

45



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA**

**CAPTACIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO
HUMANO POR MEDIO DE
POZOS PROFUNDOS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :**

FLORES VELASCO JUAN MANUEL

DIRECTOR DE TESIS: M.I. ENRIQUE CESAR VALDEZ

México D.F.

Agosto 2001

295176

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/105/00

Señor
JUAN MANUEL FLORES VELASCO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. ENRIQUE CESAR VALDEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

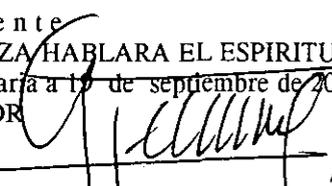
"CAPTACION DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR MEDIO DE POZOS PROFUNDOS"

- INTRODUCCION**
- I. ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS**
 - II. ESTUDIOS AUXILIARES DE GEOLOGIA**
 - III. CAPTACION DE AGUA POR MEDIO DE POZOS PROFUNDOS**
 - IV. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 10 de septiembre de 2000.
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

División de Ingeniería Civil Topográfica
y Geodésica

CAPTACIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR MEDIO DE POZOS PROFUNDOS

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
Presenta

FLORES VELASCO JUAN MANUEL

DIRECTOR DE TESIS: M.I. ENRIQUE CESAR VALDEZ



México D.F.

Agosto 2001

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

CON TODO AGRADECIMIENTO A:

IGNACIO FLORES
JULIA MARTINEZ

POR SU INFINITA ENTREGA DE AMOR Y CARIÑO

CON TODO AGRADECIMIENTO A:

AGUSTÍN VELASCO
MACEDONIA ZARATE

POR SU INFINITA ENTREGA DE AMOR Y CARIÑO

CON TODO AGRADECIMIENTO A:

JACINTO FLORES MARTINEZ
PETRONA VELASCO ZARATE

POR AVER HECHO POSIBLE ESTE TRABAJO A PESAR DE
TODAS LAS ADVERSIDADES

CON TODO AGRADECIMIENTO A:

YOLANDA FLORES
WALDO FLORES
GERARDO FLORES
JOSE FLORES

POR TODO EL INTERES MOSTRADO DURANTE TODA LA
VIDA

Estimado maestro. Enrique César Valdez:

Le agradezco el gran apoyo que recibí de usted, durante el desarrollo de este trabajo le doy las más sinceras gracias.

Estimado ingeniero. Javier Urbieta Gomez:

Le agradezco el gran apoyo que recibí de usted para la elaboración del segundo capítulo, muchas gracias.

Introducción	1
--------------	---

CAPÍTULO I

Estudios geohidrológicos

1.1 Ciclo hidrológico	1.1
1.2 Descripción del movimiento del agua	1.2
1.3 Estudios geohidrológicos generales	1.4
1.4 La climatología aplicada a la hidrología	1.6
1.5 Estudios geohidrológicos definitivos	1.8

CAPÍTULO II

Estudios auxiliares de geología

2.1 prospección magnética	2.2
2.2 prospección gravimétrica	2.3
2.3 prospección sísmica	2.5
2.4 prospección eléctrica	2.7
2.5 Dispositivo Schlumberger	2.10
2.6 Dispositivo Wener	2.11
2.7 Dispositivos de calicatas	2.13
2.8 Prospección de polarización inducida	2.14
2.9 Prospección electromagnética	2.15

CAPÍTULO III

Captación del agua por medio de pozos profundos

3.1 Normatividad en materia de prevención de la contaminación de acuíferos durante la construcción de pozos	3.1
3.2 Método de percusión	3.4
3.2.1 Herramienta de percusión	3.4
3.2.2 El cuchareo	3.8
3.2.3 Recuperación de la herramienta	3.9
3.2.4 Proceso de perforación	3.10
3.3 Método de perforación rotativa	3.18
3.3.1 Herramienta rotativa	3.19
3.3.2 Herramienta para la circulación de inyección	3.24
3.3.3 Accesorios	3.26
3.3.4 Análisis granulométrico	3.27
3.3.5 Rejillas	3.28
3.3.6 Instalación de la rejilla	3.30
3.3.7 Pozos perforados por medio del método rotatorio	3.31
3.3.8 Relleno de grava	3.32
3.3.9 Desarrollo del pozo	3.33
3.3.10 Predicción del impacto ambiental y medidas de mitigación	3.36
Conclusiones	4.1
Anexo	Anexo1.1
Bibliografía	1

INTRODUCCIÓN

Como es bien sabido el agua, es uno de las sustancias más importantes de nuestro planeta. Los seres humanos estamos constituidos de 70% a 80% de agua; la utilizamos para diversos fines como medio ligado de forma absoluta a la supervivencia. No obstante que aproximadamente el 71 % de la superficie de nuestro planeta está cubierta por mares y océanos, el agua dulce representa tan sólo el 3 % de la que únicamente el 0.003% está disponible para consumo humano.

En términos generales el territorio nacional presenta condiciones hidrográficas desfavorables, cuyos volúmenes están distribuidos por origen y destino de la siguiente manera: precipitación 1 570 000 m³/ año, pérdida por evaporación 1 120 000 m³/ año, escurrimiento superficial y recarga de acuíferos 450 000 m³/ año, de esta última se utiliza 174 000 m³/ año. A esta información hay que añadir la circunstancia de que se han establecido zonas industrializadas en nuestro país que demandan grandes volúmenes de agua para satisfacer todos sus sectores, además de los indeseables desperdicios, y que paradójicamente la mayor disponibilidad del agua se encuentra por debajo de los 500 msnm y al sur, mientras que las mayores necesidades se presentan arriba de esta altitud y al norte. Como es el caso de la Ciudad de México en la que se tiene una infraestructura de sistema de agua potable que comprende 847 pozos profundos en el Valle de México y el Valle del río Lerma constituyendo el 33% del consumo total mientras que el restante volumen proviene del sistema Cutzamala, además de los manantiales naturales al sur de la ciudad y del río Magdalena al oeste. Este escenario inició de forma alarmante en 1950 con la sobre explotación de los mantos acuíferos y desde entonces se ha tratado de subsanar los requerimientos trayéndola de otras fuentes.

El objetivo general de este trabajo es ampliar la información acerca de las captaciones por medio de pozos profundos que está contenida en el curso de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado del plan de estudios de Ingeniero Civil, en lo relativo a los estudios geohidrológicos y geológicos así como a los métodos de perforación y su aplicación adecuada para evitar o mitigar el impacto ambiental.

Con base en este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos.

- a) Investigar, estudiar y describir los componentes del ciclo hidrológico y el marco geológico superficial.
- b) Investigar y describir la naturaleza de los estudios geohidrológicos definitivos para que con base en pruebas de campo, se conozcan las características del acuífero que proporcionen expectativas sobre la viabilidad del proyecto en ese lugar.
- c) Investigar y describir qué propiedades físicas del subsuelo que definan la profundidad del almacenamiento, a través de estudios geofísicos.
- d) Investigar y describir los métodos geofísicos así como sus ventajas y desventajas relativas, en función del objetivo deseado, que es la ubicación del almacenamiento.
- e) Investigar y discutir sobre la normatividad vigente en materia de perforación de pozos.
- f) Investigar y describir los métodos de perforación más convenientes en nuestro medio así como sus ventajas y desventajas en función del material por perforar.
- g) Describir los cuidados que durante los trabajos de perforación se tienen que adoptar por parte de los trabajadores.
- h) Investigar y describir las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo que se realizan a las herramientas de perforación para cada método descrito.
- i) Explicar la forma en que se lleva el control durante la perforación.
- j) Identificar el impacto ambiental significativo y potencial de la exploración y perforación de pozos profundos para captación de agua así como proponer medidas de mitigación de los impactos.

CAPÍTULO

I

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO

Durante los trabajos preliminares para la localización de los mantos acuíferos se encuentran los estudios hidrológicos, iniciando por la recopilación de información existente de datos climáticos (temperatura, precipitación pluvial, vientos predominantes, etcétera) continuando con la clasificación geomorfológico del suelo previamente delimitado.

1.1 Ciclo hidrológico

El fenómeno conocido como ciclo hidrológico consiste en el movimiento de masas de agua localizadas en la hidrosfera en todos sus estados físicos: sólido, líquido y gaseoso. En el estado líquido, la encontramos en las formaciones siguientes: lluvia, ríos, lagos y mares así como en las aguas subterráneas de la zona saturada y buena parte de la zona no saturada. En estado sólido se presenta el agua de la naturaleza en forma de nieve, hielo y granizo. Por último en estado gaseoso se presenta en forma de vapor de agua el cual es abundante en las capas bajas de la atmósfera y en las capas más superficiales de la corteza terrestre.

El funcionamiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas la energía que proporciona el Sol para elevar el agua al evaporarla y la gravedad que hace que el agua condensada se precipite y que, una vez sobre la superficie, vaya hacia la zona más baja ver la figura 1.1.

Se puede suponer que el ciclo se inicia cuando una parte del vapor de agua de la atmósfera se condensa y da origen a precipitaciones en forma de lluvia o nieve; sin embargo, no toda la precipitación alcanza la superficie del terreno, ya que una parte se vuelve a evaporar en su caída y otra es retenida (intercepción) por la vegetación o por las superficies de los edificios, carreteras, etc. y de vuelta a la atmósfera, el poco tiempo, en forma de vapor.

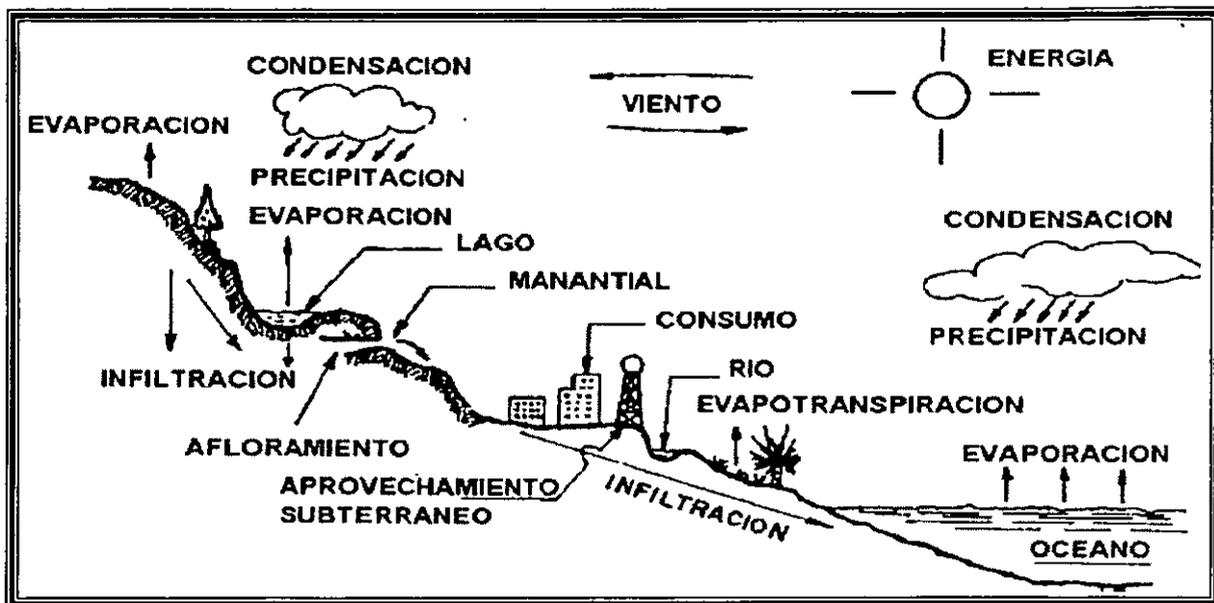


Figura 1.1. Ciclo hidrológico. Fuente: Abastecimiento de Agua Potable Vol. I. Enrique César Valdez. Editado por la Fac. de Ing. UNAM.

1.2 Descripción del movimiento del agua

Del agua que alcanza la superficie del terreno, una parte queda retenida en pequeños surcos (almacenamiento superficial) y en su mayoría vuelve pronto a la atmósfera en forma de vapor. Otra parte escurre sobre la superficie y se concentra en pequeños regatos que luego se reúnen en arroyos y más tarde desembocan en los ríos (escorrentía superficial); esta agua irá a pasar a lagos o al mar, de donde será evaporada o bien, se infiltrará en el terreno originándose la zona de recarga como se puede ver en la figura 1.2.

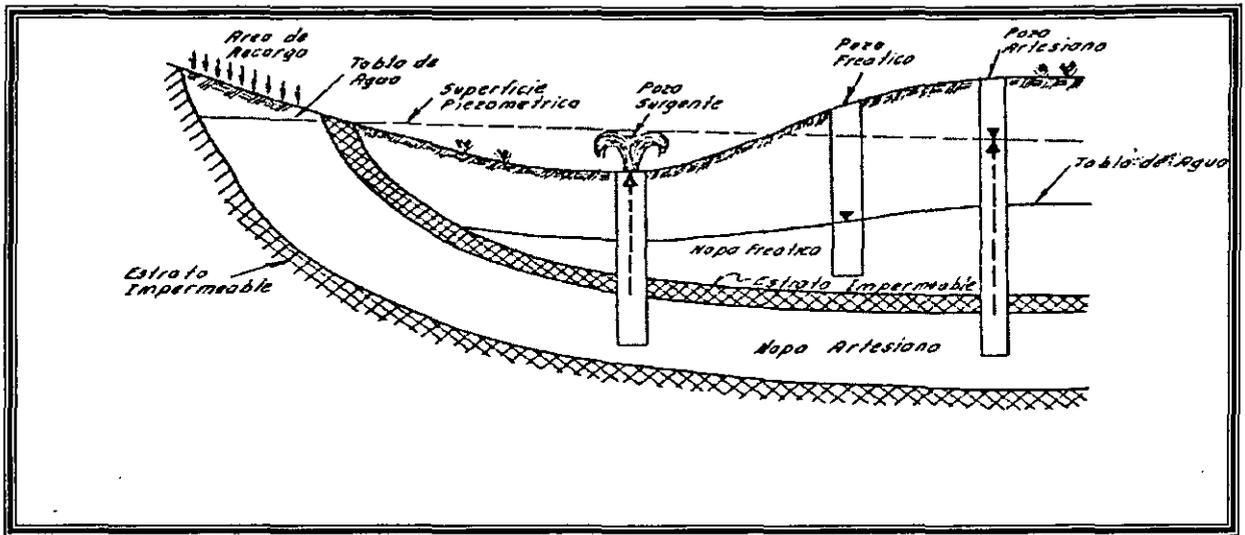


Figura 1.2. Tipo de pozos en función de la zona de recarga y topografía del lugar. Fuente: Abastecimiento de Agua Potable Vol. I. Enrique César Valdez. Editado por la Fac. de Ing. UNAM.

Por último, hay una pequeña parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno (infiltración) a través de los intersticios del suelo y va rellendo los poros o fisuras de este medio poroso. Es importante mencionar que en casi todas las formaciones geológicas existe una parte superficial cuyos poros no están habitualmente saturados de agua, y otra inferior, que está totalmente saturada. Una buena parte de la infiltración no desciende hasta la zona saturada, sino que se queda en la zona no saturada o zona de humedad del suelo, de donde vuelve a la atmósfera por evaporación, o de un modo cuantitativamente mucho más importante por la transpiración de las plantas; en la práctica no es fácil separar ambos fenómenos y se suele denominar con el término evapotranspiración. El movimiento del agua a través del terreno, es algunas veces denominado infiltración; se caracteriza por su extraordinaria lentitud y se debe fundamentalmente a la acción gravitatoria.

En el movimiento del agua, en la zona no saturada, otras fuerzas (especialmente la tensión superficial) pueden jugar un papel muy importante. El agua subterránea (agua de la zona saturada) puede volver a la atmósfera por evapotranspiración cuando su zona de separación con la zona no saturada, llamada franja capilar, queda suficientemente próxima a la superficie del terreno. Otras veces, el agua subterránea pasa a engrosar el caudal de los ríos, alimentando directamente su cauce o a través de manantiales; en las zonas costeras estos manantiales, a veces, son submarinos.

1.3 Estudios geohidrológicos generales

La geohidrología es la rama de la hidrología que trata del agua subterránea su yacimiento, y movimiento, sus recargas y descargas; de las propiedades de las rocas que influyen en su ocurrencia y almacenamiento, así como de los métodos empleados para la investigación, utilización y conservación del agua subterránea.

Los estudios geohidrológicos de gran visión son bien conocidos en nuestro país, ya que muchas de sus regiones no son igualmente favorecidas por la precipitación pluvial en cuanto a su abundancia y distribución anual, así como por la existencia de corrientes naturales que pueden aprovecharse, lo que induce a valorar las aguas subterráneas.

Estos estudios han tenido un gran avance en cuanto a la localización de acuíferos de otros aspectos que se discutirán más adelante.

Al atravesar una región de cualquier país, es fácil observar que el aspecto del terreno, representa ininterrumpidamente zonas muy abruptas, con alturas topográficas elevadas, mientras que más adelante, el paisaje puede ser muy llano, con características casi desérticas en cuanto a la vegetación; sólo es cortado algunas veces por pequeñas elevaciones montañosas originadas por niveles rocosos más duros o algún cono volcánico, hasta llegar a los alrededores de un gran río, con vegetación exuberante que se sucede sobre una serie de escalones colocados a distintas alturas sobre el mismo.

Estas características geomorfológicas se han podido representar gráficamente con mayor o menor detalle en un mapa, delimitando la extensión y la forma de las zonas montañosas, las zonas llanas y las zonas aluviales, correspondiendo todos ellos a distintos tipos de rocas.

Cuando se ha analizado la diferencia de cada tipo de roca así como las fallas, se obtiene lo que se denomina mapa geológico de la región deseada. Un aspecto de singular importancia que se presenta en este tipo de mapas es la escala, puesto que de ella dependerá, por ejemplo la profundidad de los estudios y reconocimientos precisos para su realización. En nuestro caso se suelen usar escalas desde 1/100 000 hasta 1/200 000 para investigaciones generales, mientras que para reconocimientos detallados se pueden usar escalas desde 1/25 000 hasta 1/10 000 donde se precisa una notable riqueza de detalles.

Es importante mencionar que mediante los reconocimientos geológicos es posible obtener conclusiones hidrogeológicas de una región pudiéndose avanzar en forma rápida gracias al desarrollo que ha tenido la fotointerpretación. En la exploración se hacen uso de diferentes tipos de mapas especiales como son: mapas petrográficos, mapas estratigráficos, etc.

La petrografía constituye uno de los renglones más importantes dentro de los reconocimientos geológicos, ya que mediante ella es posible determinar la porosidad y la permeabilidad característica de los diferentes tipos de roca, eliminando en función de dichas características, las zonas que no representan condiciones favorables para la localización de agua subterránea. Mientras que la porosidad determina la cantidad de agua que puede almacenarse la permeabilidad facilita la extracción de la misma.

Por otra parte la estratigrafía es un instrumento para la prospección hidrogeológica de extensas regiones de rocas sedimentarias o volcánicas. La posición y el espesor de los horizontes acuíferos así como la continuidad de las capas confinantes revisten particular importancia, por lo que el auxilio de la estratigrafía resulta siempre indispensable. Para entender mejor estas dos ayudas de las que se vale el geólogo, se ampliara la explicación acerca de qué trata la fotointerpretación.

Mejorando los mapas topográficos convencionales, las fotografías aéreas son como su nombre lo indica, fotografías tomadas desde el aire, con equipos montados en aviones y actualmente desde satélites artificiales. Para el caso de aviones, éstos normalmente llevan dirección este-oeste para que el norte quede siempre hacia la parte superior de la fotografía, mismas que se van sucediendo con un traslape mutuamente en un 60 % en el sentido lateral y un 25 % en el sentido transversal con objeto de que sea posible mediante el efecto de la estereoscopia; este efecto se lleva acabo mediante instrumentos adecuados, denominados estereoscopios, cuya única misión es la de separar las visualès de los ojos del observador hacia cada una de las fotografías, pudiéndose observar el relieve de la zona considerada; sin embargo, a pesar de ser un instrumento muy útil, la fotografía aérea posee un pequeño inconveniente, ya que exagera el relieve debido a la altura de vuelo del avión y de la distancia interpupilar de la persona que interpreta la fotografía.

