enfermedades causadas por virus incluyen hepatitis infecciosa y polio.

puede retener algunos minerales y químicos naturales, como el calcio, potasio, sodio y fluoruros que en realidad son beneficiosos a la salud humana. Estos impartirán un sabor al agua que requiere tiempo para aceptar. Sin embargo, en algunos casos, el agua subterránea puede estar contaminada por químicos y bacteria.

Programa de muestreo recomendado:

Después de completarse un pozo nuevo o cuando se sospecha de la calidad de la fuente de agua (por turbidez), color, sabor u olor anormal), se deben tomar muestras de agua para análisis químico y bacteriológico. De ser posible, las autoridades de salud local deben examinar el agua para pureza y contaminación. Cuando la autoridad correcta la declara potable, puede ser usada por la comunidad. Sin embargo, con frecuencia, muchas comunidades con pozos de Lifewater no tienen acceso razonable a laboratorios comerciales. En estos casos, aún es deseable la toma de muestras pero se hará en el sitio del pozo a un costo mínimo.

Las pruebas para nitratos-nitrógeno (NO₃-N), ph, turbidez, total de sólidos disueltos (TSD), olores, colibacilos totales (la prueba más importante), bacterias aeróbicas y sulfato reductoras (ver Apéndice 8) se pueden efectuar en equipo y costo mínimo y proveer información fidedigna sobre el estado del agua del pozo. Idealmente, estas pruebas se deben hacer cada 6-12 meses para asegurar que el agua permanezca segura para beber. Las pruebas indicarán si la calidad del agua del pozo permanece igual o dará una indicación temprana de que hay alguna actividad que la está impactando. Se debe corregir cualquier indicación de deterioro de la calidad en su etapa inicial.

Métodos de examen recomendados: Las muestras de agua se deben tomar de la siguiente manera:

1. Bombee agua del pozo por aproximadamente tres minutos. Mientras el agua sigue fluyendo, introduzca una cinta de prueba de nitrato en el chorro por un segundo y retírelo permitiendo que el color se desarrolle por 60 segundos. Compare el color con el colorímetro incluido y anote el resultado. Haga lo mismo con la tira de pH.
2. Recoja una muestra en un vial o botella de vidrio claro y:
 - * haga una observación visual de la turbidez;
 - haga comentarios sobre cualquier olor observado en el agua.
3. Con la muestra en el vidrio claro, mida el total de sólidos disueltos (TSD) con un medidor de TSD de bolsillo (si hay disponible). Anote el número en ppm usando el multiplicador correcto.
4. Las pruebas de bacteria deben realizarse cuidadosamente para obtener resultados significativos. Se debe calentar levemente el tubo de la bomba con un fósforo para asegurar que cualquier bacteria detectada es del agua y no de las superficies de la bomba. Después de eso se debe dejar fluir el agua por 2-3 minutos antes de tomar la muestra. Llene la bolsa plástica estéril; tome cuidado de no tocar la parte interna de la bolsa con nada (ni siquiera con las manos).

Para colibacilos totales, vierta cuidadosamente el agua dentro de los viales de muestra hasta que el nivel del líquido llegue a la línea marcada "lleno" (la prueba de La Monte requiere 5 viales; la prueba COLI- MOR usa un frasco con un medio de cultivo líquido rojo- ver apéndice 8). Asegurándose que los bordes de los viales y la superficie interna de la tapa no

o que nada, vuelva a tapar el vial. Coloque los viales en posición vertical en la caja provista para ello y déjelos d a un lado por 24-36 horas. Anote cambios de color, formación de gas y la posición del dedal en los viales. Después de la prueba, quite cuidadosamente las tapas, enjuague los viales con blanqueador, rómpalos y entiérrelos a 2 pies bajo tierra donde no pueden ser hallados pos niños para jugar (contienen bacteria potencialmente peligrosa).

Las pruebas de bacteria aeróbica y sulfato reductoras²⁴ indican si hay presencia de bacterias que puedan causar problemas que van desde la formación de limo, hasta la turbidez, sabor, hedor y la corrosión debida a mayores riesgos higiénicos (se ha demostrado que las bacterias que producen sulfato de hidrógeno están asociadas a la presencia de contaminación fecal). Aunque estas pruebas sirven de simples indicadores, se recomienda que donde se encuentre el problema se hagan exámenes más específicos para determinar la naturaleza del problema bacteriano.

Resultado/interpretación de la prueba

Si el agua está turbio o nublado, puede ser que las corrientes de aguas superficiales contaminadas están entrando al acuífero por grietas en el revestimiento o la plataforma de cemento de la bomba o por el suelo alrededor que es muy permeable. Aunque la turbidez no es peligrosa, reduce la eficacia de desinfección e indica la presencia de otras condiciones que requieren más investigación.

Los olores no deben estar presentes en el agua. Si las hay, puede ser que ha entrado sustancias potencialmente peligrosas en el agua provenientes de las casas (lavado de ropa), fuentes agrícolas (materia fecal animal), o fuentes naturales (sulfatos de ojos de agua o acuíferos).

Si el total de sólidos disueltos (TSD) excede 500 mg/l, el sabor desagradable llevará a las personas a usar agua de fuentes malsanas. El aumento de TSD con el tiempo indica que el pozo está tomando agua de mayor profundidad en la tierra o que los contaminantes (tales como agua salada, si están cerca del mar) están penetrando el acuífero. Los cambios serios de TSD a través del tiempo requieren la reducción del volumen de bombeo y/o barrenar un nuevo pozo (probablemente a mayor elevación).

Las lecturas de pH deben estar en el rango de 5.5 a 8.5 para aguas de pozo. Si las lecturas están fuera de ese rango, encontrar la fuente y correcciones puede ser difícil. El peor efecto podrá ser la corrosión prematura de las superficies de metal que entran en contacto con el agua.

Las concentraciones de nitratos por encima de 10 mg/l pueden causar problemas de la sangre en infantes (enfermedad del niño azul). Los niveles elevados indican que la fuente de agua está en contacto con estiércol, aguas negras o fertilizantes nitrogenados. Una

²⁴ Las pruebas de reacción de actividad biológica (BART) de Drycon Bioconcepts, inc., incluyen el medio de cultivo como una matriz estéril seca en el fondo de los tubos (viales de prueba). Para la prueba de patógenos HACH, el medio está contenido en pequeños tubos plásticos ("pillows") que deben cortarse y vertirse en un vial en el campo. Solamente las pruebas BART no necesitan incubación. Para más detalles, ver apéndice 8.

lectura elevada (mayor de 50 mg/l de nitrato) requiere un seguimiento frecuente (semanal). Si los niveles de nitratos arriba de 45 mg/l (10 mg/l de nitratos como nitrógeno) persisten, se debe determinar el origen de la fuente y moverla para otra localidad (potreros, letrinas, etc.)

Las lecturas de nitritos (pueden usarse las mismas tiras) siempre deben estar debajo de 1 mg/l. Si las concentraciones de nitrito están por encima de 1 mg/l, no se debe dar el agua a infantes y debe usarse otra fuente de agua (hervida para desinfección). Es difícil identificar organismos que causen enfermedades en el agua. Por lo tanto, aunque los colibacilos totales y bacteria aeróbica/anaeróbica no son en sí dañinas, su presencia es señal de que hay una probable contaminación bacteriana de heces humanas o de animales. Si se encuentra colibacilos y/o bacteria aeróbica/anaeróbica (ver apéndice 8), se debe volver a examinar la fuente de agua prestando atención muy especial a los detalles de la colección de la muestra. Si aún se siguen encontrando problemas de bacteria, trate de conseguir profesionales de salud locales para conducir un examen más minucioso de la fuente de agua. Además, se debe examinar cuidadosamente el pozo y el área que lo rodea para determinar los posibles lugares de entrada de agua contaminada. Nótese que los mismos lugares que son fuentes de los problemas de nitratos son probablemente responsables por la contaminación bacteriana (vea también la sección "Fuentes de contaminación"). Sin embargo, la contaminación bacteriana también puede indicar resquebrajamiento del revestimiento del pozo. Cada circunstancia requiere su solución particular para mejorar la calidad del agua. Si los problemas persisten y no pueden corregirse, cada usuario deberá desinfectar el agua que necesita para beber, cocinar, cepillarse los dientes²⁵.

MANTENIMIENTO

El mantenimiento es crítico, pero muchas veces es un aspecto pasado por alto en los proyectos de desarrollo de agua. Con mucha frecuencia se deja de considerar hasta que ocurra una crisis porque se dañan las máquinas en un momento inoportuno o el pozo deja de producir agua durante la estación seca.

Torre de perforación (LS-100)

1. Revise el nivel de aceite en la caja del cigüeñal del motor antes de iniciar un nuevo hoyo, y cada día subsiguiente durante la operación de perforación, agregando aceite cuando fuere necesario. **Nota:** cambie el aceite después de las primeras cinco horas de operación; en adelante, cada 25 horas de operación. Use el aceite recomendado en el manual de mantenimiento de Briggs & Stratton.

²⁵ Se puede lograr que el agua sea potable:

- 1) Hirviéndola: Ebullición vigorosa por 5 minutos. El sabor blando del agua hervida se puede mejorar pasándolo una y otra vez de un recipiente **LIMPIO** a otro. También se le puede agregar una pizca de sal a cada litro de agua hervida.
- 2) Clorándola: Agregue 10 gotas de blanqueador de cloro a cada litro de agua clara, mezclándola bien y dejándola reposar por lo menos 30 minutos. Esta agua tratada tendrá un leve olor a cloro; si no lo tiene, se debe repetir la dosis y dejarla por 15 minutos más. Si esta agua tratada tiene un sabor a cloro muy fuerte, se puede eliminar dejándolo expuesto al aire (ponerle una tapa liviana para evitar insectos, etc. que puedan caer dentro del agua);
- 3) Exposición UV: Coloque el agua clara en un recipiente y expóngalo a la luz y el calor de un sol brillante por lo menos 8 horas.
- 4) Ajuste del pH: Agregue limón para elevar el pH por encima de 10 por varias horas. Exponga el agua a la atmósfera por varias horas para lograr que el CO₂ natural reaccione y vuelva a reducir el pH a 8.5 por lo menos, antes de beberlo.