Por otro lado la fotointerpretación deduce los rasgos geológicos, humanos y geográficos de una zona dada a partir de fotografías aéreas de la misma. Sin embargo, y en sentido estricto, cuando se habla de fotointerpretación suele entenderse como un proceso de deducción de la geología de la zona considerada. El experto que realiza esta interpretación debe conocer, o aprender a conocer, carreteras o ferrocarriles, construcciones, masas de agua (corriente o no), vegetación y pendientes en la forma como aparecen en las fotografías. Por ejemplo las aguas estancadas, tales como los lagos o mares que aparecen negras o gris oscuro si están almacenadas, pero si está rizadas aparecerán blancas o gris claro, mientras que las aguas superficiales aparecerán con sus ramificaciones hacia aguas arriba lo cual da la pauta para el conocimiento de la pendiente natural del terreno.

En cualquier estudio siempre serán necesarios los reconocimientos de campo, que permiten afinar lo observado en las fotografías, esto es precisamente lo que la exploración por medio de mapas tienen como objetivo, no obstante también se debe aclarar que el reconocimiento de campo no se limita al reconocimiento petrográfico (porosidad y permeabilidad) de los variados tipos de roca del lugar ni tampoco a la revisión estratigráfica (continuidad de las capas confinantes) ya que durante el recorrido de la zona, el geólogo recaba datos sobre el clima y precipitación pluvial de la región de que se trate así como de las condiciones que privan dentro del área de estudio para definir sus características fisiográficas y geológicas.

El aspecto fisiográfico es importante, considerando que las aguas subterráneas que más se explotan son de origen meteórico; al producirse la precipitación, esta agua escurre con mayor facilidad en las áreas de configuración abrupta que en aquellas que tienen pendientes suaves; por lo tanto, es indispensable conocer las características de la cuenca tales como: clima precipitación pluvial, altitud, índice forestal, extensión y distribución de rocas permeables e impermeables; pendientes de terreno.

1.4 La climatología aplicada a la hidrología

Se tratará en forma seccionada la ciencia denominada Climatología, ya que se alude a algunos elementos meteorológicos, que junto con otros factores, configuran el clima de una zona. Por cada variable meteorológica existe una variedad de modelos de instrumentos de medida. Frecuentemente en una misma estación climatológica se instalan varios aparatos para medir distintas variables.

En orden creciente de complejidad, las estaciones climatológicas pueden ser pluviométricas, termopluviométricas según midan respectivamente sólo precipitación o precipitación-temperatura. La estación climatológica deberá su ubicación a una óptima conservación de las condiciones naturales que influyen sobre la variable que se desee medir, además de que le proporcione fácil acceso al encargado de las lecturas. Así pues, el terreno deberá de ser llano, libres de obstáculos y próximo al observador.

La elección de los aparatos deberá hacerse atendiendo a su exactitud, sensibilidad, fidelidad y resistencia a la intemperie. El fácil manejo, lectura rápida y posibilidad de conseguir accesorios y repuestos son otros condicionantes.

Enseguida se describirán algunos aparatos para medir algunas variables meteorológicas. Para medir la temperatura, existen en los observatorios meteorológicos los termómetros de mercurio líquido que al dilatarse discurre en forma continua por el interior de un capilar, leyéndose directamente en la escala gravada sobre el tubo termométrico. En la graduación centigrada la escala está dividida en medios grados o en décimas de grado. Para lugares muy fríos ($t < -25^{\circ}\text{C}$) el mercurio se sustituye por alcohol que tiene un punto de solidificación más bajo.

La lluvia se mide por la altura que alcanzaría sobre una superficie ideal plana y horizontal, antes de sufrir pérdidas (evaporación, infiltración, etc.) los pluviómetros ordinarios, miden cantidad de lluvia recibida en un intervalo de tiempo (generalmente un día), comprendido entre dos lecturas consecutivas, Consiste básicamente en un colector que recibe al agua de lluvia a través de un cilindro receptor,

Con una boca horizontal de sección conocida. Para evitar la evaporación del agua recibida, en algunos pluviómetros se canaliza hasta el colector mediante un embudo. Una probeta, graduada según la superficie de la boca, mide la altura del agua recogida. Por otra parte se mide la presión usando barómetros, ya que la variación de altura de mercurio en un tubo barométrico en conexión con un recipiente sometido a la presión atmosférica da su medida, aunque es importante mencionar que existe el problema de la variación del origen de medidas al contraerse el volumen de mercurio.

Los procedimientos más usados para resolverlos son: hacer el fondo del recipiente de material flexible (gamuza) accionado por un tornillo que permite enrazar el cero antes de iniciar la lectura (Fortín); suprimir el recipiente y darle al tubo forma de sifón, midiendo diferencias de las columnas en una u otra rama (Gaylussac), o bien relacionar la superficie del recipiente con la sección del tubo y dar a la escala de medidas la graduación correspondiente (Tonelote). Los barógrafos registran de forma continua la variación de presión. Suelen ser de tipo aneroide.

Otro instrumento es el que se refiere a la medida de la humedad. El efecto de la humedad sobre determinadas sustancias giroscópicas, por ejemplo el cabello humano desengrasado, puede ser para medirla (higrómetro), pero en las estaciones climatológicas es mucho más utilizado el psicrómetro. Este consta de dos termómetros ordinarios llamados seco y húmedo. El húmedo tiene el depósito de mercurio envuelto en una muselina que se mantiene húmeda conectándola con un depósito de agua. El agua de la muselina al evaporarse absorbe calor, produciéndose un descenso de temperatura en este termómetro. La diferencia de temperaturas entre ambos, está relacionada con la tensión de vapor y este a su vez con la humedad relativa en tablas psicrométricas.

Analizando de una forma integral el volumen de la precipitación pluvial, el clima de la región y las características de los materiales que la constituyen, se determina aproximadamente el volumen de agua que se evapora, el que se infiltra y el de escurrimiento; naturalmente, existen regiones en que la precipitación es mínima y el agua no alcanza a infiltrarse evaporándose en gran proporción. Las estimaciones que se obtengan deben tomarse bajo criterios muy conservadores ya que tienen como base el conocimiento general de la región desde el punto de vista geológico; de las características físicas de los materiales que cubren la zona de estudio y de las formaciones que deben constituir el acuífero por lo tanto la explotación debe de efectuarse de forma racional proyectando que la extracción jamás sea superior a la recarga de los acuíferos ya que al romperse este equilibrio, inmediatamente se manifiesta por descensos en los niveles de bombeo, fuera de los previstos, provocando incrementos en los costos de operación.

Cuando se explotan acuíferos localizados en zonas costeras el abatimiento de los niveles de las aguas subterráneas por debajo de los niveles del mar, propiciando la intrusión de las aguas marinas, lo que implica la contaminación del agua del acuífero, pudiéndose tomar medidas de conservación de los mismos. Una de estas técnicas más recomendables consiste en perforar pozos de observación debidamente localizados tanto a lo largo de la costa como dentro de la zona de extracción, condiciones de drenaje, flujo, profundidades etc. Y de ahí estimar las posibilidades de incrementar el número de pozos de explotación sin afectar a los acuíferos.

1.5 Estudios geohidrológicos definitivos

Un estudio geohidrológico completo de una región incluye la determinación de la cantidad y calidad del agua disponible en forma permanente y económica; esto requiere del estudio de la geología e hidrología de la región y de las características hidráulicas y geoquímicas de los acuíferos.

Por medio de los estudios hidrológicos se determina en forma expedita la dirección y sentido del flujo subterráneo mediante el empleo de pozos piezométricos y la obtención del gradiente hidráulico o bien, por medio de estudios geoquímicos.

A continuación se explica en forma breve en que consisten los estudios por medio de pozos piezométricos. Si consideramos la importancia de la gravedad dentro del ciclo hidrológico, entenderemos que es la responsable de atraer las aguas de la atmósfera, arrastrarlas al subsuelo distribuyéndolas entre los estratos permeables e influir en la dirección que habrán de seguir.

Una vez que son detenidas por capas de rocas impermeables, se extienden horizontalmente de modo que grandes extensiones del subsuelo quedan saturadas de agua la cual empapa el acuífero. Todas las capas situadas encima de esta base de roca impermeable contienen agua subterránea.

De acuerdo con su humedad, las capas se dividen en dos regiones: la zona de aireación y la zona de saturación como se puede observar en la figura 1.3, Habiendo penetrado, en la superficie el agua va primero a la zona de aireación, nivel de transición donde el subsuelo contiene agua y aire. Su profundidad varía desde cero en un lago hasta miles de metros en otras regiones. En esta zona el agua muestra sus poderes de adhesión pegándose a las partículas del suelo y roca.

La zona de aireación termina en una región húmeda, llamada franja capilar, la cual contiene agua que ha subido de regiones todavía más profundas gracias a la capilaridad.

Su anchura dependerá del diámetro de los poros del suelo: si son grandes los poros, será poca el agua que suba y la franja será angosta, pero si son pequeños y continuos es posible que el agua ascienda hasta 2.5 metros.

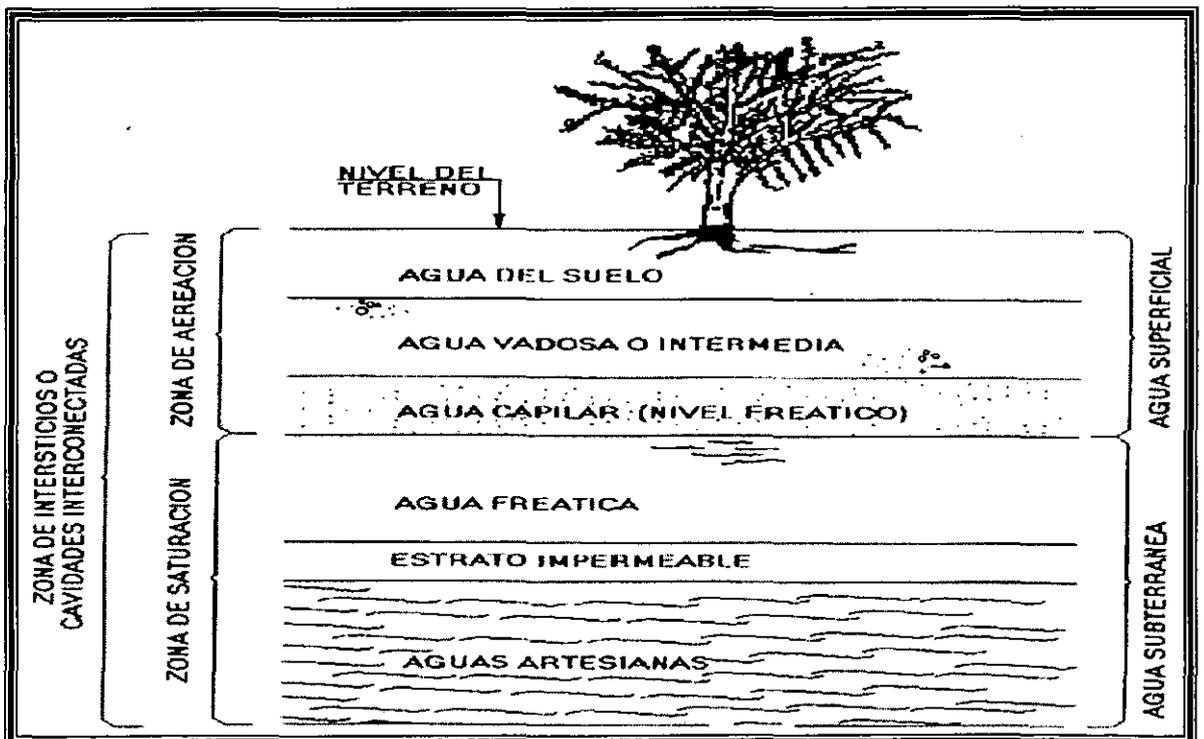


Figura 1.3. Zona de intersticios, que muestra la zona saturada y la zona de aireación. Fuente: Abastecimiento de Agua Potable Vol. I. Enrique César Valdez. Editado por la Fac. de Ing. UNAM.

La capa húmeda más profunda, que abarca la zona de tierra saturada, forma un importante recurso para la obtención del agua. Los pozos llegan hasta ella; manantiales, ríos y lagos son sus afloramientos naturales en la superficie terrestre. El agua que se filtra no puede descender ya más, pues cada poro, cada grieta, cada intersticio está saturado.

La parte superior de la zona de saturación (la línea entre ella y la franja capilar) recibe el nombre de capa de aguas freáticas. El agua que brilla en el fondo de un pozo es una parte expuesta de ella.

También la superficie de los lagos y los ríos son parte visible de la capa freática. Aunque ocasionalmente, al perforar un hoyo en el subsuelo se da con agua que sale a gran presión. Esta formación, que se presenta en muchas regiones, se denomina "artesianas". La presión que da fuerza a los pozos artesianos se crea cuando las aguas subterráneas se filtran entre dos capas de materiales impermeables, que impiden que el agua salga; actúan como las paredes de un tubo, y pueden mantener el agua a presión, misma que se genera al penetrar en las capas inferiores la capa acuífera, lo cual hace que las aguas que están más arriba presionen sobre las que están presionadas más abajo, originándose un equilibrio de presiones.

La presión liberada cuando un pozo perfora la pared dependerá de la diferencia de elevación entre ese punto y el nivel más alto del agua que hay en la capa acuífera denominado gradiente hidráulico

Por otra parte los pozos piezométricos muestran oscilaciones muy variadas a través del tiempo con respecto al nivel de las aguas subterráneas. En general, se tratan de variaciones pequeñas en acuíferos no explotados, pero pueden ser muy importantes en acuíferos cautivos, ya que se coeficiente de almacenamiento es muy pequeño.

Algunas de estas oscilaciones sólo tienen un valor anecdótico ó científico, como son las provocadas por las mareas, cambios de la presión atmosférica, sobrecargas rápidas, etc. mientras que otras sostienen un indudable valor práctico, pues pueden llegar a afectar y condicionar la explotación de un acuífero por disminución de la altura de agua en los pozos y en el acuífero, mayor elevación del bombeo, etc.

Las variaciones de los niveles piezométricos con respecto al tiempo se representan en hidrógramas, que son gráficos cartesianos en los que las ordenadas se representan los niveles piezométricos y en las abscisas el tiempo, eligiendo la escala adecuada.

En los hidrógramas no solo se visualizan las oscilaciones sino también la posible tendencia de variación de niveles mediante el análisis estadístico; sin embargo, se puede considerar en forma general el nivel piezométrico medio del acuífero, en un periodo suficientemente grande, como constante, con excepción de los casos en los que hombre haya cambiado sustancialmente sus condiciones de recarga o descarga.

Es frecuente distinguir dos tipos principales de oscilaciones:

- a) Oscilaciones rápidas, cuya duración varía desde menos de un minuto a poco más de un día.
- b) Oscilaciones de periodo largo, que se repite sobre la base de un ciclo semianual o de varios años.

Sin embargo no siempre se tratan casos de oscilaciones periódicas, ya que por ejemplo, Las oscilaciones producidas por bombeos irregulares o las provocadas por crecidas de ríos se presentan en algunos años.

Las oscilaciones piezométricas son unas veces debidas a causas directas que suponen un cambio en el almacenamiento subterráneo tales como:

- 1.- Sucesiones de épocas secas y de épocas húmedas.
- 2.- Variaciones de nivel en ríos y lagos conectados directamente con el acuífero.
- 3.- Extracción del agua por bombeo o recarga por inyección. en el mismogrupo entra la extracción de agua por plantas freatofitas y las recargas en épocas de fuertes lluvias.

Otras causas actúan de forma indirecta, en especial mediante cambios de presión que no suponen variación importante del agua almacenada, así como afectan a acuíferos capaces de comportarse como cautivos, por lo menos en periodos breves de tiempo. Tales son:

- 1.- Efectos de cambios en la gravedad, en especial en lo que a mareas marinas se refiere.
- 2.- Cambios en la presión atmosférica.
- 3.- Efectos de sobrecargas rápidas o propagación de ondas elásticas.

A continuación se describen las oscilaciones rápidas de tiempo periódico:

Oscilaciones debidas a los cambios de presión atmosférica. En los acuíferos cautivos se nota un descenso de nivel en los pozos y piezómetros como consecuencia de un incremento en la presión atmosférica, y un ascenso de nivel como consecuencia de una disminución en la misma.

El incremento de carga sobre el acuífero causado por un aumento de la presión atmosférica se reparte entre el terreno y el agua, o sea que se aumenta la presión intergranular y la presión del agua. Si h_0 es la columna de agua que equilibra la presión p del agua en un cierto punto del acuífero, debe cumplirse que

$$p = (h_0) (\delta) + Pa \dots \dots \dots 2.1$$

siendo Pa la presión atmosférica.

Si se produce un aumento de presión atmosférica Δpa el aumento de presión en el punto considerado en el acuífero es $(f)(\Delta pa)$ siendo f un valor entre 0 y 1 dependiendo de cómo reparte la sobrecarga entre el agua y el terreno.

En el pozo de observación se produce un incremento de nivel Δh tal que

$$p + f (\Delta pa) = (h_0 + \Delta h)\delta + pa + \Delta pa \dots \dots \dots 2.2$$

y restando la ecuación anterior y despejando Δh

$$\Delta h = -((\Delta pa) / \delta) (1-f) \dots \dots \dots 2.3$$

que efectivamente muestra que a un descenso de presión corresponde un incremento de nivel.

Físicamente se puede razonar el efecto teniendo en cuenta que el incremento de presión atmosférica carga íntegro sobre el agua del pozo o piezómetro y solo una fracción es útil para incrementar la presión del agua en

el acuífero. Para poder tener equilibrio el nivel del agua en el punto de observación debe descender.

Un término importante es el llamado eficiencia barométrica **EB** al cociente entre el cambio de nivel del agua y el cambio de presión atmosférica expresado en altura de agua se prescinde del signo.

$$EB = (\Delta h) / (\Delta pa / \delta) = (\delta (\Delta h) / (\Delta pa)) = 1-f \dots \dots \dots 2.4$$

Oscilaciones debidas a los cambios de nivel de aguas superficiales

Si se tiene un acuífero bajo el mar o cualquier masa de agua superficial extensa (gran lago embalse), toda elevación del nivel del agua libre supone una sobrecarga, la cual se reparte entre el terreno y el agua, ósea que aumenta la presión intergranular y la presión del agua. Si se tiene un pozo, el nivel en el mismo aumenta a consecuencia de la elevación del agua libre para equilibrar el incremento de presión del agua. Nótese que este efecto difiere del de la acción de los cambios de presión atmosférica en que ahora el esfuerzo actuante sobre el nivel del agua del pozo no cambia.

Si el agua libre se eleva $\Delta h'$ y su peso específico es δ' , el agua del acuífero recibe un incremento de presión $(f) (\Delta h') (\delta' / \delta)$ siendo f un valor entre 0 y 1, igual al definido en el estudio anterior. El incremento de nivel en el pozo $\Delta h = (f) (\Delta h') (\delta' / \delta)$. Siendo δ el peso específico del agua del pozo. Aun para agua dulce y agua marina,

$$\delta' / \delta = 1,025/1 = 1,025 \approx 1 \dots \dots \dots 2.5$$

$$\Delta h \approx f (\Delta h') \dots \dots \dots 2.6$$

Se llama eficiencia a la marea **EM** al cociente

$$EM = (\Delta h) / (\Delta h') = f \dots \dots \dots 2.7$$

ya que la eficiencia barométrica vale $1-f$ es : **EB + EM = 1**.....2.8

Existe otra causa que origina oscilaciones en los acuíferos, este es debido a la evapotranspiración. Los acuíferos libres con nivel freático próximo a la superficie del terreno o sometidos a la acción de plantas faetófitas, sufren un efecto de evapotranspiración directa que alcanza un máximo valor durante el día y el mínimo valor durante la noche. Ello produce una fluctuación de niveles de 24 horas, de período. Por un efecto de histéresis el nivel freático mínimo se produce hacia la puesta del Sol y el máximo se produce hacia la media mañana.

El efecto de evapotranspiración directa es despreciable, excepto cuando el nivel freático está a menos de un metro de la superficie. El efecto de evapotranspiración puede alcanzar a superficies freáticas situadas a más de diez metros de profundidad si existen plantas freatofitas, pero es raro que en situaciones de cultivo normales llegue a más de 2 ó 3 metros de profundidad.

Las oscilaciones producidas son mucho más intensas en verano que en invierno, pudiendo desaparecer en épocas muy frías. La amplitud de las oscilaciones está influida por el viento, su temperatura, etc. Es raro encontrar oscilaciones que superen los diez metros. Como característica lógica mencionaremos que en primera aproximación esta oscilación no puede superar el valor de la evapotranspiración diaria dividida por la porosidad del acuífero.

A continuación se describirá otro tipo de oscilaciones llamadas rápidas no periódicas. Las oscilaciones de este tipo son debidas en general a sobrecargas o descargas rápidas del terreno. Tales como el paso de un tren o de un camión pesado por las aproximaciones del piezómetro en observación, etc. En general el fenómeno sólo es apreciable en acuíferos cautivos bien en acuíferos libres capaces de mostrar reacciones elásticas de importancia.