2. El nivel de aceite en la caja de transmisión no necesita revisarse entre los cambios de aceite a menos que haya evidencia de un escape.
3. Refiérase al manual de Briggs & Stratton para todo otro mantenimiento del motor y la transmisión.
4. La estructura en sí requiere poco o ningún mantenimiento. Mantenga las cadenas ligeramente lubricadas. **NO USE GRASA** en las cadenas porque esto acumula sucio y aumenta el desgaste de las cadenas. Ocasionalmente aplique unas cuantas gotas de aceite al engranaje y flecha del huinche. De vez en cuando lubrique las superficies anterior y posterior del mástil donde hace contacto el transportador. También aplique unas cuantas gotas de aceite al cable de control del obturador de la gasolina.
5. Revise, limpie, reemplace (si necesario) y lubrique nuevamente los sellos de la placa giratoria después de cada hoyo barrenado.

Bomba de lodo

1. Revise el nivel de aceite en la caja del cigüeñal del motor antes de iniciar un nuevo hoyo, y cada día subsiguiente durante la operación de perforación, agregando aceite cuando fuere necesario. **Nota:** cambie el aceite después de las primeras cinco horas de operación; en adelante, cada 25 horas de operación. Use el aceite recomendado en el manual de mantenimiento de Briggs & Stratton.
2. Después de cada hoyo barrenado, retire y drene el tapón de la caja de la bomba y quítele la arena, grava u otro desecho que pudo haberse acumulado lavándolo con chorros de agua limpia.
3. Refiérase al manual de Briggs & Stratton para todo otro mantenimiento del motor y la transmisión.
4. Reemplace los sellos en la bomba de lodo cuando se detecte un escape en el eje de la bomba.
5. Revise y reemplace el propulsor si está muy desgastado. El barrenado pone mucha fuerza sobre la bomba de lodo y es necesario reemplazarlo después de perforar 10-20 pozos.

Bomba manual

Un pozo nuevo es muy costoso e importante para el bienestar de las comunidades, por lo tanto, debe mantenerse en buenas condiciones de funcionamiento. Se debe revisar regularmente el pozo y sus alrededores para asegurarse que:

1. El pozo está totalmente accesible a todos los usuarios y está cercado para evitar el acceso de los animales.
2. El sello sanitario está bien ajustado y sin escape de agua.
3. No se han desarrollado aberturas en el revestimiento del pozo debido a derrumbamiento o daño que pueda permitir que el agua de la superficie y otros desechos entren al pozo.
4. El espacio anular alrededor del revestimiento del pozo y la plataforma de cemento no están agrietados permitiendo así la filtración de agua de superficie alrededor del revestimiento y dentro del pozo.
5. El drenaje de agua de superficie en las inmediaciones del pozo está dirigido hacia fuera del pozo y no se recoge ni empoza en las cercanías del pozo.

6. No hay desechos flotando sobre la superficie del agua del pozo.
7. El área alrededor del pozo se mantiene libre de fuentes de polución en potencia, tales como desechos animales y humanos, basura, lugares de almacenamiento de combustible y productos químicos, drenaje de calles, etc. Y que no hay actividades en las inmediaciones del pozo que pueden contaminar el pozo y el acuífero. Los beneficios del agua limpia no deben reducirse por las malas prácticas de higiene.
8. El revestimiento del pozo continúa siendo adecuado (si ha declinado y el nivel de antes del bombeo es el mismo que antes, es necesario volver a desarrollar el colador).
9. La bomba todavía bombea eficazmente (dependiendo de su uso, las empaquetaduras de cuero en el cilindro de la bomba se tendrán que cambiar cada 6 meses a un año; el cilindro de la bomba necesitará cambiarse cada 5- 10 años). Asegúrese de clorar el pozo cada vez que se abra y cada vez que se remueva el tubo colgante.
10. Que todos los tornillos y pernos de conexión de la bomba están apretados.
11. Que los soportes de madera y puntos de contacto de acero con acero estén lubricados y, si gastados, que se reemplacen.
12. Que cualquiera pieza o soporte roto o gastado se vuelva a ajustar o reemplazar lo más pronto posible.

Las actividades de monitoreo constante deben ser realizadas por los moradores, iniciando las acciones necesarias para corregir los problemas antes que el pozo se dañe o se contamine el agua. Debe recaudarse 40 por ciento del costo del pozo anualmente y entrenar a los locales para confeccionar/obtener e instalar las piezas dañadas para asegurar el funcionamiento continuo del pozo (UN, 1981). No se debe implementar ningún proyecto si no hay una estructura organizada para obtener recursos financieros y el compromiso de la gente para operar y mantener el pozo una vez terminado.

Problemas de construcción/operación del pozo

- 1) **Pérdida excesiva de fluido/derrumbe:** Usualmente se necesitan grandes cantidades de agua recogida disponible en todo momento cuando se está barrenando arena permeable y grava. Esto es importante porque a veces el líquido de perforación fluye inesperadamente dentro de las formaciones permeables que se está barrenando en vez de circular de vuelta hacia arriba del hoyo barrenado. Si se pierde la circulación de retorno súbitamente, cambie la válvula de 3 vías para dirigir el líquido de perforación de vuelta al estanque por la manguera de paso (esto disminuye la pérdida de agua valiosa). Luego levante rápidamente el tubo de perforación 1- 2 metros del fondo del hoyo barrenado para que sea menos probable que se atasque si la porción inferior del hoyo colapsa .

Si se ha estado procediendo con el barrenado con lodo de bentonita espeso, la mejor acción posible es "esperar" (Australian, 1992). El período de espera puede hacer que el líquido cuaje en la formación para proveer un sello suficiente para permitir que se restablezca la circulación. Si el barrenado ha estado procediendo con agua o lodo natural, reemplace el líquido por una pasta aguada de bentonita, circúlelo en el hoyo barrenado y déjelo asentarse por un rato. Cuando esté listo para volver a circular

por el hoyo, golpee el tubo de perforación con un martillo para dislocar el lodo y abrir el tubo.

Si la espera y el dejar esperar el lodo de perforación no restaura la circulación, investigue por qué se perdió la circulación. Si el líquido de perforación se está perdiendo en una solución saturada altamente permeable, es posible construir un pozo excelente!. Por lo tanto, pruebe el rendimiento del pozo antes de decidir proceder con los pasos descritos abajo.

Si es necesario barrenar más, trate de agregar materiales que espesen el lodo. Esto puede ocurrir cuando se encuentran formaciones extremadamente inestables o aquellos que tienen grietas abiertas. Se puede usar prácticamente cualquier material granulado o fibroso para proveer un fajo para bloquear una zona de circulación perdida. Los materiales locales como salvado, cáscaras secas, cascajo, paja, corteza, trocitos de madera, algodón, plumas y hasta ropa de cama de algodón o fibra se podrán hallar y usar fácilmente (Australian, 1992). Este material debe ser empacado en el hoyo para bloquear las grietas.

El método "gunck squeeze" de sellar una zona que ha perdido circulación involucra forzar una gran cantidad de arcilla o cemento dentro de la zona de pérdida de agua (usualmente cerca de la broca de barreno) empujándolo dentro del formación donde se hincha y llena cualquier grieta (Australian, 1992). Se mezcla una concentración bien alta de bentonita (6-7 KG/l) y se baja inmediatamente dentro del hoyo barrenado en un saco sellado o en un recipiente que puede romperse cuando esté opuesto a la zona de pérdida de circulación. Se logra que el material sella aplicando presión en el hoyo o empujándolo con un bloque puesto en el extremo del cable de perforación.

Si no se puede bloquear la zona de pérdida de circulación, a veces se puede proceder con la perforación sin que regrese la circulación. Los recortes se llevan dentro de las cavidades de la formación. Puede que se necesite bombear ocasionalmente un poco de lodo espeso para librar el fondeo del hoyo (Australian, 1992) Como alternativa se puede colocar un revestimiento para aislar la zona de problema. Asegúrese de que el hoyo la ha penetrado completamente la zona del problema el cual debe ser protegido con revestimiento; la colocación del revestimiento antes de tiempo puede no ser la solución por mucho tiempo. Finalmente, si ninguna de estas opciones funciona, puede ser necesario abandonar el hoyo o continuar la perforación usando un barreno rotativo (Australian, 1992).

2. Derrumbe del hoyo barrenado: Si el nivel del líquido en el hoyo barrenado cae significativamente, usualmente sucede un derrumbe²⁶. Por lo tanto, después de una pérdida de circulación o un obstrucción nocturna, vuelva a llenar el hoyo barrenado lentamente mediante la circulación de líquido de perforación a través del tubo de

²⁶ El líquido de perforación evita el derrumbe del hoyo porque ejerce presión contra la pared. Mientras la presión hidrostática del líquido supera la presión de la tierra y cualquier presión de confinamiento en el acuífero, el hoyo se mantiene abierto. La presión en cualquier profundidad es igual al peso de la columna del líquido de perforación por encima de ese punto.

perforación (verter líquido directamente dentro del hoyo barrenado puede desencadenar derrumbe). Si el derrumbe ocurre mientras se está barrenando, verifique si los recortes aún están saliendo del pozo. Si la están, detenga la perforación y circule líquido de perforación por un rato. Si el líquido está circulando pero se está llevando los recortes para afuera del hoyo, agregue más bentonita al líquido de perforación.

A veces se derrumba parte del hoyo barrenado cuando se está instalado el revestimiento, impidiendo que se coloque en toda la profundidad del hoyo barrenado. Cuando esto ocurre, debe retirarse el revestimiento y volver a barrenar con un líquido de perforación más pesado. Cuando se está retirando el revestimiento, no se debe elevar en el aire por más de 40 pies en ningún momento; más que esto causará que las paredes delgadas (calibre 40) del pvc se doble y agriete.