La sobrecarga rápida crea un aumento de la presión del agua y una elevación brusca del nivel piezométrico y al contrario si se trata de una descarga brusca.

Si retomamos el ejemplo del tren, se produce un brusco ascenso seguido de un brusco descenso cuando se aleja; si el tren se estacionara en las inmediaciones del piezómetro solo existe el efecto de sobrecarga, pero como ésta es local, la elevación del nivel es también local y se crea un gradiente piezométrico hacia las porciones del acuífero no afectadas de modo que la elevación desaparece a los pocos momentos, ya que la extensión del acuífero es en general mucho mayor que la del área afectada por la sobrecarga, el mismo efecto se tiene en una descarga brusca, como la marcha de un tren estacionado en las inmediaciones del piezómetro.

La propagación de ondas elásticas produce una brusca oscilación de subida y bajada a consecuencia del paso de la onda de compresión. Tal sucede en el caso de terremotos, explosiones o fuertes golpes sobre el terreno. En la siguiente figura se muestra el efecto de un terremoto en escala de tiempo muy ampliada.

CAPÍTULO

II

ESTUDIOS AUXILIARES DE GEOLOGÍA

Etimológicamente la palabra geofísica significa ciencia que estudia la física de la Tierra. Esta ciencia se divide en dos partes, la geofísica pura, la cual se ocupa del estudio de la gravedad, magnetismo, electricidad y sismología terrestre, además de vulcanología, geodinámico, climatología y otras ciencias relacionadas con la física de la Tierra, mientras que la otra parte es la geofísica aplicada llamada también prospección geofísica, entendiéndose a ésta como el arte de aplicar la ciencia física al estudio de la parte más superficial de la corteza terrestre, que puede ser explotada por el hombre. La atención de este trabajo se dirigirá a la aplicación de los métodos geofísicos de prospección, gracias a los cuales se logra abatir el costo de estudios en grandes extensiones de terreno.

La prospección geofísica en sus aplicaciones ha demostrado que muchas estructuras del subsuelo y depósitos minerales, pueden ser localizados siempre que existan diferencias detectables en sus propiedades físicas, siendo las principales la densidad, magnetismo y conductibilidad eléctrica. Estas mismas propiedades originan cinco métodos geofísicos: gravimétrico, magnético, sísmico, eléctrico y electromagnético. Los métodos geofísicos se agrupan de la siguiente manera:

- Métodos potenciales {
 - Magnético
 - Gravimétrico
- Método Sísmico
- Método Eléctrico
- Método Electromagnético

Es importante mencionar que cuando se inicia una prospección, sea cual sea el objetivo de estudio, hay una serie de factores que influyen notablemente en la selección del método geofísico más apropiado, así como en el encadenamiento de los métodos que suelen seguir a continuación. En general no se suele emplear un solo método, sino dos o más que se complementen y hagan la investigación más certera, tomando en consideración la influencia del aspecto económico de la prospección que es, al fin y al cabo, el que decide el método o métodos a elegir.

Una vez realizada(s) la(s) prospección(es) necesaria(s), llegará el momento de su interpretación final, manifestándose el importante papel de la geología en la prospección geofísica, ya que en toda prospección existe una cierta interdependencia entre el geólogo y el geofísico; el primero debe tener los suficientes conocimientos geofísicos para poder dar una interpretación geológica al mapa de anomalías del geofísico y éste debe tener a su vez los conocimientos geológicos necesarios para poder planificar el trabajo e interpretar bien sus lecturas geofísicas. Finalmente se obtiene la interpretación según el acuerdo entre las hipótesis del geólogo y las del geofísico. Lo anterior no asegura al 100% que la interpretación de resultados concuerde con la realidad, siendo esta la causa de pensar en practicar sondeos que, si bien incrementan el costo dan mayor certeza a estos estudios.

2.1 Prospección magnética

El método más antiguo en la exploración geofísica, la prospección magnética, se emplea de manera general en la búsqueda de petróleo y de minerales. En la búsqueda petrolífera es empleado de manera ordinaria con el fin de poder determinar el espesor del elemento localizado dentro del tramo sedimentaria o bien para revisar los rasgos estructurales de la superficie del basamento de forma tal que podría influenciar la estructura de los sedimentos suprayacentes, mientras que en la prospección minera se encarga sobretodo de minerales cuya composición contenga magnetita. En ambos casos, el método magnético resuelve solamente cuestiones particulares dentro de problemas generales de la economía nacional lográndose pues la solución total con la aplicación simultánea de diversos métodos.

La interpretación de este método se basa en que el campo magnético normal de la Tierra es uniforme en áreas donde la composición magnética de los materiales también lo es, pero será distorsionado cuando éstos presenten alguna variación de este orden. El grado de distorsión dependerá de la susceptibilidad de las rocas y de la masa y configuración de los materiales componentes.

Existe gran parecido entre los métodos magnético y gravimétrico de prospección, tanto en la técnica de campo como en la presentación e interpretación de los resultados. Sin embargo, aunque el trabajo de campo sea sencillo, en muchos aspectos la interpretación es mas complicada y con frecuencia solamente es posible hallar una solución cualitativa o, a lo más, una aproximación cuantitativa del problema.

A continuación se describen las dos formas de prospección magnética que se lleva a cabo en la práctica. El primero es el llamado prospección magnética terrestre, que en los trabajos a gran escala requiere el establecimiento de un cierto número de estaciones base que permitan estudiar las estaciones secundarias determinando los errores que se cometieron en las mediciones a causa de posibles variaciones del campo, usando el aparato denominado magnetómetro terrestre; sin embargo, se efectuarán correcciones a la variación diaria (por cambios de temperatura, si la compensación térmica del aparato no es completa), siendo el error de cierre para más de una lectura los valores anómalos del campo, éstos se deberán solo a la distribución de la imanación en el subsuelo que es lo que se intenta determinar. Es importante mencionar que en principio los permitir estudios geológicos son los que permitirán delimitar el área de influencia a estudiar. El magnetómetro trabaja por medio de un frecuenciómetro, cuya función es medir directamente la frecuencia de las vibraciones de la intensidad del campo magnético terrestre, cuenta también con un auricular el cual permite al operador escuchar las señales audibles por medio del tono que se produce cuando cambia el campo magnético terrestre al ir recorriendo el terreno.

La segunda forma de prospección magnética es la aeromagnetica, que es utilizada para grandes zonas por ser económica y rápida en comparación con el primer tipo de prospección; sin embargo, hay inconvenientes, como la elevada velocidad de los aviones que ocasiona errores de lectura en los instrumentos llamados detectores, que no son de respuesta rápida, por ello se utiliza el magnetómetro de saturación, midiendo éste el campo magnético total y no necesitándose la orientación aunque si se requerirá que mantenga el avión una altitud barométrica constante durante el vuelo.

Una vez tomadas las mediciones de campo geomagnéticas se elabora un mapa de anomalías a partir de estos resultados. Es necesario reducirlos requiriéndose el conocimiento de su variación normal temporal y espacial.

De lo hasta aquí expuesto y sobre la base de lo mencionado en el primer capitulo, en el sentido de que las rocas sedimentarias consolidadas que encierran el 95 % de las aguas subterráneas son calizas, y sabiendo que las rocas sedimentarias ejercen un efecto magnético tan pequeño en comparación con las rocas ígneas situadas debajo de las primeras, se puede dejar en claro que la prospección magnética está en desventaja para poder proporcionar información sobre los acuíferos.

2.2 Prospección gravimétrica

Una característica importante de la prospección gravimétrica y de la magnética, es que interesan más las diferencias en la gravedad que los valores absolutos de la misma, pero no es necesario contar con instrumentos que midan directamente la gravedad.

La prospección gravimétrica se basa en la medida de las pequeñas variaciones del campo gravitatorio debidas a las diferencias que existen entre densidades de los distintos tipos de roca que constituyen la corteza terrestre, causadas por variaciones en la distribución de las masas como consecuencias de movimientos geológicos.

Así es como, el método por gravedad descubre estructuras geológicas interesadas para la prospección petrolífera, ya que al leerse deformaciones en la distribución normal de la densidad en el interior del suelo, sirven como de diagnóstico, además de buscar anomalías originadas por cambios de las propiedades físicas de las rocas subyacentes. Su uso se sugiere para reconocimientos previos.

Con respecto al estudio de acuíferos la curvatura (deformación) equipotencial es perpendicular en cualquier punto del área saturada; sin embargo, si apareciera por debajo del estrato impermeable algún acumulamiento de mineral de forma puntual, la fuerza gravitatoria de esta misma causaría una desviación en dirección del mineral.

En forma similar a como se expuso en el método de prospección magnética, en las rocas sedimentarias se puede definir el seguimiento de la prospección gravimétrica para el caso del contraste de densidad de las rocas sedimentarias. En primer lugar se hace uso de toda la información geológica disponible sobre la estratigrafía del suelo, en segundo lugar se aplica la prospección gravimétrica en conjunto con cierta información como la densidad de materiales pétreos típicos y en tercer lugar se investiga en forma más detallada con sismógrafos, mismos que pueden dar esquemas menos variables de la disposición subterránea favoreciendo entonces el lugar más propicio para basar una perforación y obtener la información requerida.

Como se puede advertir, la integración de información sobre la base de la prospección toma tiempo y hasta cierto punto no es muy confiable, lo que la hace ver como una prospección inviable para estudios de acuíferos.

A continuación se describe la forma en que se lleva a cabo la prospección gravimétrica. Esta es por medio de los gravímetros que pesan menos de 3 kilogramos contando con todos sus elementos esenciales de cuarzo.

La forma de trabajar con el gravímetro es la siguiente. Una vez puestos en el lugar de operación se calibran por medio de la realización de 2 lecturas donde previamente se conoce con exactitud los valores absolutos o bien relativos de la gravedad. Enseguida, una vez en plena forma para operar y contando previamente con los mapas altimétricos se evalúa la situación geográfica con la mayor exactitud posible. Se ubicarán en el campo las estaciones donde se reconocerán los vértices que formarán la malla reticular de estudio, cuyos intervalos estarán en función de la superficie y el objetivo de estudio siendo, para el hidráulico, de distancias grandes.

Para cada estación deberá de ser nivelado cuidadosamente el instrumento pasando inmediatamente después a la toma de lecturas, mismas que se graficarán en forma diaria así como también las realizadas para una misma estación midiendo la diferencia de gravedad entre cada estación por medio de ambas gráficas.

Tomando en consideración la corrección de los datos observados por la influencia topográfica circundante así como de la latitud y el efecto de las mareas.

2.3 Prospección sísmica

La sismología se basa especialmente en las variaciones de la elasticidad y densidad que presentan los materiales que componen la corteza terrestre, utilizando para su aplicación ondas elásticas producidas artificialmente ver el cuadro 2.1, dependiendo por lo tanto de la velocidad de propagación de estas ondas a través de las rocas, siendo necesario para su empleo la existencia de un plano de contacto entre dos materiales de diferentes propiedades elásticas.

Cuadro 2.1. Intervalos aproximados de onda longitudinal para distintos materiales.

MATERIAL	VELOCIDAD m/s
Suelo	170-500
Arcilla	1000-2800
Arcilla arenosa	975-1100
Limo	760
Arena seca	300
Arena húmeda	610-1830
Aluvión	550-1000
Dunas	500
Loess	375-400
Lutita	1800-3800
Arenisca	2400-4000
Caliza	3000-5700
Dolomía	5000-6200
Granito	4000-5600
Esquisto	2290-4700
Rocas ígneas	5500-6600
Agua (dependiendo de la temperatura y de contenido de sales)	1430-1680

Fuente: Manual de diseño de obras civiles hidrotecnia CFE.

De acuerdo con el carácter de las ondas cuyo tiempo de propagación es el que se mide, se han desarrollado dos métodos denominados de refracción y de reflexión. El primero basa sus estudios en las ondas refractadas mientras que el segundo en ondas reflejadas.

Cabe mencionar que el método de reflexión se utiliza de manera más amplia en la ingeniería petrolera, ya que proporciona información a mayor profundidad, basándose en la reflexión de ondas en los diferentes medios que se atraviesan. Por su parte, el método sísmico de refracción es el que usualmente se utiliza en la ingeniería civil; éste requiere distancias largas de observación, y se aplica principalmente en la exploración de capas someras con fuertes contrastes de velocidad (de sus ondas).

El método sísmico de refracción es más confiable en zonas arriba del nivel freático y cuando las velocidades de onda en cada estrato se van incrementando con la profundidad; consiste en la medición del tiempo que tarda una onda sísmica en atravesar un medio, dicha onda es generada por impacto con un martillo o pisón (pieza de acero u otro material pesado), y por explosión mediante un barreno previamente ejecutado en el lugar deseado. Las velocidades del subsuelo son captadas mediante unos dispositivos electromagnéticos llamados geófonos, mismos que transforman las ondas en señales eléctricas que trabajan con un rango de sensibilidad entre 5 y 100 ciclos por segundo, captando el fenómeno en un aparato denominado sismógrafo. La longitud de la línea de los geófonos y la distancia de estos al punto de tiro están condicionadas por la profundidad a la que se desea explorar. Para cada tendida de geófonos es necesario efectuar dos lecturas, localizando sucesivamente los puntos de explosión en uno y otro extremo de la línea.

Para detectar una zona de menor velocidad, se recomienda disponer los geofonos en forma semicircular ver la figura 2.1 alrededor de un punto de tiro de tal manera que las distancias sean constantes y pueda detectarse retraso en algunos geofonos. Sin embargo para determinar las dimensiones y profundidad de la anomalía se variara el radio y/o posición del punto de tiro. Estas anomalías pueden corresponder a zonas de baja resistencia, rubificadas, muy sueltas o con cavernas.

La información de campo necesaria para la interpretación de resultados es la siguiente: contando con el tiempo de registro en cada generación de ondas y conociendo la ubicación de cada receptor, se dibuja en el eje de las abscisas las distancias y en el de las ordenadas los tiempos de propagación. Este diagrama se conoce como dromocrónicas. Existen fórmulas para interpretar estas últimas.

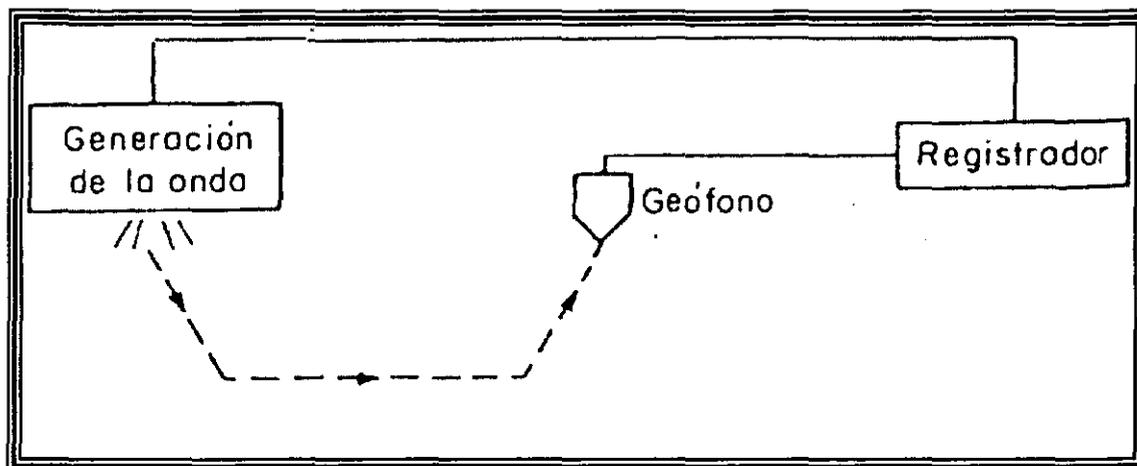


Figura 2.1. Localización de los elementos que intervienen en la prospección sísmica. Fuente: Introducción a la prospección geofísica. Milton. B. Dodrin. Barcelona.

2.4 Prospección eléctrica

La prospección eléctrica se basa en la interpretación del campo eléctrico creado por la circulación de una corriente eléctrica en el subsuelo (artificialmente) que establece una relación entre los parámetros que intervienen en la propagación de la corriente con las características de los materiales, empleando para ello aparatos transmisores y receptores. Las resistividades eléctricas varían conforme al material y sus condiciones de contenidos de mineral y de agua, de tal manera que un estrato de rocas con alto contenido de sales tiene resistividades bajas.

Estos métodos tienen la ventaja de poder emplearse abajo del nivel freático localizar cavernas y estratos blandos, que son más difíciles de identificar con los métodos geosísmicos. Sin embargo, lo limitado del poder de penetración del método restringe su aplicación a aquellos accidentes estructurales comprendidos dentro de las profundidades aproximadas de 500 a 1500 metros, siendo para estos últimos los trabajos a frecuencias muy reducidas.

En general, los métodos eléctricos son útiles cuando los cortes geológicos señalan buenos contrastes de resistividad resultando adecuados para cuantificar bancos de materiales, localizar cavernas y zonas de debilidad.

Para la prospección geoelectrica se han desarrollado varios métodos entre los cuales se tienen: los clasificados en corriente continua, sobresaliendo por su aplicación en la geohidrología los siguientes: Sondeo eléctrico vertical (SEV), Calicatas, Polarización Inducida.

El sondeo eléctrico vertical es la determinación de la estructura en forma vertical del subsuelo. Para llegar a ello es necesario superar dos etapas: en la primera de

ellas se intenta obtener la distribución de la resistividad en el subsuelo y, en la segunda, se busca el significado geológico de tales resistividades, con lo que pasa del perfil geoelectrico a un perfil geológico. La primera se basa en leyes físico-matemáticas mientras que la segunda depende fundamentalmente de correlaciones entre datos geofísicos y datos geológicos.

Para poder iniciar este método será necesario:

- a) Plantear en términos geológicos el objetivo, que para nuestro caso podría ser la localización de traslapes arenosos en una gruesa formación de arcilla o bien buscar un sustrato impermeable bajo rocas permeables.
- b) Tener información geológica sobre la zona a estudiar con el fin de:
 - b.1) Decidir sobre el método geofísico más conveniente.
 - b.2) Correlacionar los resultados obtenidos al final de la investigación geofísica con la información geológica previamente obtenida.
- c) Decidir sobre la base de: los accidentes topográficos así como también de la profundidad a la que se referirán los estudios ya que es más aplicable a prospección petrolera, hidráulica, cuencas carboníferas, que puede ser cortos (de unos 100 a 200 metros) o largos (de unos 8 kilómetros a 10 kilómetros).

El proceso de un SEV depende en parte de la distancia final AD a que se pretende llegar. Desde este punto de vista, los SEV pueden clasificarse en:

- a) SEV corto; hasta 200 metros.
- b) SEV Normal; con AD final mayor que 200 metros y no mayor de 2.5 kilómetros.
- c) SEV Largo; con AD entre 2 ó 3 kilómetros y 30 ó 40 kilómetros.
- d) SEV Muy largo; hasta 600 kilómetros.

Esta clasificación no se basa en las profundidades alcanzadas, ya que esta depende del corte geoelectrico.

A continuación se describirá el SEV normal, ya que es el recomendado por las propias autoridades encargadas de las investigaciones hidrogeológicas.

Para empezar debemos de recordar que hasta este momento deberíamos de tener en nuestro poder la recopilación y análisis de la información hidrológica de la zona en cuestión (capítulo I).

Contando con lo anterior, es necesario disponer del equipo de trabajo correspondiente, mismo que se calibrará ya sea en donde exista información litológica de pozos perforados, o en sitios donde se hayan realizado SEV's con el fin de comparar los valores de las resistividades de la exploración geofísica con respecto a la previa, y la corrección de las unidades de roca del subsuelo.

El equipo necesario consiste en el circuito del emisor o también denominado transmisor, que sea capaz de introducir una corriente y hacerla circular por el terreno; esta corriente eléctrica tiene una intensidad constante hasta de 10 amperes, y una diferencia de potencial de salida entre 100 y 1200 volts y con capacidad de lectura hasta de un miliamper. Será necesario hacer previamente la calibración en laboratorio. En el circuito de recepción, también llamado de potencial, se debe emplear un circuito de gran impedancia (capacidad en ampers) de entrada, siendo el mínimo de un megaohm, y el máximo de 100 volts. Uno más de los instrumentos necesarios es el cable suficiente para cubrir distancias con AD final de hasta 2000 m y contar con todos los accesorios y herramientas complementarias.

Para iniciar la realización de la prospección será necesario fijar en el terreno (sobre la base de la investigación hidrológica) el centro del SEV en el que se coloca una estaca con el número de orden correspondiente, señalando el rumbo del dispositivo de acuerdo con lo previsto en el programa de trabajo. Tendiéndose dos cuerdas de 100 m de longitud cada una con señales numeradas que indican las sucesivas posiciones de los electrodos A y D. El origen de estas cuerdas es alrededor de la estaca central, prosiguiendo se coloca en sus posiciones iniciales a los electrodos, ubicando a pocos metros del origen o centro la caja de pilas, la unidad amperimétrica y el milivoltímetro. Es importante acomodar a cada uno de estos en sillas plegables de modo que se aisle del medio de estudio, después se conectara los electrodos B y C a la entrada del milivoltímetro los A y D a los carretes y a la unidad amperimétrica.

Es necesario que conforme progresa la medición se dibuje la curva de campo de sondeo, de forma tal que pueda advertirse la existencia de errores y/o perturbaciones con objeto de realizar las correcciones pertinentes.

Terminada la anotación de los datos generales del SEV en la hoja respectiva de campo, el operador proseguirá con la compensación de la tensión parásita presente en los electrodos de potencial y tan pronto como lo ha efectuado cierra el circuito del emisor apretando el pulsador de la unidad amperimétrica, leyendo rápidamente los valores de los incrementos de voltaje e intensidad correspondiente a la primera estación.

Se deberá tener presente que antes de empezar cualquier estudio de este tipo (eléctrico) se tomen las acciones preventivas que den seguridad a los obreros y

operadores involucrados, además de informar de manera inteligente a los habitantes del peligro latente durante los estudios.

El método SEV se aplica en los estudios geológicos principalmente por medio de los dispositivos electródicos Wenner y Schlumberger. Se denomina dispositivo electródico se le denomina al conjunto de electrodos que en general consta de cuatro electrodos. A continuación se describen ambos dispositivos.

2.5 Dispositivo Schlumberger

Los sondeos de resistividad fueron empleados por primera vez en el año de 1912 por Conrad Schlumberger con el propósito de investigar cambios en las resistividad de una formación con base en su profundidad. Actualmente para llevar a cabo sondeos de resistividad se emplean distintos espaciamientos de electrodos los cuales pueden ser acomodados en distintos arreglos, siendo uno de los más comunes el arreglo Schlumberger. Para este arreglo se utilizan dos electrodos de corriente (A y D), ver figura 2.2 y dos de potencial (B y C) los electrodos de corriente se encuentran separados por una distancia mucho mayor a la distancia entre los dos electrodos de potencial.

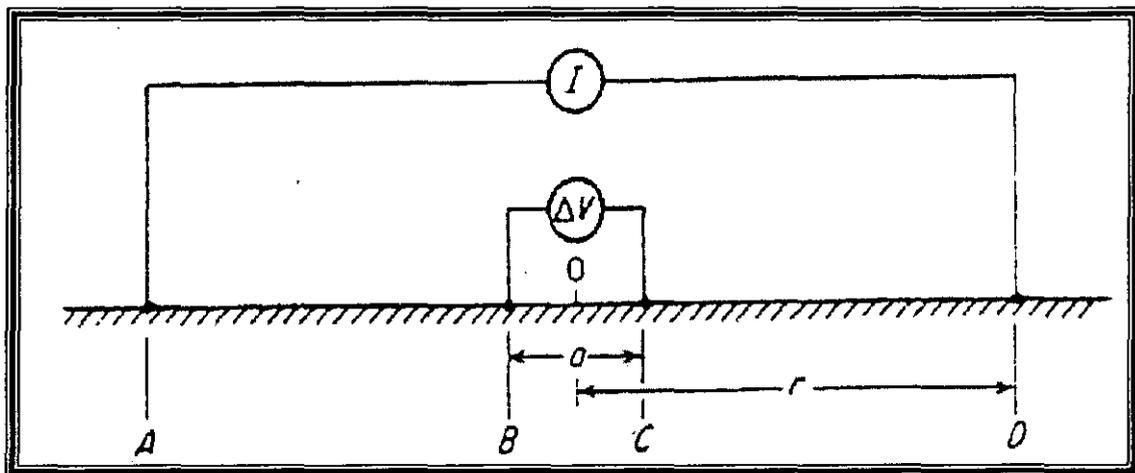


Figura 2.2. Arreglo Schlumberger donde "a" es constante y "r" aumenta, siendo los electrodos de corriente A y D mientras que los de potencial por B y C. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

Los electrodos de corriente A, D son elementos por los que la corriente entra y sale mientras que los electrodos de potencial B, C son elementos por los que se mide la diferencia creada por los primeros, mismos que van unidos por medio de cables aislados a un generador eléctrico provisto de un amperímetro, mientras que los electrodos de potencial B, C análogamente van unidos al instrumento capaz de medir la diferencia de potencial, formando dos circuitos independientes.

Así es que para cualquier dispositivo, si se conoce la distancia mutua entre los electrodos y , se mide la intensidad "I" que pasa por el circuito de corriente y la diferencia de potencial, que se me dé en el circuito de potencial, se podrá calcular la resistividad aparente mediante una formula del tipo siguiente (Orellana 1982)

$$RA = K(\text{incremento} / \text{Intensidad}) \dots\dots\dots 2.1$$

Donde K es un coeficiente que depende únicamente de la geometría del dispositivo eléctrico cuyas dimensiones son las referidas a un a longitud (en metros) siendo para el arreglo Schlumberger (Orellana 1982);

$$K = 4 (\Pi) (a) \dots\dots\dots 2.2$$

buscándose de que la distancia a que separa los electrodos M y N tienda a cero, lo que implica que,

$$RA = (\Pi) (L^2) (e / I) \dots\dots\dots 2.3$$

Siendo E el gradiente de potencial o sea el campo. De manera que en la teoría matemática se empleará la ecuación anterior (2.3) mientras que en las operaciones de campo la que se utiliza realmente es,

$$RA = (\Pi) (L^2) (\Delta v / Ia) \dots\dots\dots 2.4$$

Cabe mencionar que en las mediciones de campo se suelen tomar la norma de que MN son menor que AB/5, por lo que como MN = a y 2L es menor que AB se comete un error relativo del 4%, y si consideramos que es muy limitada la precisión de las mediciones geométricas de campo, resulta irrelevante el error.

Resulta finalmente la resistividad aparente por el dispositivo Schlumberger con coeficiente igual a $RA = 2 (\Pi) (L^2) (\Delta v / Ia)$. Una vez que se cuenta con la distribución de la resistividad en el subsuelo en donde la distribución de la corriente es en medios heterogéneos, se turnará toda la información recabada al interpretador, quien trabajará en la primera fase de la misma (interpretación) mediante una amplia gama de curvas teóricas, que fueron calculadas por algún procedimiento llegando a una colección de hasta 480 curvas. Una vez concluida esta fase pasará inmediatamente a la segunda que consiste en la correlación de información geológica antes recabada, para dar una conclusión de manera general y/o particular, actualmente se esta tarea se llevará a cabo en gabinete con la ventaja de poder contar con software en el que se vierten los resultados recabados de campo generando la curva más próxima.

2.6 Dispositivos Wenner

La diferencia esencial del dispositivo Wenner en comparación con el dispositivo Schlumberger consiste en que la calidad de las curvas de campo son de menor valor en las primeras que en las segundas.

Esto se debe principalmente a que en el dispositivo Schlumberger permanecen fijos los electrodos de potencial, de modo que el efecto de la zona superficial donde están clavados permanece el mismo en toda la curva hasta el próximo empalme, mientras que en el dispositivo Wenner como los electrodos B, C se desplazan en cada lectura, puede decirse que todas las estaciones son de empalme y los saltos debidos a estos aparecen en todas las curvas (sin posibilidad de conocerlos) De la misma manera que en el dispositivo Schlumberger existía un coeficiente, también en el dispositivo Wenner siendo para este último el siguiente (Opcit 113);

$$RA = 2(\Pi)(a) \dots\dots\dots 2.5$$

por lo tanto la resistividad aparente es:

$$C = 2(\Pi)(\Delta v/ I) \dots\dots\dots 2.6$$

Se puede utilizar los mismos instrumentos en ambos dispositivos, no así las curvas, ya que se incrementan para este dispositivo llegando a una cantidad de hasta 2300 curvas de tres y cuatro capas; sin embargo, al igual que el dispositivo Schlumberger el Wenner cuenta con un software para la interpretación de resultados en gabinete. En la figura 2.3 se muestra un arreglo Wenner.

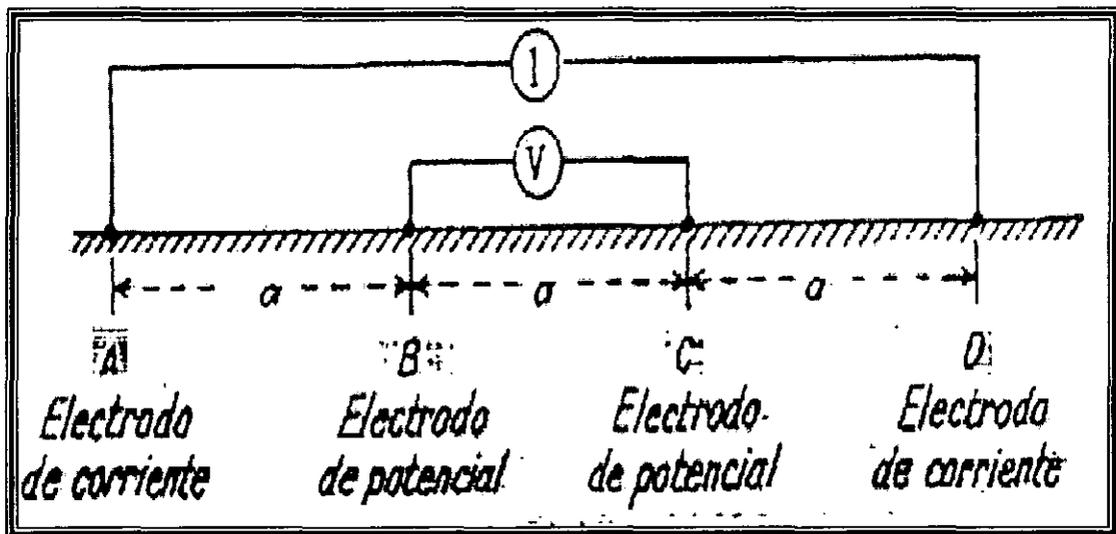


Figura 2.3. Arreglo Wenner, siendo " a " el espaciamiento empleado para los cálculos de resistividad. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

Generalmente las mediciones de resistividad deben realizarse cada 500 m sobre el trazo de la línea de conducción a una profundidad de 3 y 4.5 m en terreno natural. Si los valores de resistividad son menores de 4000 omh/cm las mediciones se deben realizar a cada 250 m como mínimo.

El papel es semilogarítmico ubicando a la resistividad en el eje de las ordenadas y las distancias en el eje de las abscisas.

2.7 Dispositivo de Calicatas

Aunque a esta modalidad prospectiva se acostumbra considerarle como método de investigación a profundidad constante realmente no lo es en el sentido estricto de la palabra y será más correcto decir *a profundidad aproximadamente constante* ya que la profundidad de penetración depende de la distancia entre los electrodos de corriente y de las características del terreno, por lo que aun dentro de una misma zona puede experimentar variaciones considerables.

Las calicatas son de gran utilidad para la localización de fallas y contactos verticales o subverticales, yacimientos minerales, fracturas, arqueología etc. Son muy numerosos y variados los tipos de dispositivos electródicos, casi todos tetraelectródicos, es decir, que casi todos pueden utilizarse en cualquiera de las investigaciones de esta clase (anteriormente mencionadas), y la elección de ellos dependerá en gran parte de las características de cada problema en concreto.

En general, los dispositivos pueden dividirse en dos grandes grupos atendiendo a la característica específica de los electrodos, es decir, los electrodos de corriente están fijos o se desplazan durante la realización del trabajo. En el primer caso se trata de los llamados dispositivos de campo potencial fijo y en los segundos dispositivos de campo potencial móvil; éstos últimos se emplean con mayor frecuencia. Se desplazan los cuatro electrodos manteniendo entre ellos la misma distancia relativa. Los más importantes dispositivos de esta clase son:

a) Simétricos. Son los mismos dispositivos Schlumberger y Wenner utilizados en los sondeos eléctricos solo que aplicados a calicatas.

b) Simétricos con repetición. Es el dispositivo denominado de Lee aplicados a calicatas, esto es, es similar al Wenner, con la diferencia de que en el Lee se sitúa un electrodo de medida E en el punto designado como estación O, haciéndose las lecturas entre el central y uno de los laterales, leyendo la condición del lado AM y comparando la conducción con el lado BN siendo idénticas en el caso de que no haya algún cuerpo con mayor conductibilidad

c) Asimétricos. Son los mismos del dispositivo Schlumberger o Wenner aplicados a calicatas.

La realización de un trabajo de calicatas eléctricas debe comenzar con la elección del dispositivo eléctrico más adecuado para cada caso en particular.

De acuerdo con el objetivo del presente trabajo los dispositivos que presentan mayores y más claras anomalías son los bipolares Schlumberger, ya que cada vez que un electrodo pasa sobre la heterogeneidad causada por las anomalías se produce una nueva alteración en la curva de resistividad aparente, siendo que cuanto menos electrodos tengan que atravesarla, mas clara será la citada curva.

Una vez fijado el dispositivo que se ha de emplear, las distancias entre electrodos también se fijarán con ayuda de algunos sondeos elctródicos de apoyo realizados previamente. Se concluye con la interpretación de las curvas de resistividad por medio del empleo de ábacos que permiten efectuar la interpretación cuantitativa de las anomalías observadas.

2.8 Prospección de polarización inducida

En los últimos años se ha experimentado un gran desarrollo en el método llamado de polarización inducida (P.I), ya que como inversión supera a los demás métodos de prospección geofísica minera.

Como principio consideremos que tenemos un dispositivo Wenner o Schlumberger de cuatro electrodos situados sobre el terreno y conectamos los electrodos de corriente a una batería. Sabemos que al cabo de un cierto tiempo puede medirse un voltaje máximo en los electrodos de potencial. Inversamente, si interrumpimos bruscamente la corriente aplicada el voltaje de los electrodos de potencial no cae bruscamente a cero, sino que tarda un cierto tiempo en desaparecer. A este fenómeno se le ha llamado de polarización inducida.

En forma similar se considera que los efectos de P.I. se debe a las mismas características de conductibilidad del suelo (metálicos e iónicos) luego entonces el fenómeno de P.I. resulta de la acción del bloqueo o polarización de estos conductores electrónicos en el medio de conducción iónica y ocurre precisamente en las intercaras en donde el modo de conducción cambia de iónica a electrónica.

Se han desarrollado dos métodos principales para medir los efectos de P.I. El método de impulso transitorio, en donde la polarización se detecta como una pequeña corriente amortiguándose, fluyendo después una corriente continua aplicada y desconectándose a intervalos regulares de tiempo, la medida real se cuantifica en términos de la pequeña cantidad de tiempo en que esta corriente fluye. La forma de realizar las mediciones es la siguiente, se utiliza la técnica polo-dipolo, que consta de dos electrodos de medida de potencial P1 y P2 y un electrodo de corriente B, fijado en el infinito variándose las distancias entre tanto electrodos como de dispositivos, dependiendo de la profundidad de penetración de la corriente deseada.

Se utiliza el equipo siguiente: para el circuito de excitación o de corriente se emplea un generador de corriente continua de unos tres amperios y un voltaje de 4000 a 6000 voltios. Los impulsos se regulan por medio de un contador de tiempo electrónico, el circuito de potencial constante se conforma de dos electrodos impolarizables, un circuito de integración dos amplificadores de corriente continua y un oscilógrafo registrando este último la polarización inducida y su relación con el tiempo.

En el segundo método, denominado de frecuencia variable, se efectúan las mediciones en términos de efecto producido por el cambio de frecuencia de la corriente aplicada y la polarización en el terreno. Se detecta por la disminución de la resistividad aparente cuando se aumenta la frecuencia de la corriente aplicada, midiéndose la frecuencia del porcentaje entre la impedancia a una frecuencia más baja y a otra más alta. El circuito ofrece una impedancia más baja a una frecuencia alta, por ello la diferencia porcentual entre las impedancias aumentará cuando aumente la polarización.

El dispositivo de electrodos utilizado es uno de tipo dipolo-dipolo que consta de cuatro electrodos y el otro es el de potencial manteniendo fija la distancia entre electrodos, La distancia entre ambos dipolos es un múltiplo entero de la longitud del dipolo. Se mide la corriente enviada y el potencial recibido que conjuntamente con un factor dependiente de la geometría del dispositivo utilizado para calcular la resistividad aparente. Esta lectura se hace en las dos frecuencias utilizadas, la baja de 0.05 ciclos por segundo llamado de corriente continua t la alta de 3,00 ciclos por segundo o llamado de corriente alterna. La energía eléctrica suministrada es por medio de un motor portátil que arrastra a un generador de 1000-1250 Watios. La segunda unidad esencial es el transmisor que es capaz de producir corriente a varias frecuencias, y en tercer lugar tenemos al receptor ,que es un potenciómetro muy estable y sensible sintonizado a las frecuencias seleccionadas.

2.9 Prospección electromagnética

Este método se basa en el hecho de que un campo magnético alterno inducirá una corriente en un material conductor, encontrándose una anomalía siempre que el campo se aparte de las características que debe cumplir un campo normal

El equipo consta de un transmisor y un receptor, el transmisor consiste en una bobina conectada a una fuente de corriente alterna, tal bobina produce un campo magnético a su alrededor, mientras que el receptor consta de una bobina de cable conectada a un voltímetro para poder medir el voltaje inducido.

Este método se utiliza en yacimientos de sulfuros; sin embargo, y ya que este mismo método responde a las propiedades eléctricas del subsuelo, es aplicable

a la localización de mantos acuíferos ya que son muy buenos conductores de electricidad.

La prospección electromagnética es muy utilizada para el estudio de cavidades kársticas que sirvan como galerías sumergidas que presentan conductos cilíndricos encajados en una masa resistente.

La prospección electromagnética *turam* tiene como principio el envío de un cable colocado sobre el suelo (línea base), y una corriente alterna de 110 a 440 ciclos. La corriente engendra en todas partes un campo magnético alternante llamado campo primario. Si se conoce la posición del punto de medida con relación al cable, teniendo este una forma geométrica sencilla, se puede calcular el campo.

En presencia de un campo conductor en el suelo, el campo magnético primario engendra en este último una fuerza electromotriz de inducción. De ahí surge un nuevo campo magnético de igual periodo que el campo primario pero desfasado llamado campo secundario. El método *turam* permite el estudio de este campo magnético secundario y por tanto fijar la posición del cuerpo conductor en el subsuelo. Se han utilizado dos métodos: el método de inducción clásico, y el método de la corriente por el Karst.

El método de inducción clásico. Trata sobre la línea de emisión (campo primario) que se instala a 150 metros hacia el oeste de la dirección conocida de la red Kárstica. En este caso la corriente inducida y el campo secundario son función del valor absoluto de la conductividad del agua subterránea contenida en la galería.

El método con retorno de la corriente por el Karst se basa en uno de los electrodos de la línea de emisión de la corriente, se sumerge en el río subterráneo a través de algún pozo, el segundo electrodo se implanta en la superficie de prolongación septentrional de la galería asegurando así el retorno de la corriente por el agua del río subterráneo. El mapa de las medidas pone en evidencia una zona conductora.

Como podemos ver, este método aunque es aplicable al estudio de mantos acuíferos, por sus resultados así como por el desarrollo que implica, se presenta con desventajas en el campo de la prospección sobretodo en el sentido del costo que implica todo el proceso.

A continuación se presenta la característica más sobresaliente de cada prospección.

Magnética	Este es empleado en la exploración de petróleo y minerales, emitiendo datos como espesor del yacimiento o incluso rasgos estructurales. Al no registrar el mínimo porcentaje de la magnetita en las rocas sedimentarias, lo dejan fuera en la búsqueda de mantos acuíferos.
Sísmica	Se basa en la medida de la propagación de las ondas en el suelo, se pueden utilizar para la detección de discontinuidades geológicas, aunque está limitado a profundidades medias, en el caso de prospecciones económicas.
Gravimétrica	Su operación está dada en la medida de la aceleración de la gravedad, sirve para localizar mantos rocosos; limitado al no detectar accidentes geológicos, no teniendo utilidad para estudios de detalle, siendo fácil de manejar los equipos pero muy difícil de interpretar los resultados. Se utiliza comúnmente en el reconocimiento general de grandes cuencas sedimentarias, combinándola regularmente con las prospecciones Geoeléctrica y Electromagnética.
Electromagnética	Se basa en la medición de la perturbación producida en una señal electromagnética a su paso por el suelo, llegando la señal hasta 1.5 veces la longitud del cable por el que se envía la señal eléctrica, permitiendo reconocer los diferentes materiales a su paso. Siendo menos vulnerable frente a discontinuidades, aventajando al SEV. Además es muy cómodo de utilizar.
Geoeléctrica	Su parámetro físico (conductividad) del agua, ayuda a medir la resistividad eléctrica que opone un material al paso de la corriente eléctrica, dependiendo de los espacios abiertos y del agua presente, lo que lleva a localizar con mayor certeza la profundidad y el volumen del acuífero.