3. Traba de la broca de barreno: El tubo de perforación y la broca se pueden trabar cuando no se permite que el líquido de perforación limpie cabalmente el hoyo barrenado antes de detenerse para agregar otro tramo de tubo de perforación o si el líquido es muy liviano para levantar la grasa del fondo del hoyo barrenado. Por lo tanto, si las brocas de barreno empiezan a golpearse durante la perforación, detenga en la perforación y deje que el líquido de perforación circule y retire los recortes acumulados del hoyo. Entonces continúe barrenando a velocidad más bajo. Si continúa golpeándose, haga más espeso el líquido de perforación.

Si la broca de barrena y el tubo se traba, para la perforación y circule líquido de perforación hasta que se libere. Si la circulación está bloqueada, trate de sacar la broca y el tubo de dentro del hoyo por medio de un huinche. Detenga el motor y use una lleve de tubería para trastocar la rotación. (no más de una vuelta o podrá destornillar el tubo!). Rápidamente golpee el tubo de perforación con un martillo para tratar de sacudir y liberar la broca.

Si estas acciones no tienen éxito use tramos de tubo de perforación sin broca o tubería de wattera para remover los recortes a chorro. Adapte el tubo o tubería directamente a la manguera de desagüe de la bomba de lodo. Espere el líquido de perforación para asegurar que los recortes que están atascando la broca puedan ser removidos. Luego aplique tensión al tubo trabado con el huinche de la torre de perforación. Una vez que el líquido comienza a circular hacia fuera del hoyo, empuje suavemente el tubo o la tubería a chorro por el hoyo al lado del tubo de perforación hasta que llegue a la broca. Cuando el líquido comience a circular a través del tubo trabado y/o se afloje, hale el tubo de perforación trabado y resuma la circulación del líquido de perforación espeso a través del tubo de perforación y la broca. Retire el tubo usado para irrigar. Si hay agua circulando libremente por el hoyo barrenado, baje lentamente el tubo de perforación y la broca y resuma la perforación.

- 4 Encuentro de capa resistente: Una vez que se encuentre una capa resistente y disminuye el grado en el cual la broca de barreno penetra la formación, hay que

tomar una decisión de dejar de barrenar o continuar. Si la capa resistente es de grava, tal vez se necesite líquido de perforación más espeso para remover los recortes. Si la capa resistente es de granito duro, se debe dejar de barrenar con la LS-100 y buscar otro método de perforación.

5. Caída de objetos en el pozo: Infelizmente a veces caen llaves, rocas, etc; inadvertidamente, dentro del hoyo barrenado durante la perforación. Además generalmente, la LS-100 funciona cerca del límite de su capacidad con un alto grado de tensión estructural sobre sus brazos e instrumentos; encontrar inesperadamente capaz de arena muy suave o filtro o roca dura puede causar derrumbes o rotura de herramientas y todo el tubo de perforación se puede perder en el hoyo.

Si caen objetos en el hoyo después de llegar a la profundidad final, cabe la posibilidad de dejarlos y mismo así completar el pozo. Si esto no es el caso, se puede construir una herramienta "pescadora" para recoger las piezas perdidas. Por ejemplo, sin un tramo del colador cae dentro del hoyo barrenado, se puede introducir otras secciones con un extremo puntiagudo para "atrapar" el revestimiento perdido pinchándolo fuertemente con el extremo puntiagudo. Este tipo de ejercicio de "pesca" requiere iniciativa y habilidad de acuerdo a las circunstancias – no hay una manera correcta o incorrecta de hacer este trabajo. Si el sedimento se ha derrumbado sobre la broca de barreno u otras herramientas, se debe resumir la circulación en el hoyo y colocar la herramienta de pescar sobre el equipo perdido.

Si las herramientas/brocas/tubos de perforación no son esenciales, ni trate de recuperarlos simplemente vaya a otro lado y empiece a perforar un hoyo nuevo. Aún si el equipo es importante, es mejor comenzar a barrenar en un nuevo sitio mientras otros tratan de recuperarlo ya que se puede perder un tiempo considerable con poca probabilidad de éxito.

6. Suelo/zonas acuíferas contaminadas: a veces se necesita perforar por acuíferos que contienen aguas contaminadas. En estas circunstancias, perfore solo hasta encontrar una capa confinada (arcilla o roca). Introduzca el revestimiento y luego selle el espacio anular con lechada pesada. Para evitar dañar la lechada, déjelo curar por lo menos de 12-24 horas antes de resumir la perforación (Driscoll, 1986).

La lechada se prepara mezclando 5.2 galones (19.7l) de agua con cada saco de cemento de 94 lb (42.6 KG)(Driscoll, 1986). Se puede preparar 5 volúmenes de lechada pesada mezclando 4 volúmenes de polvo de cemento con 3 volúmenes de agua fresca (Australian, 1992). Como alternativa, cada saco de cemento se puede añadir a una suspensión formada por la mezcla de 3-5 lbs de bentonita con 6.5 galones (25 L) de agua (Driscoll, 1986). Esta mezcla ayuda a mantener las partículas de cemento en suspensión, reduce el encogimiento del cemento, mejora la fluidez de la mezcla y evita penetración excesiva de lechada dentro de estas formaciones.

Normalmente la lechada de cemento se coloca vertiéndola en el espacio anular. De otra manera, cierta lechada puede vertirse dentro del revestimiento y/o el

revestimiento se puede levantar varios pies para luego ser empujado dentro de la lecha que se acumula en el fondo del hoyo. Vierta la lechada de una operación continua para producir un buen sello (Driscoll, 1986). Como pueden ocurrir irregularidades del hoyo y pérdidas en la formación, el perforador debe estar preparado para aumentar los cálculos iniciales de volumen de lechadas en poco tiempo.

Donde la contaminación es severa, se necesita un sella muy bueno. Si se está instalando un revestimiento de 4 pulgadas en un hoyo barrenado de 8 pulgadas, se puede bombear la lechada dentro del espacio anular a través de una tubería de Wattera libre el cual se introduce en el espacio anular. Levante la tubería periódicamente para disminuir la presión retroactiva sobre la bomba. Asegúrese que el extremo del tubo debajo de la superficie de la lechada. Si se ha colocado un revestimiento de 4 pulgadas en un hoyo de 6 pulgadas, bombee una cantidad predeterminada de lechada en el revestimiento, instale un tapón de madera o de cemento en la parte de arriba de la lechada (para evitar dilución de la lechada) y bombee agua dentro del revestimiento (usando una bomba de lodo con una tapa de revestimiento bien ajustada) hasta que la mayor parte de la lechada del revestimiento y de la parte superior del espacio anular se expulsa a la superficie (Driscoll, 1986). Deje unos 0.5 metro de lechada en el revestimiento²⁷.

7. Pozos que se desbordan: Algunas veces el agua de un acuífero confinado se encuentra bajo tanta presión que se desborda por arriba del pozo que se perforó dentro de él. Deben usarse precauciones especiales y técnicas de construcción para controlar la presión y el flujo de agua o pueden resultar problemas ambientales serios. El flujo libre de agua en exceso que se pierde puede resultar en agotamiento de un recurso valioso y en interferencia innecesaria con otros suministros de pozos. El flujo desmedido del revestimiento del pozo o un brote de flujo incontrolado alrededor del revestimiento del pozo puede causar serios problemas de erosión e inundación en la propiedad del dueño y de las propiedades adyacentes que pueden ser muy difíciles o costosos de corregir.

A veces se puede controlar el flujo natural extendiendo el revestimiento del pozo 5-20 pies en el aire. Esto puede hacer que se nivele la presión dentro del tubo con la del acuífero. Se puede instalar un tubo con un grifo en la lateral del revestimiento. Más adelante se podrá instalar una bomba manual si la presión en el tubo baja con el tiempo.

8. Encuentro de un acuífero mínimo: A veces se encuentra un acuífero muy delgado o relativamente impermeable que debe ser desarrollado para ser una fuente de agua de rendimiento seguro. Asegúrese de que el hoyo barrenado penetre completamente el espesor del acuífero, extendiéndose lo más hondo que sea posible debajo de él. Instale un colador de pozo adyacente del espesor completo del acuífero con revestimiento

²⁷ Antes de perforar el tapón de la lechada, se puede verificar la eficacia del sello midiendo el cambio de nivel de agua en el revestimiento a través del tiempo. En pozos con un nivel de agua estancado bajo, se puede llenar el revestimiento con agua o líquido de perforación y luego verificarse para ver si hubo pérdida de agua. Si el nivel de agua estancada es alta, se puede vaciar el revestimiento casi totalmente, y se puede medir cualquier cantidad de agua entrante.

sólido arriba y debajo de él. Después de desarrollado el pozo, el cilindro de la bomba lo más profundo que sea posible dentro del pozo.

Si se está terminando un pozo en un acuífero de arena fina o cieno a cm 50-75 pies de la superficie del suelo, en algunas ocasiones se ha usado una broca de barrena ensanchadora de 8 pulgadas (p.e. Bolivia). Esto hace posible la instalación de un mejor filtro de empaque y disminuye las velocidades de entrada y paso de partículas de cieno fino, arcilla y arena al pozo.

Se puede llevar el rendimiento al máximo agregando una pequeña cantidad de un polifosfato al pozo después que ha sido desarrollado usando técnicas convencionales. El polifosfato ayuda a remover arcillas que se encuentran naturalmente en el acuífero y que fueron introducidos en el líquido de perforación.²⁸

Se debe permitir suficiente tiempo entre la introducción del polifosfato y el desarrollo, generalmente de la noche a la mañana siguiente, para que las masas de arcilla se desintegren completamente (Driscoll, 1986). Después que la solución de polifosfato²⁹ pase a través del colador, se debe agregar agua al pozo para que la solución penetre más adentro de la formación.

9. El revestimiento se traba durante la instalación: a veces parte del hoyo colapsa y no es posible bajar el revestimiento y el colador al hoyo. Se hay una resistencia significativa, no es aconsejable tratar de forzar el revestimiento para entrar. Si se golpea duro para tratar de que entre, se corre el riesgo de deformar el colador; girando y empujándolo puede hacer que las ranuras del colador se tapen irreversiblemente con partículas menudas.

La mejor solución es retirar el revestimiento/colador del hoyo. Esto implica cortar el revestimiento en tramos de 40-60 pies (más largo que esto hará que el revestimiento se doble y se agriete). Lentamente vuelva a perforar el hoyo con una broca ensanchadora de 6 pulgadas (concentrándose en la porción del hoyo donde se trabó el revestimiento). Aunque esto demora varias horas, generalmente elimina la obstrucción del hoyo y permite que el revestimiento se deslice hasta el fondo del hoyo.

Como puede que sea necesario "lavar" el revestimiento a su lugar, remueva la cubierta de la transmisión (copa/tapón puntiagudo) e instale algún tipo de válvula de desagüe (vea la sección de revestimiento y colador del pozo.) se debe hacer esto mientras se ensancha el hoyo. Tan pronto como se complete el ensanche, vuelva a colgar en insertar el revestimiento.

²⁸ Los polifosfatos que se usan frecuentemente incluyen trifosfato de sodio (Na₃P₃O₁₀), pirofosfato de sodio (Na₄P₂O₇), pirofosfato tetrasódico (Na₄P₂O₇) y hexametáfosfato de sodio (Na₆P₆O₃₃) Anderson, 1993).

²⁹ Se debe usar aproximadamente 6.8 kg (1,5 lb) de un polifosfato por cada 400 l (100 gal) de agua en el colador. Se debe agregar 0.9 kg (2 lbs) de hipoclorito de sodio a cada 100 gal de agua en el pozo para control del crecimiento bacteriano promovido por la presencia de polifosfatos (Driscoll, 1986). Los polifosfatos deben ser mezclados antes de introducirse en el pozo porque no se mezclan fácilmente con agua fría. A veces se calienta el agua de la mezcla para ayudar a disolver la sustancia química (Driscoll, 1986). Los polifosfatos NO deben ser usados en formaciones con capas delgadas de arcilla y arena porque estas sustancias químicas tienden a hacer inestable las arcillas cerca del pozo, facilitando su mezcla con la arena (Driscoll, 1986) pasando continuamente al hoyo durante el bombeo (Anderson, 1993).

Si aún se traba, trate de "lavar" el revestimiento instalando las varillas de perforación dentro del fondo del revestimiento y poniendo a circular el líquido de perforación. El líquido se bombea hacia el fondo a través del revestimiento saliendo por el fondo del colador donde recoge y transporta partículas de suelo para devolverlas a la superficie entre el revestimiento y las paredes del hoyo. La cantidad de agua que pasa por los orificios del colador se puede minimizar aplicando un bloqueador de oleaje al extremo inferior del cable de la perforadora. Cuidese de asegurar el tubo con un cable para evitar que el revestimiento caiga si el bloqueo se localizó y se removió con el proceso de circulación. El no hacer esto puede resultar en la caída del revestimiento hasta el fondo del hoyo sin que el revestimiento se extienda hasta la superficie. Cuando el revestimiento se instale finalmente en la profundidad deseada, estabilice el fondo abierto del revestimiento vertiendo 30-60 cm de grava gruesa en el pozo. Si el revestimiento aún se traba sobre la formación acuífera, la única otra opción es obtener e instalar revestimiento y colador de 3 pulgadas.

10. **El pozo deja de producir agua:** El pozo puede dejar de producir agua en las cantidades que producía anteriormente. Frecuentemente se necesita medir el nivel de agua en el hoyo para poder determinar cuál de las causas siguientes es responsable.

Caída natural de la lámina acuífera: Los niveles de agua en pozos cavados o barrenados de poca profundidad experimentan grandes fluctuaciones debido a las condiciones climáticas. El cambio climático natural de los niveles de agua generalmente es de varios metros. Es bien probable que las causas estén en la causa de la caída del rendimiento si el nivel de agua del pozo no aumenta, aún varias horas después de bombearse. Todo lo que se puede hacer es construir un nuevo pozo, asegurándose que el revestimiento se coloque a la profundidad debajo de la placa acuífera (lo ideal es de 5 a 10 metros) para asegurar un caudal más que suficiente de agua durante los períodos de sequía del verano cuando declinan los niveles de agua.

Interferencia en el agua del pozo: La construcción de tuberías madres de agua y sanjas de drenaje y autopistas (cortes de caminos) generalmente puede afectar los niveles de agua subterránea e interferir con los pozos de poca profundidad y estén cercanos. Además, el nivel de agua estancada en un pozo puede ser afectado por grandes extracciones de agua subterráneas de pozo de gran capacidad en las inmediaciones o por equipo de extracción de agua de trabajos de construcción.³⁰ El potencial para la interferencia del pozo depende grandemente en la litología de la formación que la produce y la magnitud el uso del pozo.

Obstrucción del colador: A veces el problema es que el colador se obstruye con arena y partículas de sedimentos, como depósitos de hierro acumulado o con

³⁰ Cuando se bombea un pozo, el nivel de agua en las áreas aledañas baja, se desarrolla una depresión en cono alrededor del pozo. El tamaño y la forma del cono depende de las características acuíferas de la formación en la cual se completa el pozo y la proporción del bombeo. Esta es la causa probable si hay dos o más pozos localizados dentro de 100 metros uno del otro y si los niveles de agua vuelven a lo normal en ambos pozos una vez que se deje de bombear o en un tiempo razonable después. La recuperación del nivel de agua depende de la cantidad de agua extraída del acuífero y la duración del tiempo en que se bombearon los pozos. Todo lo que se puede hacer es manejar la proporción en la cual se retira agua de los pozos afectados.

crecimiento de bacteria (que ocurre naturalmente, bacteria no relacionada a problemas de salud que puede producir olores a huevo podrido, ocasionalmente grumos de hierro en aguas ricas en hierro, etc.). Es probable que esta sea el caso si el nivel de agua en el pozo está cerca del nivel que tenía la construcción original pero desciende al fondo del cilindro de la bomba tan pronto como se bombea el pozo. El pozo debe ser extensamente desarrollado nuevamente (con un bloqueo de oleaje, etc. Como si fuera un pozo nuevo) para tratar de restaurar la eficiencia del colador y el empaque de grava. Infelizmente, si el problema ocurrió una vez, probablemente volverá a ocurrir. Esté preparado para repetir el desarrollo del proceso según sea necesario para extender la vida del pozo.

APÉNDICE 1: TABLAS Y CONVERSIONES ÚTILES

	cm	m	in	ft
1 centimetre (cm) =	1	.01	.3937	.0328
1 meter (m) =	100	1	39.37	3.281
1 inch (in) =	2.54	.0254	1	.0833
1 foot (ft) =	30.48	.3048	12	1
1 mile = 5280 ft = 1760 yards = 1.609 km = 1609.3 m				

	cm ²	m ²	in ²	ft ²
1 square centimetre (cm ²) =	1	.0001	.155	.00108
1 square meter (m ²) =	10,000	1	1,550	10.76
1 square inch (in ²) =	6.452	.000645	1	.00694
1 square foot (ft ²) =	929	.0929	144	1
1 hectare = 2.471 acres = 10,000 m ² = .01 Km ² = .00386 mile ²				

	cm ³	m ³	l	U.S.gal	ft ³
1 cm ³	1	.000001	.001	.000264	.000035
1 m ³	1,000,000	1	1000	264.17	35.314
1 Litre	1,000	.001	1	.2642	.0353
1 US Gallon	3,785.4	.003785	3.785	1	.1337
1 foot ³	28,317	.028317	28.317	7.481	1
1 US Gal = 4 qts = 8 pints = 16 cups = 128 fl oz = .83269 Imp. Gal					
1 Imp Gal = 4 qts = 20 cups = 160 fl oz = 4.546 l = 1.2009 US Gal					
1 cup = 8 fl oz (1 US fl oz = 29.574 ml; 1 Imp. fl oz = 28.413 ml)					
1 cup (US) = 236.592 ml = 16 tablespoons (tbsp):					

Borehole Volume	6" Borehole	3" Schedule 40		4" Schedule 40	
		Casing	Annulus	Casing	Annulus
US Gallons/foot	1.5	0.41	0.97	0.65	0.64
Cubic Feet/foot	0.2	0.06	0.13	0.09	0.09
Litres/metre	18.2	5.08	12.0	8.11	7.98

	GPM	l/s	cfs	m ³ /day
US gallons per minute (GPM) =	1	.0631	.00223	5.42
litres per second (l/s) =	15.85	1	.03531	86.4
cubic feet per second (cfs) =	448.8	28.32	1	2,447
cubic meters per day (m ³ /day) =	.183	.0116	.000409	1

	gm	kg	oz	lb
1 gram (gm) =	1	.001	.03527	.002205
1 kilogram (kg) =	1000	1	35.27	2.205
1 ounce (oz) =	28.35	.02835	1	.0625
1 pound (lb) =	453.6	.4536	16	1

1 ft³ water weighs 62.4 lbs; 1 m³ water = 2204.5 lbs;
 1 litre water weighs 1 Kg; 1 cm³ = 1 gram; 1 Imperial Gal = 10 lbs; 1 US gal = 8.3 lbs = 133.5 oz = 3.78 Kg

Miscelánea:

1 miligramo /litro (mg/l) = 1 parte/millón (ppm) = 8.34 lbs/millón US galones de agua
 1% = 10,000 ppm

Conversiones de temperatura: Grados Fahrenheit = (9/5 ° Centígrados) + 32
 (Grados Centígrados = Grados Fahrenheit - 32) 5/9

APÉNDICE 2: INCIDENCIA DE AGUA SUBTERRÁNEA

La gente no puede existir sin agua buena. El agua para beber se obtiene de dos fuentes principales: agua de superficie y agua subterránea.