CAPÍTULO**III**

CAPTACIÓN DE AGUA POR MEDIO DE POZOS PROFUNDOS

Uno de los factores a revisar durante la construcción de un pozo es cumplir con la NOM-003-CNA-1996 con la finalidad de afectar en lo más mínimo el medio. Por razones de orden se explican los métodos de perforación, comenzando con los elementos más importantes para después describir el proceso.

3.1 Normatividad en materia de prevención de la contaminación de acuíferos durante la construcción de pozos.

En este apartado se incluyen los aspectos más sobresalientes que contiene la Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996 *Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuífero*. En el apéndice A se reproduce íntegramente. La norma que recomienda la instalación de medidores compatibles con los volúmenes por extraer del pozo de acuerdo con la NOM-012-SCFI o usar dispositivos similares que cumplan con las normas vigentes. También se establece el requisito de instalar a un lado de la tubería principal un dispositivo para tomar muestras del agua extraída y otro dispositivo que permita medir la profundidad del nivel de agua en el pozo. Finalmente, es importante mencionar los documentos necesarios para que se apruebe el inicio de operaciones para la construcción del pozo por parte de la Comisión (CNA):

- a) Croquis de localización del pozo, indicando las posibles fuentes de contaminación.
- b) Registro eléctrico del pozo integrado por curvas de resistividad y curva de potencial espontáneo.
- c) Registro estratigráfico (corte litológico).
- d) Diseño final del pozo.
- e) Registros y memoria de cálculo, y resultado de aforo.

- f) Análisis físico-químico del agua que incluya determinación del pH, conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza total, calcio, sodio, potasio y sólidos disueltos totales.

La verificación estará a cargo de la propia Comisión o por algunas unidades de verificación acreditadas para tal efecto, que se basarán tanto en muestreos realizados directamente en el lugar como en el informe recogido en bitácora de perforación para que al final de cada informe se incluya la siguiente información: identificación completa del pozo con una fotografía del sitio, resultados obtenidos de las verificaciones nombre y firma del responsable, y fecha de ejecución de las verificaciones.

Una vez aprobada la perforación, la herramienta por utilizar y los materiales deberán de cumplir con la característica de calidad comercial. De manera rutinaria se cuidará que las fuentes de contaminación estén fuera de un radio mínimo de 30 m, aunque pudiera ser diferente, siempre que las autoridades del lugar así lo determinen con base en un estudio específico del sitio, previendo la influencia para diferentes tiempos; sin embargo, cuando el concesionario o asignatario no pueda cumplir con el radio mínimo, entonces deberá de presentar la propuesta correspondiente para evitar la contaminación del acuífero basado en estudios hidrogeológicos.

Previamente a la penetración de la herramienta de perforación deberá desinfectarse removiendo primero las sustancias adheridas a la herramienta. Durante la perforación del pozo se desinfectarán todos los elementos necesarios; para tal fin se deberá de aplicar la cantidad de desinfectante necesario para que la concentración del cloro en el agua sea de 200 miligramos por litro como mínimo. Una vez extraída el agua del pozo se tratará por cualquier método o solución aprobada por la Secretaria de Salud. Además se inducirá el contacto entre esta agua y las paredes del ademe, rejilla filtro y formación del acuífero. Es importante preparar adecuadamente los fluidos de perforación, ya que ni el agua ni la bentonita deberán de contener sustancias que alteren las características químicas del agua subterránea o incluso reducir las propiedades hidráulicas del acuífero. Siempre se evitará utilizar agua que contenga organismos patógenos, ya que el agua que se circulará por el pozo tendrá una cantidad de cloro que será desalojada por medio de bombeo de manera que no queden residuos del desinfectante utilizado, y que posean un pH menor a 6. De igual manera se planeará el retiro de residuos emanados de la perforación de acuerdo con la reglamentación federal o estatal, de modo que se restituyan al sitio sus condiciones originales.

En virtud de que el mayor riesgo de contaminación se presenta en el espacio entre paredes de la perforación del medio y el ademe, deberá considerarse lo siguiente:

1.- El ademe debe sobresalir del nivel del terreno natural cuando menos 0.5 m. Adquirir con calidad comercial tanto el cedazo como sus elementos de unión, y en caso de necesitar filtro granular éste no deberá de ser de material triturado así como tampoco deberá de tener un porcentaje mayor de 5% de material carbonatado.

2. - También será necesario el implantar un contra ademe, mismo que sobresalga 0.5 m del nivel del terreno con el fin de evitar la infiltración del agua superficial.

3. - Se deberá construir un brocal cuya forma exterior será la de un prisma cuadrangular cuyos lados tendrán una longitud igual al diámetro total superficial de la perforación, con una altura de 0.5 m a partir del terreno natural, adicionándole dos tubos para colocar el filtro granular. También se puede construir el brocal con la tapa removible exentándose de los tubos como se observa en las figuras 3.1 y 3.2 cuidando que tanto el plantilla como el brocal formen un solo cuerpo. Cuando el pozo es construido en un material consolidado entonces el ademe debe estar ahogado en el cuerpo del brocal, pero si se construye en un medio no consolidado entonces la separación entre el ademe y el brocal será de 0.0063 m. Cuando por razones técnicas el concesionario o asignatario considere otro diseño deberá de presentar la propuesta ante la Comisión para su aprobación.

Con respecto a la plantilla, ésta deberá de contar en la superficie con una pendiente de 2 %, de forma cuadrada, cada lado con una longitud mínima de 3 veces el diámetro de la perforación, contando con un espesor de 0.15 m de espesor desplantado a 0.05 m abajo del nivel del terreno, previo apisonamiento de este lugar. Además deberá de ponerse en consideración el nivel máximo de inundación registrada dentro de un periodo de 30 años así como la orientación geográfica y la elevación topográfica del sitio del pozo.

Para pozos de uso público urbano se deberá de contar con una caseta adecuada para el personal, que garantice la protección y buen funcionamiento del pozo. Con respecto a los restantes casos de uso se asegurará que cuenten con una cerca perimetral de al menos 3 X5 m² de malla ciclónica.

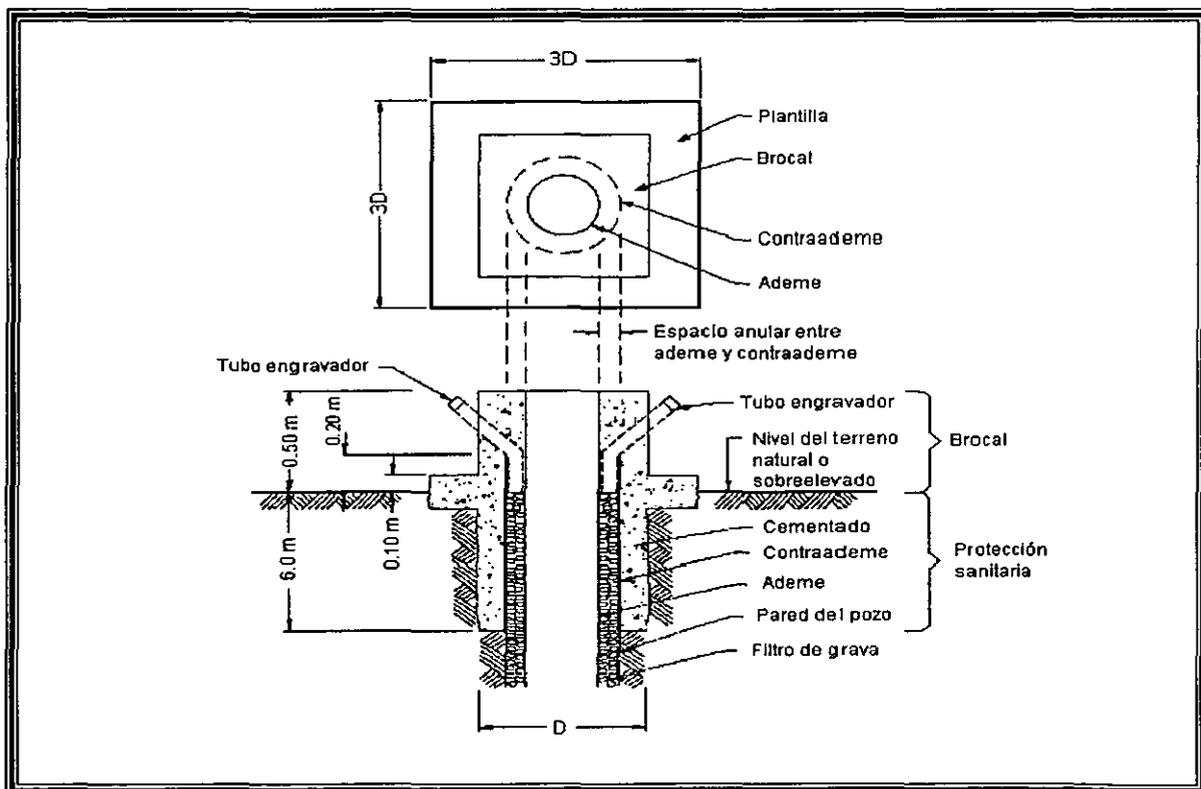


Figura 3.1. Brocal con ademe y contraademe embebido en concreto. Fuente: Norma Oficial Mexicana-003-CNA-1996.

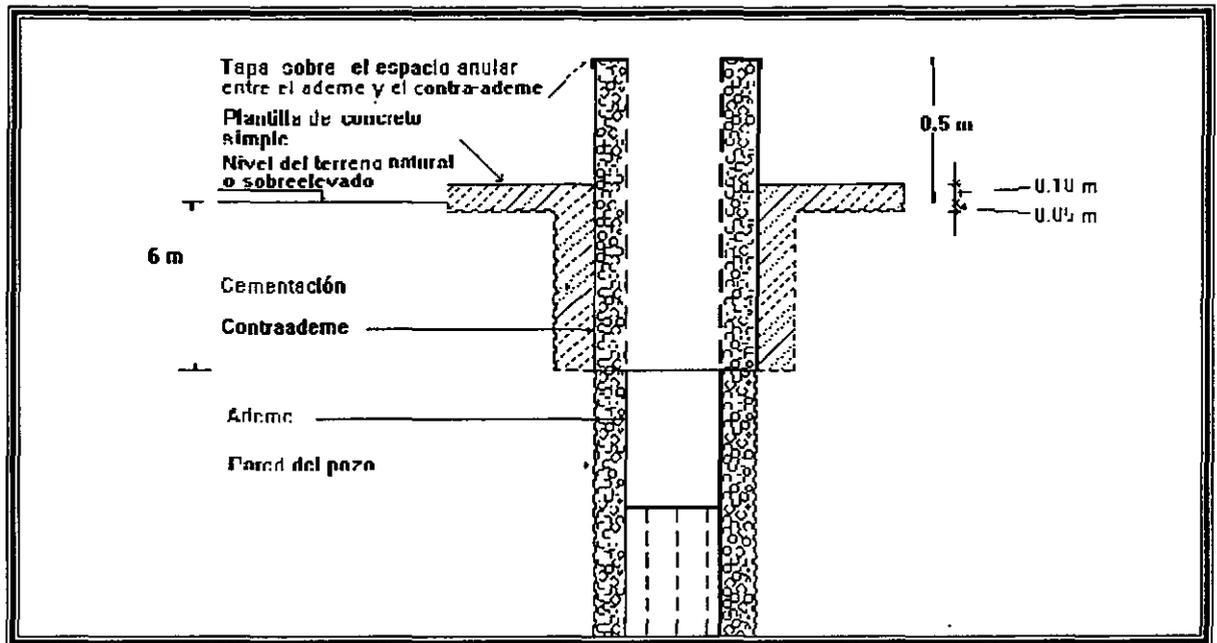


Figura 3.2. Brocal con tapa removible. Fuente: Norma Oficial Mexicana-003-CNA-1996.

3.2 Método de percusión

Para empezar es necesario conocer en qué campo funciona el método por percusión, y cómo salvar ciertos escenarios. El método de percusión se prefiere en la perforación de roca con cavernas, o con formaciones muy permeables. Sin embargo esto no quiere decir que sea tan eficaz en desechos aluviales y menos que no se sea aplicable a formaciones arcillosas.

El procedimiento de perforar con herramientas de cable consiste en levantar y dejar caer con regularidad una pesada serie de piezas, que forman la llamada sarta de perforación, al agujero que se va abriendo. Una de las piezas, llamada barreno o trepano, fractura la roca dura y la convierte en pequeños fragmentos; sin embargo, cuando se está perforando en materiales suaves y no consolidados el barreno también afloja el material. Para ambos casos la acción de vaivén de las herramientas y la aplicación de agua al agujero hacen que se entremezclen las partículas tanto las fracturadas como las desprendidas, y se forme una sustancia espesa (lodo), que se retira en forma sistemática, mediante una bomba de arena o bien por una cuchara, buscando con esto que no se acumule demasiada columna de lodo, ya que amortigua la caída de la herramienta, trayendo como consecuencia la disminución de la velocidad de penetración y por tanto el aumento del costo de perforación.

3.2.1 Herramienta de percusión

El equipo de perforación del método de percusión consta esencialmente de un mástil o torre telescópica, compuesta por dos secciones fácilmente isables que descansan sobre la máquina al ser transportada. La torre una vez en servicio cuenta con una doble línea de elevación, una para la operación de la herramienta de perforación o pesca y la otra para el cuchareo,

accionados por medio de un sistema de balancín con fuente de poder unidos por medio de un cable de acero cada uno de los servicios.

A continuación se describirán los elementos que conforman la sarta de perforación; dichas herramientas se integran mediante extremos roscados (con cuerdas) cumpliendo con Las características que establece el API (American Petroleum Institute):

1. El barreno o trépano.- Es la pieza destinada a ejecutar la perforación se considera la parte más importante de la sarta, componiéndose de las siguientes partes: piñón, cuello, cuadrado para llaves, hombros, paso de agua o canales de evacuación y filo cortante. Esta pieza tiene como característica el trabajar siempre bajo agua, favoreciendo así la disgregación de la roca y asegurando su enfriamiento ver figura 3.3. Es indispensable también el agua para la evacuación de los detritus en suspensión por medio del cuchareo. Existen varios tipos de trépanos de acuerdo con los materiales por atravesar, de los cuales se describen en seguida sus características sobresalientes:

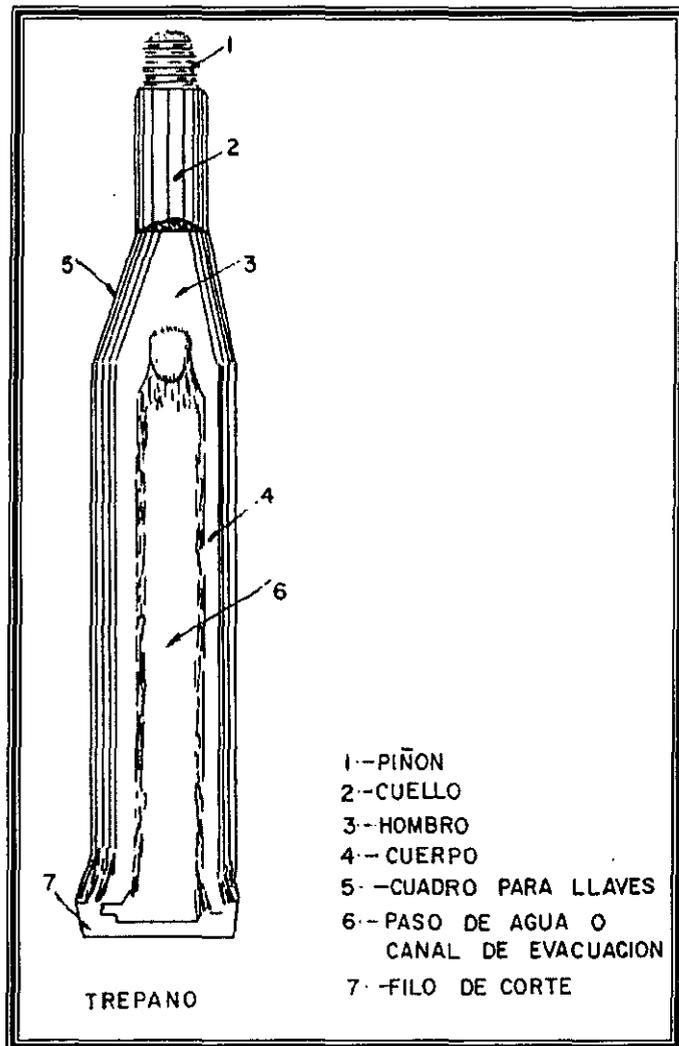


Figura 3.3. Esquema del trépano utilizado en la perforación por percusión. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

Barreno estándar.- Es el de uso más común ya que se emplea para cortar formaciones suaves o duras variando el tipo de afilado, este nunca pasa de las 8 pulgadas de diámetro, su uso esta restringido si no está calibrado y bien afilado para evitar que el diámetro del pozo vaya disminuyendo ver figura 3.3.

Barreno California.- Es de uso igual que el anterior diferenciándose sólo en el aumento del diámetro, y cumpliendo con las limitantes de uso.

Barreno de cruz ó estrella.- Se usa para perforar formaciones fisuradas ó inclinadas que tienden a desviar la herramienta de la vertical de trabajo. El cuerpo de éste trépano tiene cuatro pasos de agua y el diámetro de la sección del cuerpo es ligeramente menor que el área de corte. Los cuatro puntos de corte lo hacen un elemento particularmente efectivo para enderezar pozos. Para que su empleo sea eficaz debe ser correctamente afilado para tener un área de corte máxima.

Barreno corto.- Su finalidad es la de iniciar la perforación, siendo un barreno regular pero más corto y de menor peso, lo que permite ser guiado con mayor facilidad.

Barreno torcido.- Es un barreno California torcido y con el mismo perfil de éste, sus características lo hacen producir un mayor batido. Actúa como una bomba manteniendo en suspensión mayor cantidad de material pero además su ventaja de perforar de manera más derecha hace que su costo de operación se incremente.

2. La barra de peso.- Esta le imprime una carga adicional al barreno y el efecto de su longitud ayuda a mantener un agujero recto cuando se perfora en roca dura. Su colocación generalmente es después de las tijeras en los trabajos de perforación. Tiene en su parte superior una cuerda ver figura 3.4 que se acopla a la caja (entendiéndose por caja una cavidad con cierta forma apropiada para el acoplamiento firme de la pieza siguiente) de las tijeras y en la parte inferior una caja para la unión con la cuerda del barreno. Su diámetro y peso varían de acuerdo con los de la serie de piezas que integran la sarta, mismos que dependen de la capacidad del equipo de energía.

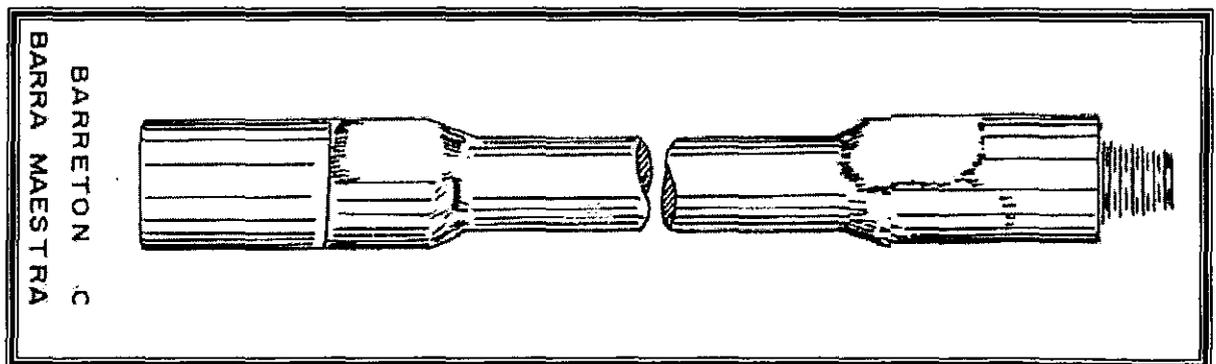


Figura 3.4. Se muestra la forma de unión que tiene la barra maestra. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

3. Las tijeras.- Estas se integran por un par de barras de acero articuladas, compuestas en su parte superior por una cuerda y en la inferior por una caja. Se utiliza cuando se está perforando en aquellos materiales en los que el barreno está propenso a quedar atrapado, de forma que al tirar de las tijeras aflojan las demás piezas, aunque se deberá de tener cuidado de no cargar más de lo razonable al cable o línea de perforación, ya que se corre el riesgo de que éste mismo falle por tensión, presentándose estos casos de atrapamiento en zonas cuyos materiales son plásticos generalmente.

4. Portacable giratorio.- Establece la conexión de las demás piezas con el mástil es por medio del cable de acero; además su peso suministra parte de la energía de los golpes ascendentes dados por las tijeras cuando se necesitan usar éstas ver figura 3.5. También es la generadora de un ligero giro transmitido hasta la base de la sarta por medio de la línea de perforación, mismo que levanta el material resultante del impacto suministrado por el trépano generándose la mezcla espesa.

Al cable de alambre que soporta las herramientas de perforación se le denomina comúnmente línea de perforar. Por lo general varía entre 5/8" y una pulgada de diámetro, siendo su torcido en sentido izquierdo. La línea de perforar se hace pasar por sobre una polea de coronamiento que se halla situada en la cumbre del mástil o torre, de donde desciende hasta el cabrestante llegando al tambor principal de arrollado. Mientras que el portacable tiene la entrada concéntrica para la línea de perforar cuyo diámetro permite alojar un mandril que sirve de unión a la línea de perforar con la serie de herramientas, teniendo por objeto permitir que estas últimas giren después de cada golpe.

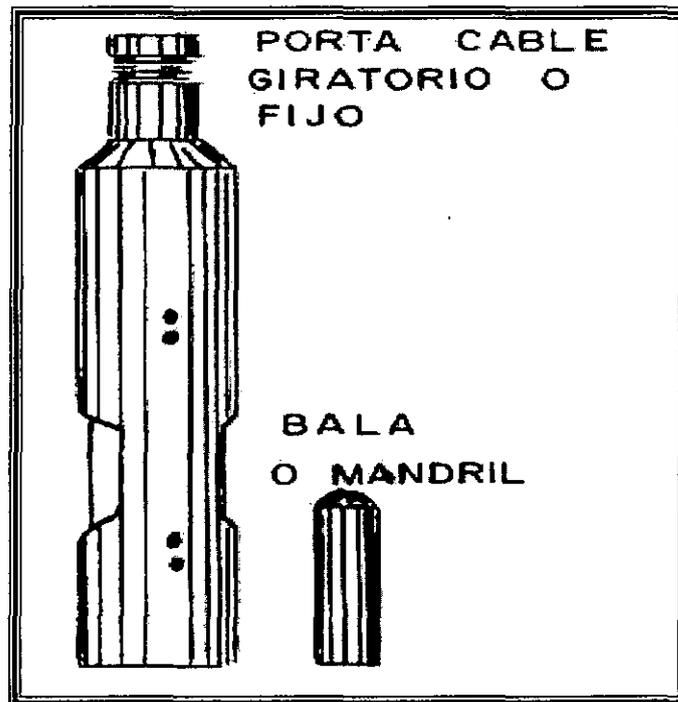


Figura 3.5. Se muestra el portacable utilizado durante las maniobras de perforación por medio del método de percusión. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

Es importante mencionar que el trabajo desempeñado por la línea de perforar es muy importante por lo que será necesario darle mantenimiento tanto preventivo como correctivo de manera periódica, desplazando el material que se haya adherido así como revisar las uniones a la sarta de perforación.

Las uniones de herramientas se realizan mediante una cuerda cónica de 4 ½” que ajusta en una cuerda hembra de 4 3/8”. Las cuerdas se fabrican de modo que se ajusten perfectamente sin dejar espacios libres. Debido a su importancia, las cuerdas son sometidas a un mantenimiento permanente durante su estancia en el campo de la obra de forma tal que se mantengan en perfectas condiciones. Sobresaliendo los siguientes cuidados: conservar libre de óxido la superficie, puliéndose con piedra de esmeril suave (de piedra pómez o lija fina) la superficie de las caras de fricción de las cuerdas hasta dejar totalmente suaves éstas últimas; Cuidar todas las uniones con protectores lubricantes cuando las herramientas no estén en uso, aunque en el momento de disponer de ellas para su colocación en el hoyo se deberá de remover de forma total, además de aplicar un desinfectante autorizado por la CNA. Estos cuidados se llevan a cabo cumpliendo con dos objetivos muy importantes: cumplir con la norma de seguridad NOM-003-CNA-1996, en materia de contaminación de acuíferos, y dar seguridad al momento de unir las piezas de manera que se unan herméticamente.

3.2.2 El cuchareo

El trabajo desempeñado por la pieza llamada cuchara es esencial, ya que remueve junto con el agua del pozo el material resultante de la operación de perforación. Dependiendo de las condiciones del medio se usa alguna de las cucharas construidas especialmente para este fin. Algunas se mencionarán a continuación:

Cuchara de fondo plano.- Es la más sencilla pero no la menos utilizada, ya que al sumergirla en el barro da excelentes resultados. Está constituida por un tubo en cuya parte inferior tiene la entrada del material por medio de una bisagra que se cierra por el propio peso del material, mientras que en la parte superior tiene una argolla de la que se suspende del cable de acero ex profeso para esta función, misma que recibe el nombre de “línea de cuchareo”.

Cuchara con válvula de dardo.- Aunque también sirve para el desalojo del barro, su acción se cumple cuando toca el fondo del pozo ver figura 3.8, ya que se abre la válvula y entra el material de abajo hacia arriba una vez llenada se levanta y se desaloja por medio de un tubo cuya entrada se encuentra en la parte media de su pared por donde se recarga la válvula de la cuchara que se abre al hacer contacto.

Bomba de arena.- sirve para desalojar el material granular (grava o arena) donde las cucharas anteriormente mencionadas no pueden levantarlo. Está compuesta por un tubo con una entrada de bisagra y un émbolo que trabaja dentro del cuerpo de la bomba uniendo la línea de arena con la parte superior del émbolo. Al momento de que baja la bomba va succionando el material; dentro de la cuchara, mientras que cuando el émbolo se levanta, va cerrándose el compartimiento de la bomba. Para descargar la arena en el lugar previamente señalado, se hace vibrar la bomba con el vástago del émbolo para ir abriéndose poco a poco.

3.2.3 Recuperación de la herramienta

La actividad de recuperar la herramienta de perforación se ha denominado “pesca de herramienta “. Aquí la experiencia es de valiosa utilidad, ya que si se cometiera algún error, por simple que parezca, podría causar que se hiciera imposible la recuperación de la herramienta, debido a que al no saber la posición de la herramienta lejos de aflojarla dentro del hoyo la estaría atrapando más, y si a esto se agrega el no tomar las medidas de seguridad pertinentes, entonces de lo que se estaría hablando es de una franca pérdida de la herramienta.

Por lo tanto, para evitar en la medida de lo posible algún error, se tendrá que trabajar primeramente en la elaboración de una pieza denominada “bloque de impresiones”, con la cual se conocerá la posición de la herramienta perdida dentro del hoyo. Para esto se necesitará una pieza cilíndrica de madera de 90 cm de largo por aproximadamente 19.5 cm de diámetro exterior, si el diámetro interior del hoyo es de aproximadamente 20.5 cm, una hoja de lámina de acero con dimensiones de 17 cm por 60 cm, un perno de 5/8” por 4 ½”, 900 grs de clavos de 5 cm y 10 barras de jabón amarillo. Una vez que se cuenta con el material necesario, se pasa a la elaboración del “bloque de impresión” que consiste en lo siguiente; se reduce uno de los extremos de la madera de forma tal que entre en el extremo de la cuchara la cual tiene dos perforaciones por donde atraviesa el perno, tanto a la lámina como a la madera, sujetándose ambas partes de la lamina se enrolla en el perímetro de la madera, dejando sobresalir 8 cm de superficie final; se colocan los clavos en la superficie interior del cilindro de madera, amasando el jabón y rellenándose con éste el interior del hueco formado por la lámina, fijándose esta masa por la acción de las cabezas de los clavos.

Se une el bloque preparado al dardo de la cuchara, bajando dentro del hoyo tratando de poner la cuchara firmemente en el fondo pero no demasiado fuerte, se alza lentamente la cuchara, retirando el bloque de esta última, observándose la impresión dejada en el jabón.

Es importante aclarar que con la información obtenida por medio de los estudios geológicos y geofísicos es posible tomar las medidas pertinentes para salvar de la mejor manera posible las zonas que impliquen algún atrapamiento de las herramientas o bien implantar medidas como las de usar las tijeras de perforación mencionadas anteriormente para estratos arenosos o muy arcillosos ya que para este último caso se presenta una adherencia entre la herramienta de perforación y el ademe. Aunque también para este caso se puede usar el destrabador, mismo que afloja las piezas que forman la sarta de perforación, su aplicación estará restringida al grado de atrapamiento, ya que se pudiera obligar a la falla de la línea de perforación, en caso de llegar a ser alto el grado de atrapamiento.

Por su parte, la sarta de pesca esta compuesta por una barra de peso de 3 m, las tijeras de pesca y la herramienta de pesca, que se definirá cuando se haya puesto a trabajar el bloque de impresiones.

Para el caso en que el trépano no se ha desprendido de la sarta de perforación. Se usará como herramienta de pesca la denominada “pesca – herramienta por fricción”, que

trabaja sobre la herramienta perdida por medio de golpes que ejerce sobre esta última, después se jala la línea de perforación para que paulatinamente se vaya recuperando.

Para el caso de desprendimiento de la barra de peso junto con el trépano o bien solo este último del resto de la herramienta, se utiliza la herramienta de pesca “pesca – herramienta de cuñas”, estas cuñas son de dos dimensiones: para el primer caso son de 4 3/8” para sujetar la parte del hilo hembra destruido de una barra de peso y de 4 1/4” para sujetar la parte del cuello de la cuerda macho del trépano o tijera de perforación. Se recomienda el empleo de esta herramienta de pesca cuando el escenario fue ocasionado por derrumbe o material perforado.

Cuando se requiere sacudir la herramienta perdida por medio de la herramienta de pesca sin tener desconfianza de que se pueda soltar, se usa el “pescador de combinación” el cual sujeta del cuello de la herramienta con un juego de cuñas para su mejor agarre en el momento del movimiento de recuperación.

Cuando se produce una falla en el cable, como el corte de éste, ya sea de la línea de perforación o bien de la de cuchareo, se usará el arpón para recuperar el cable. Esta herramienta consta de una barra de acero de sección cuadrada teniendo en sus caras, a diferentes alturas y alternadas, unas espigas del mismo material de la barra con los cuales engancha al cable, permitiendo levantarlo con la herramienta hasta la superficie.

3.2.4 Proceso de perforación

Una vez que se cuenta con la herramienta de perforación, y buscando en todo momento el trabajar de manera económica, se colocarán todas las herramientas sobre tabloncillos a una distancia de entre 6 a 7 m de la perforación, de manera que la unión (cuerda) macho quede apuntando hacia la máquina, con el propósito de que al momento de izar la tubería se realice en el menor número de movimientos posible. En virtud de que la unión de la tubería es parte esencial para cumplir con la normatividad, al menor costo posible, se deberá tener una supervisión desde la llegada de la fábrica pasando por el periodo de almacenamiento y hasta su colocación. Se deberá evitar que a la llegada se golpeen las cuerdas al momento de bajar los tubos y también, durante su colocación, entre ellos. Durante el almacenamiento se les dará el lijado y lubricado de manera, permanente siguiendo las recomendaciones hechas anteriormente sobre la base de la normatividad existente en la materia.

Por lo que respecta al equipo como es el de soldadura eléctrica y autógena y todos sus accesorios, se habilitarán lugares para su seguro resguardo, también se designará otro lugar para la herramienta de orden general como lo es la de llaves para apretar, pulidores para el mantenimiento de la tubería, etcétera.

El siguiente proceso es proporcionar un adecuado apoyo a la máquina perforadora, consiguiéndose por medio de vigas de 6” por 8” y por 8’ o de 6” por 8” y de 4’, colocadas longitudinalmente, de manera muy especial en la parte trasera, ya que es aquí donde se descarga el mayor peso del equipo y también se reciben vibraciones durante las operaciones de perforación. Cuando viene montada la maquinaria en un camión se puede lograr suspender en el aire las llantas traseras, excavando debajo de las mismas, para que las vigas reciban el peso trasero del camión. En el caso de tener un suelo suelto se construirá

DEPARTAMENTO DE PERFORACION DE POZOS
CONTROL GENERAL DE LA PERFORACION - HOJA # 2

FECHA INICIACIÓN PERFORACIÓN: MÁQUINA:

FECHA TÉRMINO PERFORACIÓN: POZO #

PERFORISTA: LUGAR:

DIÁMETRO POZO:

DIÁMETRO ADEME:

HERRAMIENTAS	LONGITUD	LONGITUD	LONGITUD	LONGITUD	LONGITUD
PORTACABLE					
BARRA DE PUNO					
TRÉPANO					
TIJERA					
LONGITUD TOTAL BARTA					

TUBERIA - ADEME		
COLUMNA	LONG. PARCIAL	ACUMULADA
ZAPATO		
TRAMO 1		
" 2		
" 3		
" 4		
" 5		
" 6		
" 7		
" 8		
" 9		
" 10		
" 11		
" 12		
" 13		
" 14		
" 15		
" 16		
" 17		
" 18		
" 19		
" 20		
" 21		
" 22		
" 23		
" 24		

MUESTRAS		
NO	DESDE	HASTA
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		

RESUMEN:

PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO: NAPA(S) APROVECHADA(S):

LONGITUD DE RESILLA O ZONA RANURADA: ABERTURA:

Aforo efectuado con bomba: DIÁMETRO DE SUCCIÓN:

DIÁMETRO DE DESCARGA: LONGITUD COLUMNA DE SUCCIÓN:

NIVEL ESTÁTICO: ABATIMIENTO: GASTO:

TIEMPO DE AFORO: TOMA DE MUESTRA DE AGUA:

RELLENO ARTIFICIAL DE: DIÁMETRO: DIÁMETRO:

SELLO: MATERIALES PROFUNDIDAD:

DESINFECCIÓN CON: CANTIDAD:

OBSERVACIONES: (SE ACOMPAÑA CROQUIS DEL POZO TERMINADO)

Figura 3.7. Formato No 2 con el que se lleva el control diarios de los trabajos. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

Para ambas hojas se anotará la fecha e inmediatamente después las firmas correspondientes del jefe de obra y/o gerente general de la empresa. El llenado de las hojas estará a cargo del operador.

Para el ordenamiento de las muestras tomadas durante las diferentes condiciones de la operación se habilitará un cajón con casilleros que estén numerados. Cada una de estas muestras estará acompañada de la profundidad respectiva, de las que fueron extraídas, ver la figura 3.8 a).

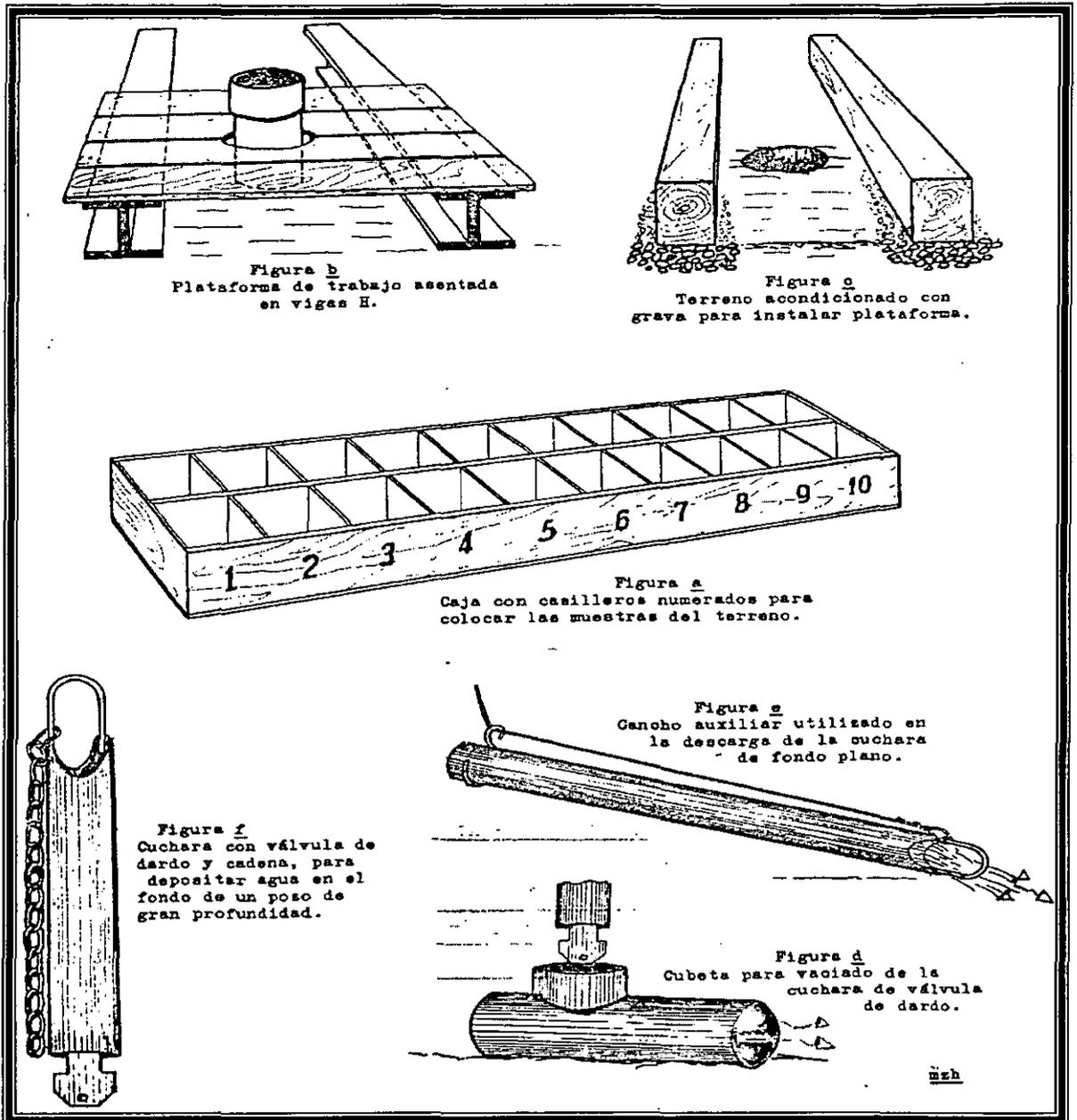


Figura 3.8. herramientas utilizadas en la perforación por el método de percusión. Fuente:Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

Además, para tener un lugar seguro de trabajo éste deberá de estar limpio, para esto se instalará una plataforma alrededor de la máquina, misma que constará de polines de madera sobre una capa de grava unidos a tablonces que descansen sobre de estos últimos ver figura 3.8.

Una vez que se cuenta con el camión (si es que viene montado el equipo en éste) bien estabilizado y también bien nivelado se procede al levantamiento de la línea de perforación por medio de latorre, sujetando la misma en sus apoyos, se pasa después a la unión del primer miembro de la sarta (porta cable) al extremo del cable de perforación (línea de perforación). En gran parte del proceso de perforación se necesitará revisar el buen proceso que hasta entonces se ha recorrido. Así es como hasta aquí es posible verificar la verticalidad de la torre o bien la horizontalidad de la máquina. Esto se lleva a cabo de dos formas: por medio de un nivel de carpintero o nivel de burbuja ya sea apoyado sobre la plataforma de la máquina o bien sobre algún poste (vertical u horizontal) de la torre o mirando por el centro de la torre, al cable unido al porta cable que se alinea exactamente con el cable que baja de la polea que corona a la torre.

Si la torre se encuentra a nivel en su vertical “ plomeada “ se pasa a la unión de las herramientas de perforación, conectando primero la cabeza golpeadora en el extremo superior del trépano, después se conecta la barra maestra al trépano; esta tarea se lleva a cabo por medio de la llave de cuadro, para apretar o para aflojar, teniendo especial cuidado en el primero, ya que el acoplamiento se inicia con las manos. Ya listo para levantar se adaptará el protector de cable, finalizando con el levantamiento de la herramienta completa para perforar.