Ciclo hidrológico

El ciclo del agua de la tierra (hidrológico) es la circulación continua del agua entre la tierra, atmósfera y océano (vea Figura 18). El ciclo no tiene principio ni final. La radiación solar evapora el agua de los ríos, lagos y océanos. El vapor de agua sube, se recoge en forma de nubes y vuelve a caer a la tierra en forma de precipitaciones (lluvia, granizo, aguanieve o nieve).

Cuando la precipitación cae sobre la superficie de la tierra, parte del agua corre hacia los lagos y ríos, parte se vuelve a evaporar en la atmósfera, parte es absorbida por las raíces de las plantas y vuelve a entrar en la atmósfera por un proceso conocido como transpiración, y parte del agua se infiltra en el suelo. Este **re-infiltrado** se conoce como **agua subterránea**. El agua subterránea se mueve lentamente a través del suelo a los ríos y océanos donde se evapora para completar el ciclo hidrológico. El agua subterránea representa el 97% del agua fresca mundial disponible para consumo humano, se encuentra en casi todos los lugares y es de relativa buena calidad en la mayoría de las áreas (ver Tabla 10).

Agua subterránea

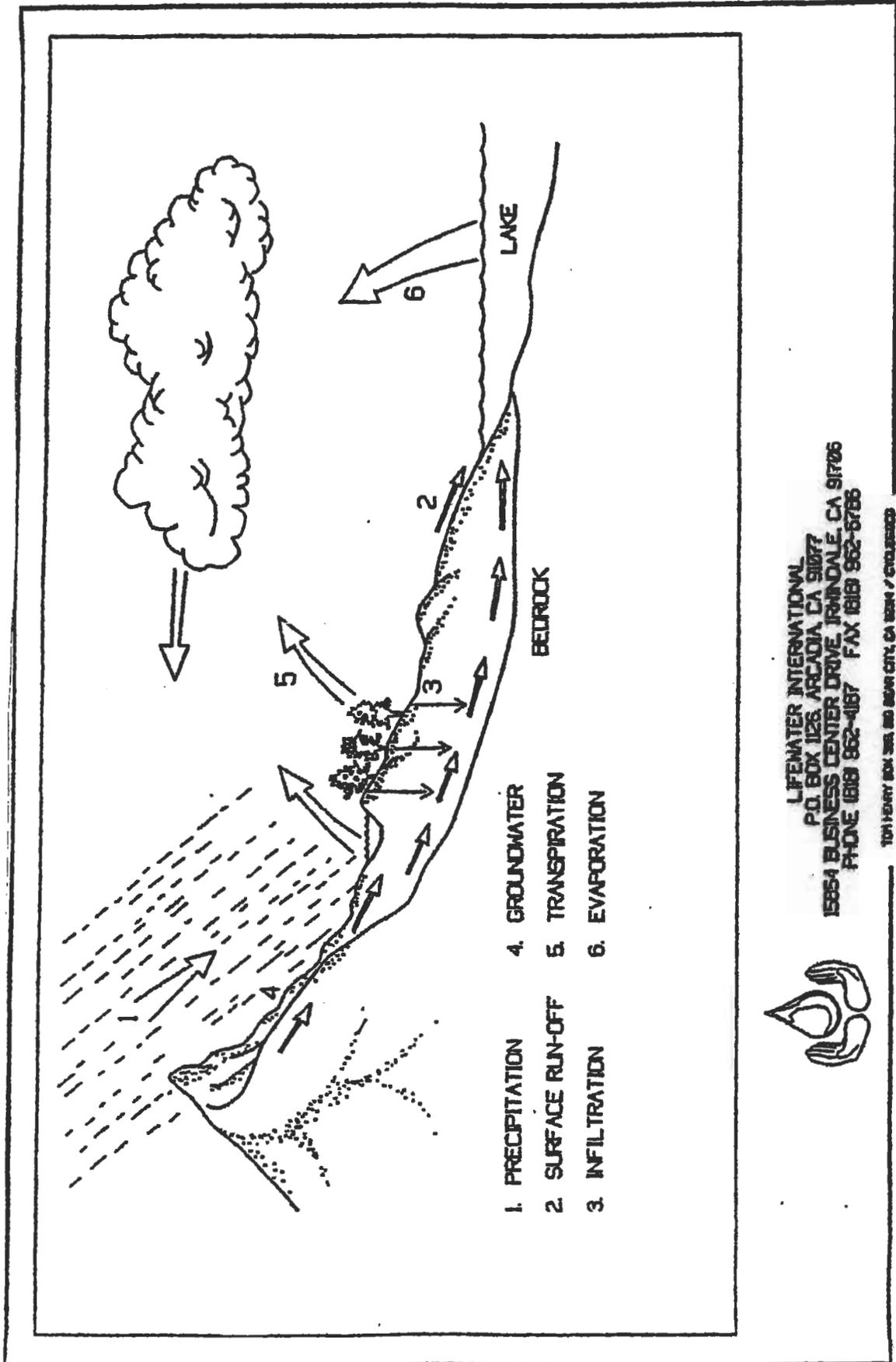
El agua se infiltra hacia abajo hasta que alcanza una profundidad donde llena todas las aberturas en el suelo y las grietas en las rocas. A esto se le llama zona saturada. La parte superior de la zona saturada se llama **lámina acuífera** (Figura 18). La profundidad de la capa acuífera depende de la naturaleza de la materia geológica y el declive de la superficie del suelo. La profundidad para llegar al agua no permanece igual: durante la estación lluviosa la lámina acuífera se eleva; durante la sequía cuando el agua subterránea se descarga por evapotranspiración, ojos de agua, pozos o ríos, decae (ver Figura 2).

El agua subterránea existe en todos los materiales geológicos; si se interconectan suficientes aberturas, el agua se mueve en cantidades sustanciales y el depósito se llama **acuífero**. Los acuíferos se pueden encontrar en el lecho rocoso y en la sobrecarga (materiales no consolidados) y por encima del lecho rocoso.

Los acuíferos del lecho rocoso son formaciones geológicas que derivan su permeabilidad por juntas, planos de estratificación, fracturas y canales de solución. Los acuíferos del lecho rocoso pueden variar grandemente en los términos de rendimiento de agua ya que dependen del ancho y las interconexiones de las fracturas. Aunque usualmente se puede encontrar agua entre las rocas, esto es extremadamente difícil predecir su profundidad o anticipar su rendimiento. A veces los pozos de Lifewater se pueden completar en roca calcárea o en roca de arena.

Los acuíferos de sobrecarga son depósitos de arena y grava con suficiente extensión y permeabilidad para almacenar y transmitir agua subterránea y fácilmente se rellenan con

Figura 18: Ciclo hidrológico



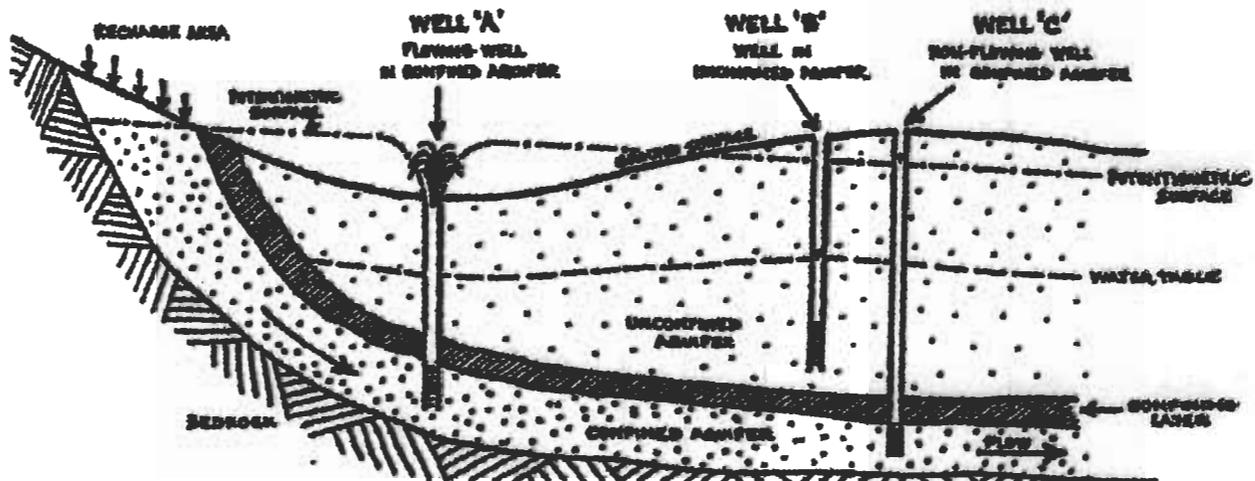
LIFEWATER INTERNATIONAL
P.O. BOX 1126, ARCADIA, CA 91707
15854 BUSINESS CENTER DRIVE, IRVINDALE, CA 91706
PHONE (916) 862-4167 FAX (916) 862-6766

TOP LEFT: BOX 365, 800 BERRY AVE, SAN JOSE, CA 95128 / COUNCIL

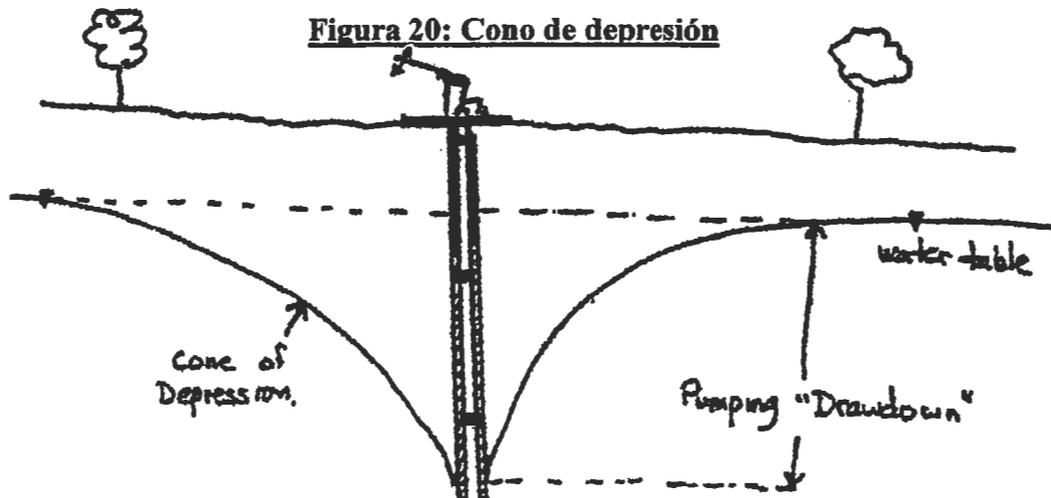
agua filtrada de la superficie (Figura 19). Los acuíferos de alto rendimiento consisten de arena y/o grava; una formación de arena fina o una formación de fango indica un acuífero muy pobre que daría agua más lentamente. Aún donde los suelos superficiales son de arcillas de poco rendimiento, los acuíferos con mucho agua se encuentran generalmente en la superficie de contacto sobrecapa/lecho rocoso. Cuando el límite superior de un acuífero es la superficie de la zona saturada (lámina acuífera), al acuífero se le llama lámina de agua o **acuífero no confinado** (Figura 19).

Un acuífero que está superpuesto de material por el cual no puede pasar el agua fácilmente (acuiceno) se llama **acuífero confinado** (figura 19), El agua en acuíferos confinados está bajo presión causado por el peso de materiales de confinamiento, la diferencia de elevación en el acuífero, y la restricción de movimiento del agua subterránea en el acuífero. Cuando se perfora un pozo en un acuífero confinado, el agua se eleva en el pozo a un punto un tanto por encima de la parte superior del acuífero. A veces la presión es tan alta que el agua sale hasta la superficie del terreno y el pozo se desborda.

Figura 19: Acuíferos confinados y no confinados



Cuando se extrae agua de un pozo, se forma un cono de depresión en el área que rodea el pozo. El cono de depresión describe como descende la lámina acuífera por el bombeo del pozo (Figura 20). La forma del cono se determina por el grado de bombeo del pozo y la permeabilidad de las rocas que rodean el pozo.



Al extraerse el agua, el acuífero se debe rellenar eventualmente para mantenerse produciendo. Los acuíferos de lámina acuífera se rellenan generalmente de fuentes de precipitación locales. Los acuíferos confinados, por otra parte, generalmente reciben su relleno de muchas millas más allá del pozo.

El tiempo de permanencia del agua subterránea en la subsuperficie, p.e., el tiempo que el agua pasa en el régimen subterráneo, varía grandemente. El agua puede estarse bajo tierra desde unos cuantos días o semanas, hasta 10,000 años o más. El agua subterránea se mueve a una velocidad muy lenta, usualmente menos de 1 metro por día (ver Tabla 10).

A medida que el agua se mueve por el suelo, la tierra la filtra y purifica. Como el agua subterránea está aislado y protegido bajo la superficie de la tierra, está menos sujeto a contaminación y polución que el agua de ríos y lagos (ver Tabla 10).

La calidad de agua subterránea se determina por el tipo de materia terrestre por el cual se filtra. Por ejemplo, donde la roca contiene gran cantidad de calcio, magnesio o hierro, el agua subterránea puede tomar estos minerales en solución. En general, el agua subterránea de arena profunda o capas de rocas contienen más minerales que el agua de depósitos menos profundos. Como el agua ha viajado más distancia en el suelo, tiene más tiempo para disolver minerales lentamente. A veces los minerales disueltos le dan al agua subterránea un fuerte sabor de hierro u otro "mineral" (Tabla 10). Aunque este sabor sea un poco desagradable, no es inseguro para tomar. A veces, sin embargo, no se usa agua de fuente segura porque el agua es "fría" o no tiene "sabor" o tiene "mal sabor" (UN, 1981).

Movimiento del agua subterránea

Hay dos componentes fundamentales para el movimiento del agua subterránea:

- 1) **El agua siempre fluye cuesta abajo**: El agua siempre se mueve hacia abajo debido a la energía potencial derivada de la gravedad. Como un arroyo no puede correr hacia arriba de una montaña, el agua subterránea solo fluye de áreas de altos niveles de agua subterránea a áreas de bajos niveles de agua subterránea.
- 2) **El agua fluye a través de espacios abiertos**: El agua subterránea sólo puede moverse a través de espacios interconectados. El agua tiene el potencial de moverse rápidamente a través de materiales de la superficie que tienen muchos espacios abiertos, interconectados (p.e. arena gruesa, piedra de arena agrietada). Recíprocamente, la arcilla y el lecho rocas generalmente tienen características de transmisión de agua muy pobres.

Hidrogeología tropical

Como se muestra en la Figura 21, la geología del lecho rocoso de África se caracteriza por formaciones precámbricas las cuales están dominadas por rocas cristalinas relativamente impermeables tales como granitos, esquisto, cuarzos y gneis (Houston, 1995). En éstos tipos de rocas, con mucha frecuencia es necesario barrenar a profundidad de 60 – 80 metros, los pozos generalmente rinden menos de 2 metros cúbicos/día y generalmente es necesario bombear de profundidades considerables (Dijon, 1981). Las aguas subterráneas

que no se mueven a través de estas rocas se concentran en estructuras geológicas tales como fallas, zonas de cizallamiento y sistemas de grietas.

Figura 21: Distribución generalizada de rocas en África

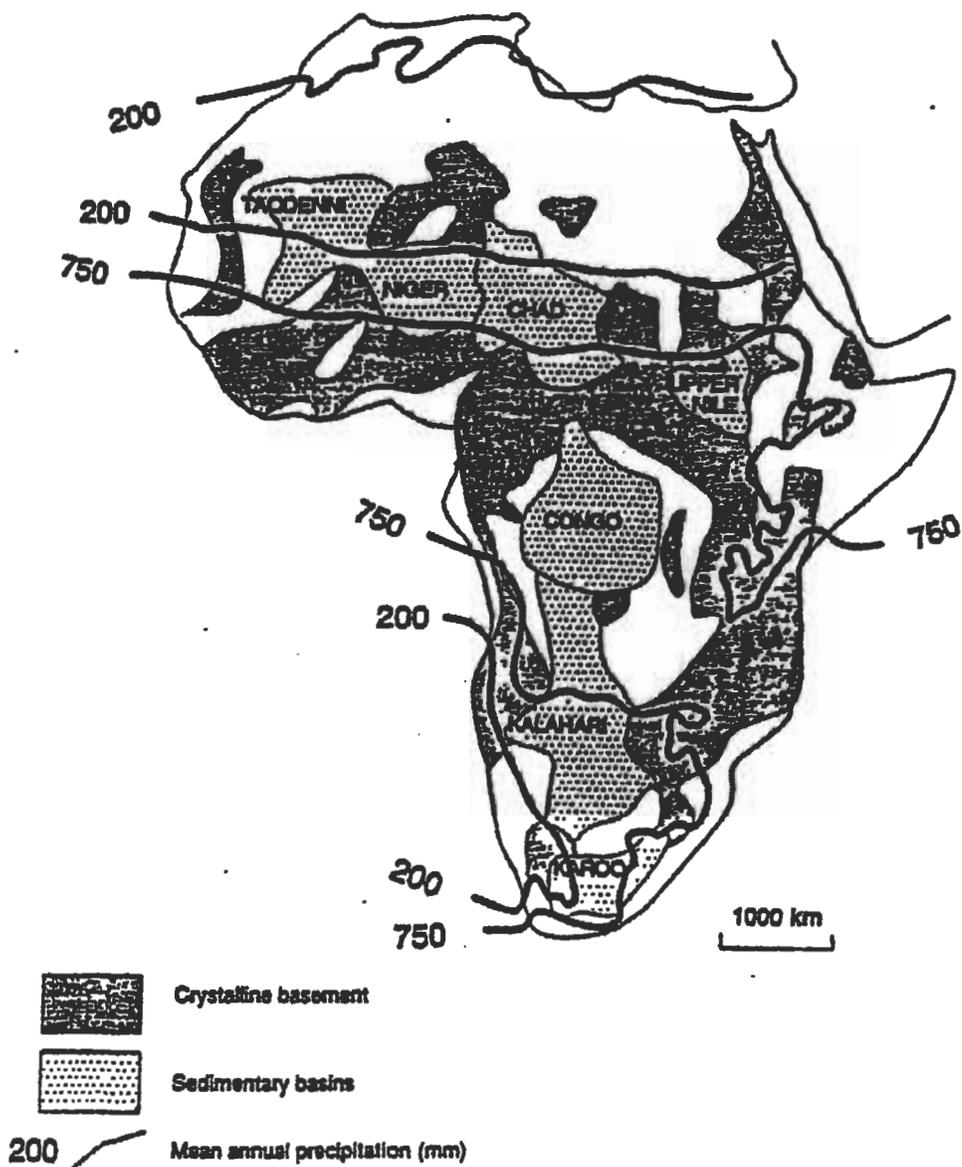


Tabla 10: Agua de superficie vs agua subterránea		
	Agua de superficie	Agua subterránea
Comprensión	Fácil de ver y observar	Invisible, misterioso, complejo
Donde se encuentra	Arroyo, ríos, lagos, etc.	En todas partes bajo la superficie en capas de arena, grava, arcilla o roca agrietada. Pocas veces forma "arroyos" subterráneas o "lagos"
Disponibilidad	La cantidad de agua almacenada bajo tierra es más de 85 veces la cantidad que se encuentra en arroyos, ríos y lagos!	
Usos	Agua para beber, comida (pescado, adorno, arroz, etc), transporte, habitat de ave/animal, electricidad, salud estética y espiritual.	Agua de beber, energía, mantenimiento del flujo de los cursos de agua de superficie.
Dirección del flujo	Cuesta abajo	Generalmente de elevaciones altas a las bajas
Velocidad del flujo	Rápido (metros/segundo)	Lento (metros/año)
Cantidad (rendimiento)	Fácil de evaluar. Raramente problemas de provisión	Barrenado y bombeo. Mucho agua en arena y grava o rocas fuertemente agrietadas. Bajo rendimiento en fango y arcilla o en rocas no fracturadas.
Calidad	Baja disolución (suave, bajo en hierro). Alta en materia orgánica Cambios de temperatura Lodo, arcilla, algas	Alta disolución (dura, alta en hierro) Baja en materia orgánica Temperatura fresca, constante Libre de sólidos suspendidos
Consistencia	Cambia con las estaciones	Constante a través del tiempo
Seguridad	Poco confiable: cuentas de bacteria/virus variable	Segura por causa de los procesos de filtración y purificación naturales
Tratamiento	Cloración continua	Cloración inicial
Costo	Alto	Bajo
Riesgo de contaminación	Fácilmente contaminado	No se contamina fácilmente
Remedio a la contaminación	Fácil resolución por el sol, aire, mezclas, etc.	Difícil o imposible de limpiar; puede demorar varias décadas