No obstante que ya es posible iniciar la perforación, no es recomendable, debido a que es mejor ordenar la cuchara con su respectiva grapa Crosby y acercarla a la línea de arena, así como habilitar (si así fuese necesaria) la tubería, esta última con sus cuerdas hembra y macho bien limpias y protegidas, al menos durante el tiempo que permanecerán en espera para ser integradas a la tubería de perforación.

Para empezar la operación se deberá evitar que la velocidad sea igual o mayor de la que normalmente se aplicará en la perforación y agregar agua en los primeros 30 o 60 cm de la capa superior, ya que ésta capa generalmente tiene humedad aunque algunos operadores hacen caso omiso de estas recomendaciones produciendo un lodo pesado dificulta el desplazamiento del trépano.

Una vez marcado el lugar exacto del pozo y realizados los trabajos previamente descritos, se procede al levantamiento de la herramienta lo suficientemente alto para permitir colocar el primer tramo de tubería, alzado a mano, de manera que este último guíe el inicio de la perforación del hoyo, Es conveniente aclarar que para los subsiguientes tubos a levantar se hará uso de la polea y el elevador una vez usado éste como no está la polea unida al sistema eléctrico para trabajar ya que por medio manual se maneja y para que podamos tenerle suspendido éste se amarrará a una estaca clavada, al menos a una distancia de 5 m del frente de la máquina.

Una vez que se ha avanzado cierto tramo del pozo, se baja la tubería hasta el fondo verificando por medio del nivel de carpintero la verticalidad de la tubería, corrigiendo de manera casi inmediata algún simple error de verticalidad, por medio del desplazamiento de la base del tubo sobre su zapata.

Concluida esta actividad el ayudante le emitirá la señal correspondiente al operador, lo que asegura su intervención y por ende la puesta en marcha del mecanismo de perforación cuya velocidad deberá de ser baja, esta condición de operación se denomina “perforando con la

línea tirante” consistiendo en la compresión del amortiguador al momento de que baja la sarta disipando esta energía en la trituración del fondo del hoyo, este último produce un chasquido detrás de las herramientas comúnmente llamado golpe de coscorroneo. Aquí es donde se libera el giro de la sarta en el sentido opuesto de la torsión del cable de acero, mismo que barre en el interior del hoyo.

El operador ya experimentado pone especial cuidado en la velocidad de avance (diferente en cada tipo de estrato) ya que se corre el riesgo de atrapar la herramienta en el ciclo de retorno lo que ocasionaría el tensar el cable pudiéndose romper. Inclusive si el avance en la base del pozo es mayor que el cable soltado, produciría a la larga el mismo resultado.

Sin embargo, el buen operador en atención al comportamiento del movimiento del cable estará en condición de poder determinar si el filo del trépano está chocando, incluso si está llegando de manera desuniforme (presentándose en formaciones como: grietas, voleos, etcétera) reaccionando de la siguiente manera: fijando el freno a una determinada tensión inicial del cable para después ir soltando el cable de manera intermitente – previamente aflojando el freno aunque cabe mencionar que este procedimiento no es privativo de este escenario, porque también algunos operadores recomiendan que para roca muy dura sea aplicado el golpeteo de la misma forma.

Lo que ocasiona que las herramientas se desvíen a un costado de la roca o bolón y ya que contamos con información previa, misma que acusará a esta formación consolidada a más o menos a cierta profundidad, se procederá a alejar la tubería del ademe varios metros para evitarle a la misma tubería daños que implicarían desde el no obtener el mayor caudal disponible para ser extraído hasta dejar inconclusos los trabajos de perforación. Pero como la información previa no tiene la exactitud que deseada para esquivar con cierta distancia a estas rocas, en ocasiones cuando se dispone de dinamita y personal adecuado, es posible realizar al menos una detonación dentro del macizo rocoso por un método que más adelante se explicará.

De manera parecida aunque en otro sentido para el caso de estratos arcillosos se maneja la perforación por medio del número de golpes por minuto de forma que no se ponga en riesgo la sarta de perforación. Así es como se recomienda que para permanecer dentro del rango de la seguridad, el número de golpes sea de 40 por minuto mientras que para el caso de roca firme, buscando las mismas condiciones de seguridad, se recomienda hasta los 60 golpes por minuto. Se ha demostrado que en estratos arcillosos el avance es mayor en diámetros grandes ya que el peso de la herramienta influye de manera decisiva.

Una vez que se transmitió la carga de la herramienta al material, esto mediante el aflojamiento y observándose que la herramienta ya no gira con la misma contundencia, clara y vibrante, se hace necesario el desahogar el material presentándose dos casos: generalmente el primero es cuando se trata de material arcilloso el cual cambia su densidad de manera rápida mientras que para el segundo material, pétreo, no. Lo anterior implica una maniobra de cuchareo más rápida para el primer caso que para el segundo. Sin embargo, para poder realizar esta última actividad eficientemente es necesario elegir la cuchara que tenga como principal característica el abarcar el área del hoyo de manera que se eliminen los dos o tres viajes que significan más tiempo en su ciclo ya que para bajarlos se requiere más tiempo (por

ser livianos) lo que implicaría aumentar los costos de la misma tarea. Es importante que no se trabaje el cuchareo de manera inapropiada ya que muchos perforistas creen que no es necesario el cumplir con el ciclo completo de esta actividad al incumplir con la limpieza sistemática de la cuchara sobre todo cuando la arcilla se impregna en las paredes de la cuchara.

Hasta aquí no se ha requerido el aplicar al hoyo un cierto volumen de agua ya que generalmente los primeros 30 o 60 cm no lo requieren por haber humedad propia. Pero pasando de esta profundidad se recomienda que el nivel del agua sea el suficiente para poder cubrir el trépano y un tercio de la barra de peso.

Por lo que respecta al cuchareo de material sólido más el agua que se agrega existen dos tipos de cucharas: la denominada de fondo plano, que se ha caracterizado por ser pesada y de diámetro pequeño, cuyo vaciado se realiza por simple levantamiento del fondo del mismo hasta quedar completamente horizontal y en la dirección deseada, y la que se conoce con el nombre de cuchara de válvula de dardo, vaciada dentro de un tubo cuya entrada está debidamente habilitada por un lado de su longitud para que al llegar la base de la cuchara se vacíe y salga inmediatamente por uno de sus extremos.

Lo importante de estos dos tipos es que el trabajo desarrollado dentro de la perforación es el mismo, ya que la actividad que realizan estando por un momento dentro del pozo, es el siguiente; llegar al fondo, después levantar en un lapso de un segundo para enseguida dejarla caer; esta misma se repite una segunda vez, para que por último se levante la cuchara hasta la superficie donde será recibida por el ayudante, quien la dirigirá manualmente hasta su lugar previamente acordado.

En realidad el avance que se tiene por el método de percusión está en función de factores que a continuación se listan:

1. - Experiencia del operador.
2. - Condiciones del trépano y en general del equipo.
3. - Presión hidrostática en el fondo del pozo.
4. - Tamaño del pozo que se está perforando (diámetro).
5. - Dureza de la roca.
6. - Profundidad del pozo.
7. - Condiciones locales, (pliegues, grietas, cavernas, bolones, etcétera.).

Cuadro 3.1. Avance aproximado de perforación para diferentes materiales.

MATERIAL	METROS
Arena movediza	10
Grava	10
Esquisto pegajoso	6.5
Esquisto arenoso	16.5
Arcilla pegajosa	10
Arcilla arenosa	23
Piedra arenisca dura	6.5
Piedra arenisca blanda	25.0
Conglomerado	6.5
Pizarra	27.0
Dolomita	5
Granito	4
Roca metamórfica	8
Lava	4
Cantos rodados	5

Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

Dentro de la experiencia y considerando los factores antes mencionados, existen estimaciones en la velocidad de perforación basadas en pozos cuyo diámetro es de 6 pulgadas y de una jornada de 8 horas, bajo condiciones normales de perforación:

A pesar de la experiencia del operador las torceduras de pozos no están exentas de existir especialmente debidas a:

- a) Rocas metamorfoseadas, que están enlazadas y cortadas por empalmes fallas y planos de clivaje.
- b) Lechos de cantos rodados.
- c) Piedra caliza, con cavernas subterráneas grietas y capas delgadas rellenas con arcillas.
- d) Formaciones inclinadas de rocas, en superficies de depósito no consolidados.

De hecho el pozo por cantos rodados disminuye su diámetro llegando a presionar la herramienta usando la sarta de pesca y no como muchos lo intentan, con el destrabador, ya que se corre el riesgo de que se rompa el cable.

Aunque algunos operadores realizan las operaciones de perforación simultáneamente: perforar, cucharear e hincado de tubería de ademe, la secuencia viene siendo la misma, lo que no debe de hacerse, a menos que existan casos especiales, es utilizar el hincado para perforar ya que se presentan dificultades para poder responder con el peso de la sarta a la carga que se requiere para hincar, además de forzar las uniones ocasionando condiciones desventajosas para el mismo hincado de la tubería. Sólo hay que determinar las distancias en que se suspenden las grapas sobre la cabeza golpeadora, la cual ha sido colocada directamente sobre la tubería de

ademe, se dice que la cabeza recibe la alta tensión del choque producido en cada golpe de las herramientas a más o menos 13 cm.

Existen casos en que se atraviesan lentes de arena, identificándose con el apretón del medio y aún más con la acción de las herramientas de perforación o bien con la cuchara que se encuentra dentro del pozo. El operador lo identifica ya que se afloja más de lo normal la línea de perforación o el cable de cuchareo. Sin embargo, es posible salvar este caso por medio de integrar arcilla y agua a la arena que se encuentra en el pozo introduciendo la herramienta para formar un fluido espeso desalojado enseguida por el cuchareo normal.

Un caso parecido se presenta con arcilla plástica, que es muy difícil de remover siguiendo el procedimiento antes mencionado por lo que se opta por utilizar el hincado para perforar y la herramienta para ir desprendiendo el material de la base del ademe, desalojando normalmente con la cuchara el material removido, siguiendo atentos la manera en que reacciona la tubería a los golpes de hincamiento.

Anteriormente se presentó el caso de un bolón salvado por medio de una pequeña mona (cartucho de dinamita). Para colocar la carga explosiva, se hace descender por dentro del ademe una sarta para tubería de 20 cm de diámetro medidos por dentro de la tubería, dotadas de guías centradoras, la guía centradora inferior debe fijarse a unos tres metros o más por sobre el extremo inferior del tubo de 35 cm, esta distancia le permitirá introducirse a la misma tubería de 20 cm dentro del nido del manto rocoso, una vez concluida esta tarea el explosivo se baja por el tubo de 20 cm colocándolo en el fondo del pozo que se encuentra en el corazón de la roca, después de este trabajo se cubre con arena y agua el pozo de este último para evitar que ascienda la detonación por este mismo, la detonación se realiza por medios eléctricos. En ocasiones la carga no es suficiente para fragmentar el manto rocoso, por lo que se opta por la repetición del proceso.

Una vez listo el medio para que penetre la herramienta de perforar se prosigue a la introducción del tubo con su zapata, teniendo cuidado de que esta última no entre de manera justa ya que en roca el movimiento ocasionado produce un reacomodo paulatino, provocando que se apriete la zapata lo que originaría la utilización de las tijeras golpeadoras, lo que no es conveniente ya que los experimentados en esta tarea plantea una afectación en la operación global de un 25 % mismo que significa un incremento en la erogación total alrededor de 10 % por consumo de sueldos y energía principalmente.

3.3 Método de perforación rotativa

El método de perforación rotativa fue desarrollado en los albores de la exploración y explotación del petróleo. Por su diámetro y profundidad alcanzados así como por la velocidad, dejó en segundo lugar al método por percusión en materiales arcillosos y limosos.

Consiste en perforar el suelo mediante la acción rotativa de un trepano y remover los fragmentos que se producen por medio de un fluido que continuamente se hace circular. El trepano se fija al extremo inferior de la sarta de perforación, mientras que el lodo es bombeado desde la superficie hasta el fondo del pozo y de aquí es removido junto con los detritos generados con la acción de la herramienta de perforar.

3.3.1. Herramienta rotativa

El equipo varía según las condiciones de perforación y el tamaño del pozo. El que se describe en este trabajo es el más comúnmente empleado.

La base en la que se apoya la maquinaria, es el bastidor sobre el camión o remolque, sobre patines. El bastidor consiste en dos largueros de canal estructural unidos por canales o vigas tipo I colocadas transversalmente, la unión es por medio de soldadura eléctrica, colocando en la parte superior de esta estructura una placa de acero estriada antiderrapante sujetándose de la misma manera que la estructura. En los largueros se realizan una serie de barrenos necesarios para sujetar el bastidor sobre al camión o sobre los patines.

El motor es a diesel y se localiza cerca del operador. Tiene como principal tarea inyectar la potencia al mecanismo de perforación, siendo de arranque eléctrico.

La torre generalmente es de una sección aunque pueden ser dos unidas entre sí. Cada una consta de cuatro columnas reforzadas con barras transversales y diagonales cuya unión es por medio de soldadura eléctrica. Para su nivelación se cuenta con extensiones en los apoyos traseros (patas traseras), mientras que en las delanteras está acondicionada con tornillos niveladores.

En la parte superior cuenta con tres roldanas cuya función es deslizar la cuerda de acero, una roldana es para maniobrar la perforación, otra es para el cable del elevador y la última sirve para el cuchareo; estas están plegadas y también protegidas en conjunto. Para trabajar se usa la fuerza del motor.

El sistema de cabrestante sirve para recoger el cable de maniobra y el del cuchareo, aunque su sistema de cada tambor está dividido para que se realice de manera independiente su mantenimiento sin necesidad de desarmar el sistema total.

El tambor de maniobra o principal consta del embrague con freno cuya capacidad de almacenamiento de cable es el suficiente para la tarea encomendada.

El tambor de cuchareo consta de un embrague y freno con suficiente capacidad para arrollar el cable necesario tanto para el cuchareo como para el levantamiento de herramientas livianas, su localización es delante de los demás.

El funcionamiento del tambor auxiliar, es independiente, además de que su diseño es para utilizar cuerdas no metálicas, es útil para conexiones entre barras de perforación así como del enclavado de cañerías.

Una de las piezas fundamentales en el proceso de la perforación es el denominado “cabezal de perforación”, integrado por el cabezal rotatorio, el mecanismo alimentador de potencia y el desarmado mecánico de uniones. Mismo que toma su fuerza del motor por medio de un embrague y una caja de cambios.

El cabezal rotativo es el dispositivo que se encarga de cambiar el sentido del movimiento suministrado por el motor a la barra de perforación.

El mecanismo alimentador de potencia está localizado en la parte superior del sistema hidráulico.

El desarmado de uniones sirve para desarmar las uniones de la barra de perforación, por medio de la fuerza suministrada por el motor.

Las barras de perforación también conocidas como de sondeo en el campo de trabajo y en el mercado, se fabrican en varios diámetros y longitudes así como de diferentes tipos de unión ver figura 3.9. Los más comunes por su facilidad de manejo son los que tienen tres metros de longitud, cuya unión es por medio de cuerdas, procurando que en sus extremos siempre estén acompañados de sus protectores; durante su manipuleo se examinarán de manera que no exista desgaste que ponga en riesgo la operación.

La longitud de la barra es importante, ya que debido a los esfuerzos producidos por éstas durante la perforación ponen en riesgo su condición original ocasionando la fatiga del material y con ello la posibilidad de perderla o cuando menos de realizar operaciones largas y costosas de pesca.

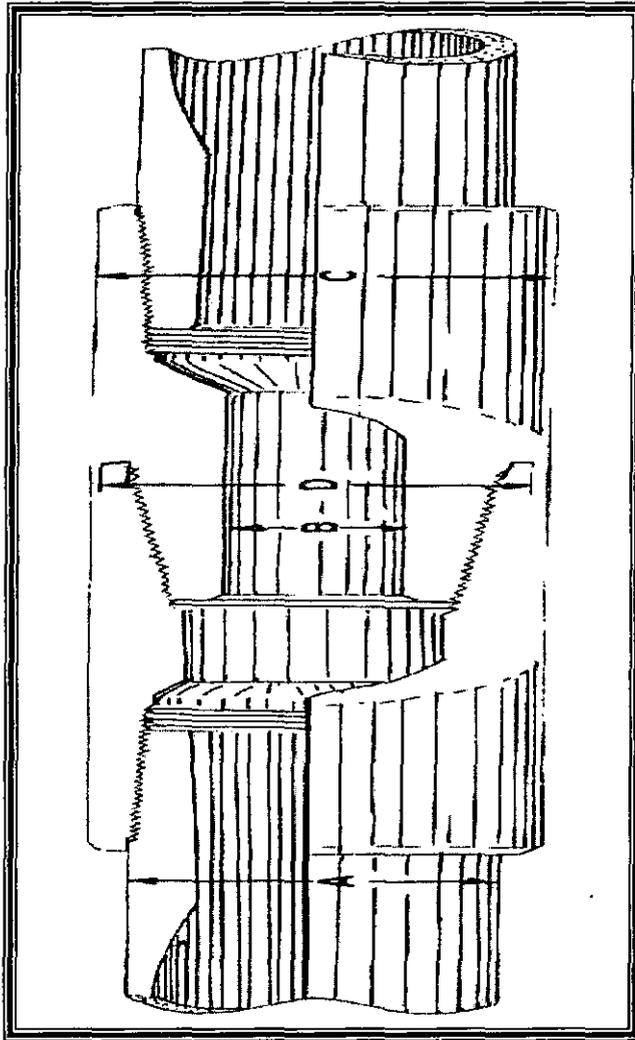


Figura 3.9. Se muestra la unión y la forma en que se toman las dimensiones de la mismas. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

El espabilado es la conexión que tiene como objetivo sellar las uniones contra posibles fugas, así como impedir que las uniones queden demasiado apretadas. Se realiza por medio de un pabilo o cordón de algodón que viene de seis hebras mismas que se separan de dos en dos o de tres en tres hebras. Cada una de éstas se retuercen entre sí y se amarran alrededor de la base de la unión de acoplamiento impidiendo que el pabilo quede en la cuerda de unión.

La grapa de bocapozo y cuñas se emplean para sujetar la barra de perforación cuando se separa el vástago giratorio para añadir o quitar barras. La grapa es una especie de tubo con agarraderas pero con longitud cónica cuyo tramo permite introducir junto con la barra la cuña. Esta última también con agarraderas que viene en juegos o pares de cuñas su parte que tiene contactos con la barra está acondicionada con dientes que al tratar de desplazarse el tubo por su propio peso éstas lo presionan sosteniéndolo firmemente. Es importante que estos dientes estén libres de lodo o grasa de modo que abracen de la manera más segura el tubo.

La barra de peso o portamecha es una barra de acero de aproximadamente tres metros de longitud, cuya colocación es inmediatamente arriba del trépano. Su propósito es añadirle peso extra al trépano en el proceso de contacto con el material a remover pero además ayuda a mantener la verticalidad de la sarta.

Los adaptadores se utilizan para unir piezas con diferentes tipos de cuerdas. Uno de los más comunes en las obras es el adaptador que cuenta en ambos extremos con cuerdas hembras o bien cuerdas macho, otros también muy usados son los mixtos. No es recomendable utilizarlas de manera generosa en una columna de barras, aunque no fuese necesario es importante poner especial atención en su mantenimiento (limpieza y lubricación) pero sobretodo en su correcto ajuste.

Con respecto a los trépanos. En este sistema de perforación se emplean generalmente dos tipos: el de rodetes dentados usualmente denominado trépano para roca y el denominado de arrastre. Los trépanos para roca o también llamados trépanos de cojinete ver figura 3.10 producen acción cortadora y trituradora, ya que al momento de rotar como pieza única, también sus dientes llamados conos giran, mismos que están acondicionados con un chorro de agua cada uno (de estos rodillos), este chorro circula del interior del trépano hacia los dientes de los rodillos. Existen dos tipos de trépanos para roca que se mencionarán.

El de roca suave se caracteriza por tener dientes largos con espacios anchos en los rodillos; para rocas duras los trépanos se distinguen por tener dientes más bajos y menos separados, también porque los cojinetes se aflojan de la base del trepano, como los dientes del cono. Es muy importante tener precaución en estos escenarios, ya que si se llegara a soltar el cojinete del trépano se tendría que recuperar por un proceso tardado de pesca, evitando que el trépano introducido se deteriore en vano porque sería inútil su trabajo.

Estos perforan mediante dos, tres o cuatro rodillos o conos dentados que ruedan y se deslizan sobre el terreno. Los tres principales son:

El tricono o trépano de cono, es el trépano de tres rodillos idénticos cuyos ejes están separados unos 120° . Estos rodillos no son rigurosamente cónicos, uno de los rodillos es clasificado como central encargado de deslizarse de manera más pronunciada ya que los restantes son los encargados de alinear el contorno de la perforación. Tiene como característica importante el que avanza muy lentamente en terrenos duros.