Las rocas más jóvenes, rocas sedimentarias relativamente sin metamorfosis (rocas de arena) tienden a ser más permeables que las rocas cristalinas (ígneas, metamórficas) y son acuíferos potenciales en los lugares donde tienen suficiente espesor. Como se ve en la Figura 21, hay algunas grandes cuencas sedimentarias en África central. Los depósitos sedimentarios locales pueden existir a lo largo de las costas de los grandes ríos, lagos y océanos.

En los ambientes tropicales, la intemperización química de las rocas y de los depósitos no consolidados sucede rápidamente, produciendo una zona de material intemperizado llamado saprolita (también conocida como laterita o ferrita). En general, los suelos de la superficie están sobre una capa de arcilla fangosa rojo-chocolatosa que no funciona como un buen acuífero (Selby, 1985) Este material generalmente se degrada en arena fangosa que contiene una fragmentos redondeados de rocas intemperizadas (corestones). Estos depósitos pueden rendir cantidades significativas de agua si están en presencia de materiales de granos más gruesos. Los corestones se vuelven más grandes y menos redondos con la profundidad hasta encontrarse con lechos de roca intemperizadas.

En las regiones de extrema intemperización (regiones tropicales húmedas), se desarrollan saprolitas más complejas que poseen las siguientes características (Selby, 1985):

- ◆ Una **ZONA DE SUELO** de 0 a 2 m de espesor que contiene nódulos duros, rojo oscuros en un suelo arenoso;
- ◆ Una **CROSTA** de 1 a 10 m de espesor de bloques rojizos o chocolates formados por nódulos cimentados, endurecidos, ricos en hierro con cavidades en forma de tubos llenos de arcilla roja u ocre. Se han extraído muchos minerales de esta crosta, excepto óxidos de hierro y aluminio ;
- ◆ Una **ZONA VETEADA** de 1 a 10 m de espesor de arcilla caolínica blanca con parches (vetas) de óxidos amarillentos. Esta zona es fuertemente porosa e intemperizada;
- ◆ Una **ZONA PÁLIDA** de 5 a 30 m de espesor de arcilla caolínica blanqueada;
- ◆ Una **ZONA INTEMPERIZADA** de hasta 60 m de espesor que consiste de roca profundamente intemperizada que aún contiene las estructuras rocosas originales;
- ◆ **LECHO ROCOSO INTEMPERIZADO**. Como la capa de lecho rocoso se encuentra generalmente bajo la superficie, pocos pozos de las regiones tropicales se perforan en lecho rocoso intemperizado antiguo.

Como se nota en la Figura 22, el agua subterránea se encuentra frecuentemente cerca de un frente intemperizado activo, donde la permeabilidad es más alta que en los suelos ricos en arcilla de la sobrecapa y el lecho rocoso intemperizado subyacente (Jones, 1985). La roca subyacente actúa como un acuífiero, atrapando el agua subterránea en el frente intemperizado de la sobrecapa inmediata (Key, 1992). Como resultado, la meta de muchos programas de perforación de pozos en regiones tropicales húmedas es perforar dentro de las zonas superiores de roca intemperizada. La Figura 23 muestra áreas en África donde se encuentran estas zonas acuíferas intemperizadas.

Típicamente, los rendimientos son más altos donde el frente intemperizado se encuentra sobre un lecho rocoso altamente fracturado en zonas de fallas o adyacencias a diques que

penetran la extensión de zonas fracturadas; estas también son áreas de intemperización más profundas. Astier y Patterson (1987) encontraron que los rendimientos estaban inversamente relacionados con la distancia desde fallas interpretadas o diques por una distancia de 3 km (p.e., más cerca de la estructura = mayor rendimiento).

El efecto total del proceso de intemperización es el desarrollo o mayor permeabilidad de suelos arenosos entre valles, a través de arenas finas con reducción de permeabilidad arcillosa en las laderas de los valles a suelos arcillosos de drenaje pobre en los fondos de los valles (Farquharson and Bullock, 1992). La precipitación de lluvia tiende a pasar rápidamente a los suelos arenosos superficiales pero alcanza capas de permeabilidad reducida de relativamente poca profundidad (generalmente en la parte superior de la capa saprolítica intemperizada). Por lo tanto, mientras el drenaje entra inicialmente al suelo, la a permeabilidad más baja en pocas profundidades produce un reflujo lateral cuesta abajo hacia la parte baja del valle (Farquharson and Bullock, 1992).

Figura 22: Rendimiento de agua con profundidad (acuíferos de zona intemperizada)

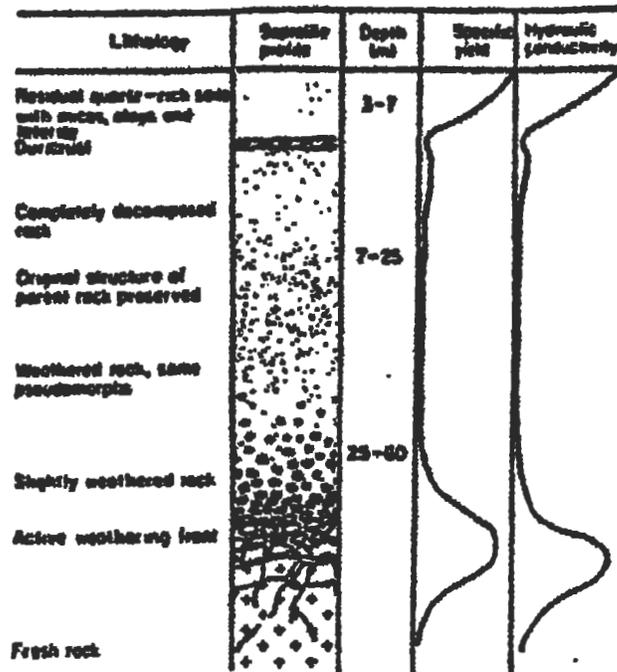
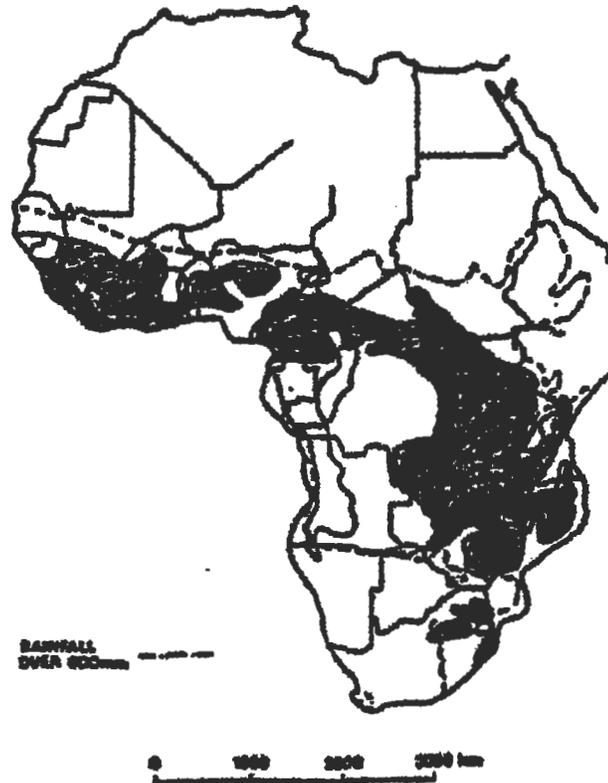


Figura 23: Localización de zonas acuíferas intemperizadas en África



Apéndice 3: Glosario de términos

ACUICIERRE: Formación geológica o estrato que tiene la capacidad de almacenar agua pero solo puede transmitir agua en pequeñas cantidades (p.e. fango o roca fangosa)

ACUÍFERO: Una unidad geológica saturada (p.e. arenas, gravas, roca fracturada) que puede rendir agua a los pozos a un grado suficiente para apoyar su buen uso.

ACUÍFERO CONFINADO: Un acuífero confinado es un acuífero completamente saturado cuyos límites superiores e inferiores son unidades geológicas impermeables. El agua se mantiene bajo presión y el nivel de los pozos se mantiene por encima de la parte superior del acuífero. Raramente existen capas completamente impermeables en la naturaleza por tanto los acuíferos confinados son menos comunes que lo que se reconoce frecuentemente.

ACUÍFERO NO CONFINADO: Es un acuífero cuyo límite superior se define por la lámina acuífera (el agua está a presión atmosférica). El agua generalmente satura

solamente parte de la unidad geológica y no hay una capa de confinamiento superior. También se llama acuífero de lámina acuífera.

AGUA CRUDA: Agua de superficie o subterránea que está disponible como fuente de agua para beber pero que no ha recibido ningún tratamiento.

AGUA POTABLE: Agua apta para consumo humano.

AGUA SUBTERRÁNEA: Agua que se encuentra en el subsuelo debajo de la lámina acuífera.

AREA DE DESCARGA: La zona donde el agua subterránea deja el suelo ya sea como un ojo de agua o como un cuerpo de agua.

AREA DE RECARGA: La parte del sistema pluvial donde las precipitaciones percolan hacia abajo.

CAPACIDAD ESPECÍFICA: La medida de el número de galones bombeados por minuto por pie cúbico de descarga en un pozo en cualquier momento. Conociendo la capacidad del pozo, el operador puede calcular la descarga que se producirá en diferentes grados de bombeo. Por ejemplo, la capacidad específica de un pozo que rinde 20 gpm con a 40 pies de descarga sería 0.5 gpm/pie. A 30 gpm la descarga sería de $30/.5 = 60$ pies.

CICLO HIDROLÓGICO: La circulación continua de humedad y agua en la tierra. La cantidad de agua nunca cambia pero su estado y posición en el ciclo cambian.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA: Se refiere a la capacidad de los materiales del subsuelo (arena, rocas, etc.) de permitir el flujo (generalmente de agua) a través de él.

CONO DE DEPRESIÓN: Cono de depresión (o influencia) es la descarga de la lámina acuífera o superficie potenciométrica que sucede cuando se bombea el pozo. El cono de descarga de dos pozos cercanos uno del otro puede superponerse de modo que si los pozos se bombean simultáneamente compiten entre sí por el agua subterránea (interferencia de pozos).

ESPACIO ANULAR: ("annulus") El espacio entre el revestimiento del pozo y las paredes del hoyo barrenado.

ESTRATO: Capas de roca depositada, suelo etc. Que se pueden distinguir una de otra.

EVAPOTRANSPIRACIÓN: Una combinación de evaporación de los cuerpos de agua abiertos, evaporación de las superficies del suelo, y transpiración del suelo por las plantas.

GRADIENTE HIDRÁULICO: El cambio de presión por unidad de distancia en una dirección dada (sin dimensión). Es el la fuerza motriz del flujo de agua en un medio poroso.

GNEISS: Una roca metamórfica dura, de grano grueso, foliado (alterado por altas temperaturas y/o presión) de cuarzo, feldespato y mica; frecuentemente bajo en rendimiento de agua.

LÁMINA ACUÍFERA: La parte superior de la zona donde todos los espacios porosos o fisuras están totalmente llenas de agua.

NIVEL DE AGUA ESTÁTICA: El nivel de agua estática es el nivel en el cual el agua permanece en un pozo cuando el nivel del agua está en equilibrio con la presión atmosférica. Es una medida de la profundidad desde la superficie del suelo o de un punto de medida del nivel del agua.

NIVEL DE BOMBEO: El nivel al cual se mantiene el agua en un pozo cuando el bombeo está en progreso.

PERMEABILIDAD: La habilidad de un acuífero o formación portadora de agua de permitir que el agua lo traspase. La permeabilidad también se conoce como porosidad eficaz porque es una función de los espacios porosos saturados interconectados.

POROSIDAD: La relación del volumen de espacios vacíos al volumen total de una roca o material no consolidado. Es una medida de la cantidad de espacio "vacío" en un material. Vea Permeabilidad.

SOBRECAPA: Suelo no consolidada (suelto) sobre una roca.

SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA: La superficie del nivel de agua que se puede definir a partir del trazado de las elevaciones de niveles de agua en pozos que penetran un acuífero confinado.

TRANSMISIBILIDAD: La velocidad a la cual puede fluir el agua subterránea a través de una sección de unidad de amplitud de un acuífero sobre una unidad de gradiente hidráulico. Es la permeabilidad promedio de una sección del acuífero total en un punto dado multiplicado por el espesor de la formación.

ZONA NO SATURADA: La zona sobre la lámina acuífera donde los poros del suelo o las fisuras tienen menos que la saturación total. También se le conoce como zona vadosa o de aeración.

ZONA SATURADA: La zona de la lámina acuífera incluyendo su parte inferior en donde todos los espacios porosos están totalmente llenos de agua. También se conoce como zona freática.

Apéndice 4: Partes y ensamblaje de la LS-100

Los componentes de la LS-100 incluyen:

- **columna montante:** actúa como apoyo estructural del equipo de perforación
- **cabeza de fuerza motriz:** el tubo de perforación (dia. De 1.25 pulgadas) y la broca de barrena giran impulsadas por un motor Briggs & Stratton de 5-HP con un generador de transmisión reducida de 25:1 y un embrague centrífugo.
- **plato giratorio de entrada de agua:** usado para canalizar el líquido de perforación a través del tubo de perforación en rotación
- **tubo de perforación:** tubo hueco de acero reforzado que canaliza el lodo de perforación hacia la broca de barrena
- **broca de barrena:** la herramienta cortante adaptada al final del tubo de perforación que permite que la barrena perfora un hoyo a través del suelo y roca.

Además se necesita una bomba de lodo (motor de 5-HP de Briggs & Stratton moviliza una bomba Monarch de 2 pulgadas) para circular el lodo hacia abajo a través de la broca de barrena y de vuelta a los estanques del lodo. Sin esta pieza separada no se puede usar la torre de perforación.

Ensamblaje de la LS-100

Los diversos componentes de la LS-100 se muestran en la Figura 24. La Tabla 10 describe el submontaje y muchas de las partes que se encuentran en la caja recibida. Cuando se está ensamblando a la LS-100 y la bomba de lodo, resulta ventajoso referirse a la Figura 24.

1. Retire la base (11) de la caja e instale los tubos estabilizadores (9) y ajústelos con el juego de tornillos (10). Retire la unidad del mástil (1) de la caja e instálo sobre la base con los pernos (12) usando una arandela de cierre debajo de cada cabeza.
2. Retire la unidad de rotación y transmisión (4) y (5) del cartón. Retire las tuercas de los pernos de la caja del cigüeñal-a-transmisión (1 de cada lado). Coloque la unidad sobre el brazo de apoyo (6) mientras guía los 4 pernos dentro de los orificios ya perforados. Instale arandelas planas entre la caja del cigüeñal y el brazo de apoyo en los pernos correctos para que la flecha del barreno esté paralelo con el mástil. Vuelva a instalar las tuercas.
3. Instale el cable de control del obturador de gasolina. Monte el brazo a la caja del cigüeñal en el sitio (B) (lado cigüeñal del huinche). Estabilice el cable con la grapa provista, a uno de los pernos de la caja del cigüeñal-a-transmisión. Asegúrese de que no hayan dobleces afilados ni quiebres en el cable. Nótese que el obturador tipo "hale-empuje" viene instalado.
4. Monte la manivela de entrada (7) a la flecha de salida de la transmisión con un perno de 3/8 pulgadas y una tuerca auto-ajutable (o tuerca plana con una arandela de cierre).

Deje la tuerca floja. Instale el brazo de apoyo removiendo temporalmente el pasador en "U" y deslizando la varilla redonda a través del brazo tubular el cual está soldado del lado del brazo de apoyo de la cabeza de fuerza motriz(6). Ajuste la altura para que la caja (parte baja de la varilla) descansa sobre el niple horizontal del brazo giratorio de entrada. Vuelva a instalar el pasador en forma de "U" y apriete las tuercas. Apriete el tornillo en el brazo tubular.

5. Conecte la manivela de entrada lateral (7) a la válvula de 3 vías (16) con la unidad de 5' de manguera corta (3).

Tabla 11: Lista de piezas

Notas:

1. Las piezas (4) y (5) están montadas como una unidad
2. Las piezas (6), (13), (15), (16), (17) y 8!8) vienen montadas en la unidad del mástil (1)
3. No aparecen: La unidad del cable del obturador con brazos tipo motocicleta; recipiente 30# con grasa de juntas; bolsa con ferretería para montaje.

Apéndice 5: Construcción de la plataforma de concreto armado

El concreto se hace de cemento, arena, grava y agua. Estos ingredientes son combinados generalmente en una proporción de 1:2:4 para alcanzar la máxima resistencia (1 parte de cemento, 2 partes de arena y 4 partes de grava). La cantidad de agua que se usa para mezclar los ingredientes es a la larga el factor más importante para determinar la resistencia del concreto: Use la mínima cantidad de agua para darle una mezcla manejable. Generalmente entre 20-30 litros de agua se mezcla con cada saco de 50 kg de cemento.

Selección de ingredientes:

- A. Cemento. El cemento de uso más común es el Portland. Debe ser seco, polviento y libre de grumos. Cuando se guarda el cemento trate de evitar todo contacto con la humedad. Guárdelo lejos de paredes exteriores, sin contacto con pisos húmedos y empacados cerca uno del otro para disminuir la circulación de aire.
- B. Agua. En general, el agua apta para beber resulta adecuada para mezclar concreto. Las impurezas en el agua pueden afectar el concreto, tiempo de fraguado, contracción o promover la corrosión de los refuerzos.
- C. Arena. El rango del tamaño de los granos de arena debe oscilar entre menos de .25 mm a 6.3 mm. La arena de las costas, dunas o riberas son generalmente muy finas para mezclas normales. Sin embargo, se puede raspar unos 30 cm de la superficie fina y encontrar arena más gruesa y apta.

Es extremadamente importante tener arena y grava limpia. Aún las pequeñas cantidades de sedimentos, arcilla y materia inorgánica pueden arruinar el concreto.

Una prueba de limpieza muy simple utiliza un frasco claro de boca ancha. Llene el frasco hasta más o menos la mitad con la arena que va a ser probada y cúbrala con agua. Agite la mezcla vigorosamente y déjelo reposar por 3 horas. En casi todos los casos habrá una línea distinguida separando la arena fina apta para concreto de la arena que es muy fina. Si el material muy fino es más del 10% del total, el concreto hecho con él será débil. Esto significa que se debe buscar material fino, o que el material disponible debe ser lavado.

La arena y grava se puede lavar colocándolo en un recipiente tal como un tanque. Cúbralo con agua y mezcle bien; deje reposar por un minuto y retire el líquido. Uno o dos tratamientos removerán la mayoría del material fino y de la materia orgánica.