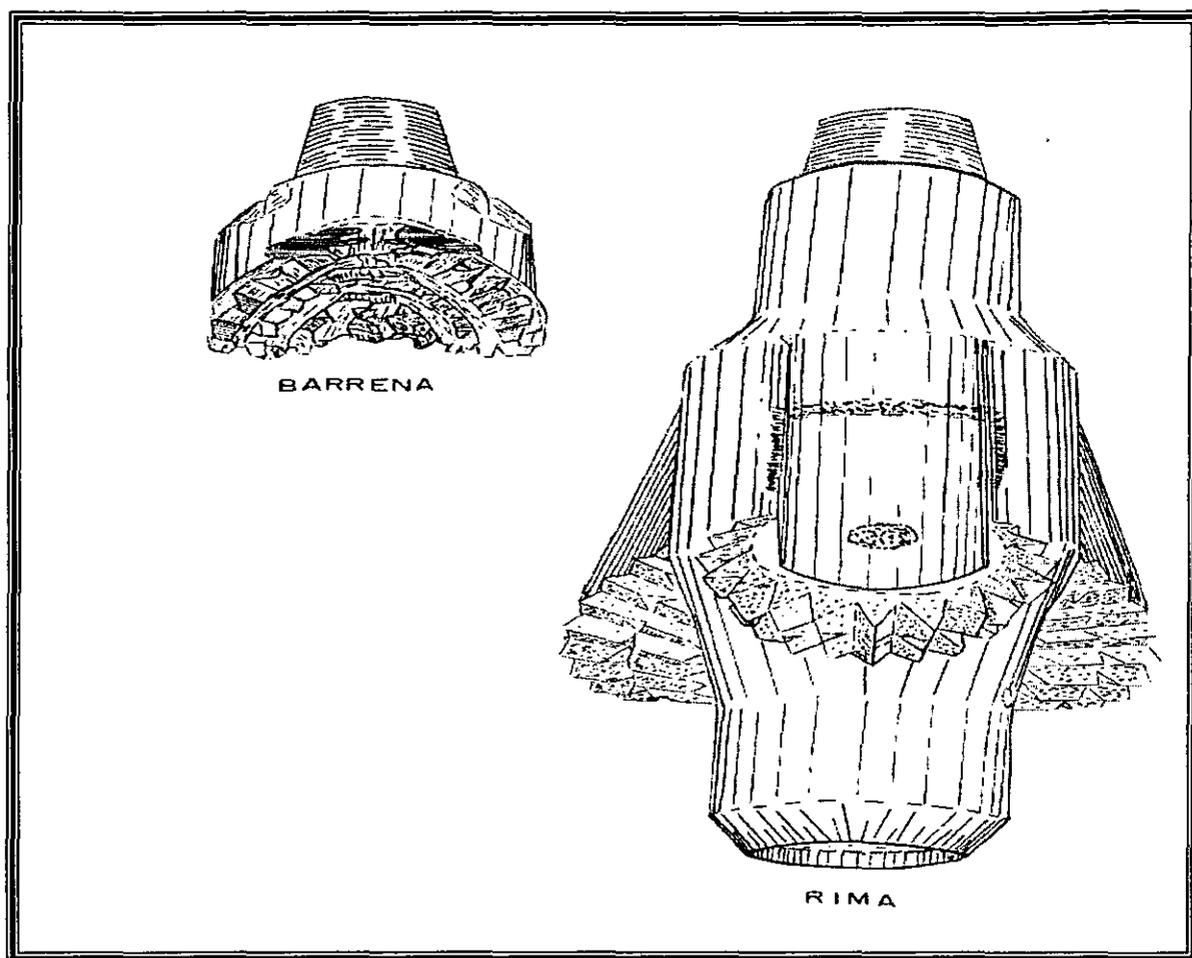


Figura 3.10. Se muestra una de las formas que pueden utilizarse durante la perforación por rotación. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

El trépano de cuatro rodillos tiene dispuestos a unos 90° entre sí dos rodillos que sirven para perforar la parte exterior del pozo; éstos tienen un diámetro grande. Los otros dos son pequeños y alargados por lo cual pueden realizar su misión de barrenar en la parte central.

Por su parte, los trépanos de arrastre se caracterizan por tener aletas cortas (son sus paredes del trépano con una cierta prolongación que lo hacen ver con forma de aletas de pescado), éstas están fabricadas especialmente para que resistan la abrasión así como el impacto por el choque con el material granular del medio, dándoseles el tratamiento de forjado en cuyo diseño se contempla la entrada de eyectores cortos por medio de los cuales se enviará agua que tendrá como principal función la de enfriar el trépano y remover el material impregnado por la rotación del mismo.

El trépano denominado “cola de pescado” es fabricado en acero y cubierto en sus filos de un metal que deja a la superficie más dura, mientras que en sus esquinas se refuerza con incrustaciones de carburo de tungsteno. Aunque estos refuerzos le ayudan a desarrollar su poder cortante en los materiales antes mencionados, no evita que en el momento de encontrarse con formaciones duras el filo se pierda y se vuelva lento el progreso; esto se debe

a que el material utilizado tiene una alta resistencia a la compresión (de unos 10 000 kilogramos/ centímetro al cuadrado) aunque su resistencia al choque viene siendo muy baja.

El mantenimiento constante es importante ya que el achatamiento de la punta de la cuchilla es frecuente. Dicho mantenimiento consiste en afilar por medio de discos o piedras para desbastar (hechas de sílice) cuando lo permite el espesor del recubrimiento, pero si existe desprendimiento de la cubierta o de partes de la pieza en sí, entonces se optara por rellenar y/o soldar por medio del equipo de oxiacetileno para después desbastar el terminado irregular hasta dejar una terminación lo más cercano al filo original.

Por otro lado, también se utiliza el trépano de tres aletas en formaciones irregulares tendientes a desviar la herramienta, teniendo un avance más lento que el anterior aunque con la misma respuesta en materiales duros así como en su mantenimiento.

Por su parte el trépano de seis aletas es muy semejante a los dos últimos solo que con más aletas, su aplicación es en formaciones más desventajosas; ya que para arenas cementadas el filo del trépano se desgasta más rápido. Aunque en el caso de afilar las puntas de las aletas se sigue el mismo procedimiento que en los anteriores casos.

Los trépanos para núcleos están aplicados a formaciones rocosas que van de medio a muy consolidados. Su borde cortante está formado por diamantes (conocido como corona) formados en dos grupos: los duros, identificados por su color opaco, y los blandos de color claro o cristalino. En la operación al momento del corte influye de manera decisiva la relación entre la velocidad de rotación mínima y la presión ejercida sobre cada piedra de la corona, así como de qué material se trata. Conforme se vaya avanzando sobre el material el espacio interno del trépano es ocupado por el material cortado. Durante los trabajos se va notando por experiencia que el lugar más vulnerable son los lugares por donde sale el fluido para el enfriamiento.

3.3.2 Herramienta para la circulación de inyección

La bomba de impulso es una parte esencial para la circulación del lodo. Empleándose de manera general el equipo dúplex con pistón de doble acción. La forma de trabajar es de la siguiente forma: del tanque de almacenamiento de lodo se succiona a través de la cabeza de inyección transportándose mediante la manguera hasta llegar a la barra de perforación, que transporta la inyección por el interior del pozo, saliendo por encima de la cabeza del trépano a través de perforaciones dirigidos hacia las paredes que se irán removiendo por la acción del trépano

Tanques y canaletas en primer lugar se deberá determinar su ubicación de los dos tanques que conforman el almacenamiento del lodo, ya que están en comunicación todo el tiempo, por medio de canaletas por donde circula el lodo que sale del pozo acompañado de los detritus, en segundo lugar se construirán tanto tanques, de sedimentación como de almacenamiento; las dimensiones de estos tanques están en función de la profundidad y del diámetro del pozo. Para un pozo cuyo diámetro es de 6 pulgadas y de más o menos 100 metros de profundidad, el tanque de almacenamiento tiene dimensiones oscilan entre 7 metros de ancho por 1.5 metros de largo y un metro de profundidad, mientras que para el tanque de

sedimentación tiene 3 metros de ancho y 1 metro de largo por 1 metro de profundidad ver la figura 3.11.

Para el tanque de almacenamiento se deberá de considerar el hecho de que la cabeza de succión no estará en contacto con la base del tanque, debido a que durante el proceso de perforación se estaría succionando materia sedimentada de la excavación, por lo que se considerara el hecho de clavar dos barras en forma de cruz de manera que sobre de estas se descansa la cabeza de succión. Acción que coadyuvara al menor deterioro de las bombas y en general del equipo de bombeo.

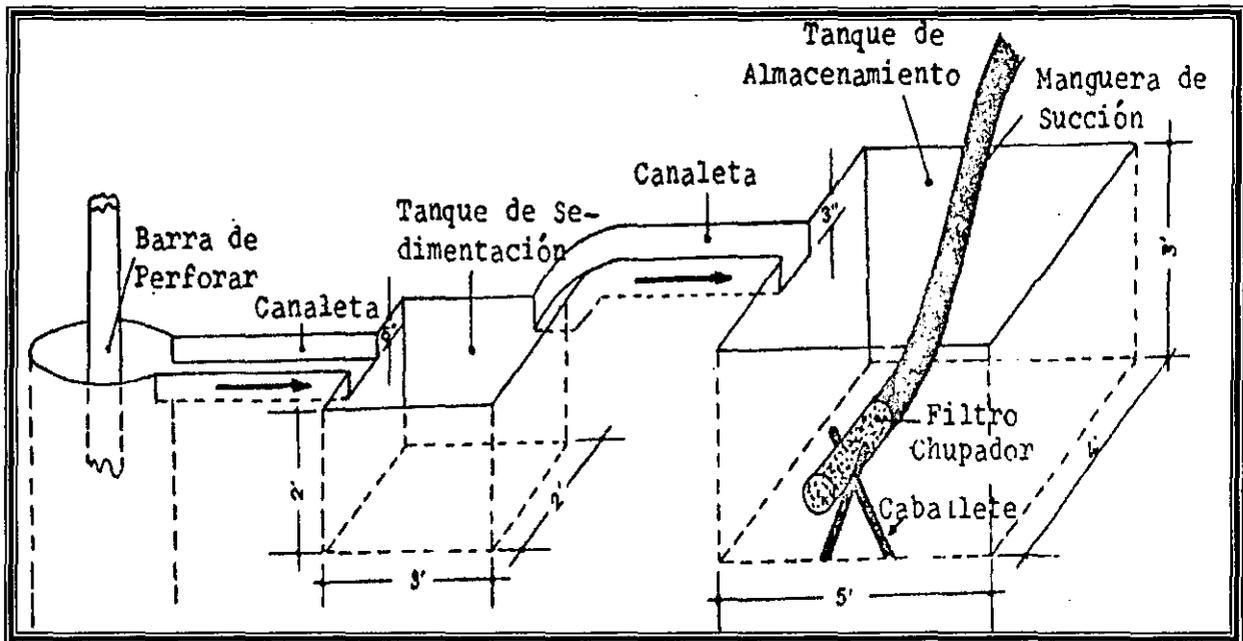


Figura 3.11. Diseño de la canaleta y tanque de sedimentación que abastecen al tanque de almacenamiento de la inyección requerida por la manguera de succión. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

Eslabón giratorio ó cabeza de inyección.- Es un dispositivo que sirve de unión entre el tubo de perforación y la manguera que lleva la inyección succionado del tanque de almacenamiento. Esta carcasa se encuentra suspendida por medio de un eslabón que carga toda la sarta de perforación. En el interior de la carcasa se encuentran empaques intercambiables que sirven para evitar fugas entre las partes móviles mismos que se apoyan en cojinetes cuya lubricación deberá de ser suficiente para evitar al máximo el desgaste durante la acción de perforación. En el extremo inferior se encuentra la unión por medio de una cuerda por la que se unirá el vástago giratorio de perforación.

El vástago giratorio.- Este es la pieza de unión entre el eslabón giratorio y la barra de sondeo su composición permite resistir tanto el esfuerzo de compresión como el de rotación, unido en su extremo superior con el eslabón giratorio por medio de la cuerda ya sea macho o hembra y por el extremo inferior con la barra por medio de la cuerda contraria a la primera.

Para su colocación en el eslabón giratorio se hace uso del tambor de maniobra mismo que va acompañado por la barra de sondeo.

Mangueras.- Es el sistema por medio del cual circula la inyección, se emplean las siguientes cuatro tipos de manguera:

Manguera de inyección.- Su estructura esta reforzada con alambre que le permite resistir altas presiones en su interior así como también la acción abrasiva del material, se localiza entre el tanque regulador y la cabeza de inyección. Su cuidado incluye el evitar ser doblada y/o golpeada.

Manguera del tanque de inyección.- Básicamente su estructura es la misma que la anterior, sin embargo su función es diferente ya que esta conecta la salida de la bomba con el tanque regulador, siguiendo los cuidados antes mencionados.

Manguera de succión.- Esta permite el succionar el inyector del tanque de almacenamiento, su estructura es de alambre recubierto de plástico resistente al dobles y ala abrasión del inyector, la unión es a base de grapas especiales de acero así como también va acompañada por niples de cuerda, esta seguridad es necesaria por que se debe de evitar la entrada de aire misma que llegara a la bomba.

Manguera para mezclar el inyector.- su diseño se basa para resistir altas presiones por lo que en su interior se encuentra una malla de alambre, uniéndose a base de cuerdas.

3.3.3 Accesorios

Cables para el cuchareo.- Normalmente se usa cable de 3/8 de pulgada de diámetro y longitud necesaria para la profundidad de la perforación. Al final se encuentra el enchufe para ser integrados al eslabón giratorio o el portamecha. El mantenimiento consiste en evitar que se golpee con algún objeto pesado, que permanezcan en rollados en los tambores en forma desuniforme, ya sea por traslapes o torcedura, considerando que el lubricado sea con productos de alta calidad y su lubricado sea continuo.

Pistón de extracción.- Esta herramienta se emplea en el desalojo de la inyección que se encuentra en el pozo una vez que la tubería y el filtro han sido instalados. La forma en que se maneja es por medio de dos anillos de goma que son los que separan de las paredes del tubo a la boquilla del pistón succionando cuando va bajando y cerrándose cuando contrariamente cuando va subiendo. Además de ser fácil de manejarlo deja una terminación de apariencia manual.

Achicadores.- Se utiliza para probar la producción de los acuíferos y para extraer la arena y sedimentos más grandes del pozo, su trabajo lo realizan por medio de una válvula que extrae el material del fondo del pozo.

Herramienta de pesca.- En esta parte al igual que en el anterior método de perforación, la experiencia del personal es preferible, ya que de esta depende el avance o el detenimiento del proceso de perforación (en el caso de pérdida o no de herramienta) aunque a lo largo de la aplicación de este método se han desarrollado una gran gama de herramientas de pesca que en

general se usan preferentemente algunas en forma continua, algunas que a continuación se describirán:

Macho cónico.- Esta herramienta funciona básicamente como broca y como machuelo, en su parte superior tiene cuerda para conectarse a la barra de perforar, su cuerda cónica de acero la hace muy resistente así como herméticamente segura, durante el proceso de barrenación el material resultante de esta acción es desalojado por medio de unas perforaciones, una vez avanzada la barrenación en la pieza pérdida se intenta levantar lentamente y con cuidado analizando el comportamiento de esta acción, ya que si la herramienta esta enterrada por el material que se fue sedimentando se tensara la línea de pesca llegando incluso a desprenderse la punta del macho cónico de la pieza enterrada. En caso que esto llegara a suceder se tendría que volver a intentar la misma acción, hasta lograrlo.

Campana de pesca.- Esta herramienta es de forma cónica el tratamiento que lleva su material lo hace ser más duro que el material con el que está hecho el tubo de perforación, razón por la que se le añadió a todo a lo largo del mismo en su interior unas filosas cuerdas acompañadas de ranuras por donde se libera el material resultante de la acción rotatoria de esta herramienta pesada enzima de pieza pérdida. En su parte superior cuenta con cuerda por medio de la cual se conecta con la barra de perforar. Su funcionamiento es delicado ya que si desde su inicio empezó con cierta inclinación y en su trayecto se vuelve a inclinar se pueden producir quiebres en los primeros dientes de la cuerda que inicio el corte de la pared de la pieza perdida.

Pescador a mordazas de Agarre exterior con circulación.- Tiene esta herramienta como objetivo el introducir dentro de ella misma la pieza a recuperar. Precisamente a esta función se debe su especial forma, ya que esta formado por dos piezas unidas por medio de cuerdas (hembra y macho). La parte superior tiene una sección cónica en la que en su interior se encuentra un empaque de goma colocada en su periferia de la sección y unas mordazas listas para expandir su abertura y apretar en el momento de jalar o levantar la herramienta detonada esta acción por el peso propio de la herramienta pérdida

3.3.4 Análisis granulométrico

Al terminar el pozo en formaciones acuíferas no consolidadas o poco consolidadas hace falta colocar un dispositivo de admisión denominado rejilla para retener los materiales sueltos, permitir que el agua entre al pozo del material fino durante el bombeo.

Durante mucho tiempo se han detectado pozos que tienen una baja eficiencia debido a una inadecuada construcción de la rejilla. Lo que nos indica la importancia del diseño de la rejilla, especialmente en lo referente al tamaño de aberturas, ya que estos responden a la graduación de las arenas o mezclas de arenas y gravas que componen la formación acuífera.

De manera general se ha encontrado que para diseñar las rejillas de la mejor manera es mediante la consideración de los tres pasos siguientes.

a) Tener un muestreo detallado de los estratos de la formación.- Esto implica preparar en forma homogénea la muestra extraída del pozo de sedimentación, después se realiza la reducción de la misma por medio de la división en partes iguales (generalmente cuatro)

b) Cuidadoso análisis de la submuestra por métodos estandarizados. Tomando una sola parte de esta división, se preparan los tamices a utilizar, en forma de columna o de serie quedando el de abertura mayor en la parte superior y el de menor en la parte inferior colocando la charola en la base de éstas. Se pesa la muestra seca anotando éste valor y se vierte en el tamiz superior de la serie, se agita el conjunto total de forma circular durante diez minutos deteniendo el movimiento para verter el material retenido por el tamiz superior en un platillo, mismo que se pesa inicialmente, llevando a la balanza para leer el peso del material. Se anota el valor del peso contra el tamaño de abertura de la malla.

Se toma el siguiente tamiz y se vierte la porción de la muestra retenida en éste, sobre el material que ya se encuentra en el platillo de la balanza, anotando ahora el nuevo peso llamado acumulado. Continuando la operación de la misma forma hasta el material retenido en la charola.

c) Selección del tamaño de la abertura. Mediante el ordenamiento de los resultados semejantes del inciso anterior, para después dibujar los resultados de la siguiente forma: La ordenada representará el porcentaje retenido mientras que en la abscisa la abertura de la criba, conectando los puntos obtenidos mediante una curva suave.

3.3.5 Rejillas

Es el dispositivo por medio del cual se retienen los materiales sueltos, permitiendo la admisión del caudal, mismo que será bombeado a la superficie. Para la colocación de la rejilla es necesario definir el medio en que va a estar trabajando de manera que se adopten las medidas pertinentes antes y durante su colocación con el fin de aumentar la permeabilidad del pozo y mantener una aceptable eficiencia durante su vida útil.

En general durante las perforaciones se han clasificado a grandes rasgos el tipo de formación en: formación no consolidada en especial cuando se trata de materiales arenosos así como de gravas, otro caso es el de formaciones consolidadas con fallas que la hacen receptora del vital líquido. En ambas es aplicable el colocar la rejilla que cumpla con el diseño previamente definido en base a los resultados de los estudios previos a la perforación del pozo.

Podemos decir que la selección de la rejilla está en función de las siguientes características:

1.- Abertura de la rejilla, de manera que no obstruya el paso del caudal al momento de que los materiales circundantes tapen las ranuras. Una de las formas para conseguir la correcta abertura es utilizar la rejilla cuya ranura crece de tamaño conforme avanza hacia su base o interior del pozo.

2.- Distribución uniforme de las ranuras de manera que sea fácil el paso del agua hacia el interior del pozo y de manera muy especial el lograr eficientemente el desarrollo del pozo.

3.- Utilizar rejillas cuyo material sea resistente a la corrosión incluso que eviten las incrustaciones.

4.- Ser razonablemente económica. Es común utilizar alguno de los siguientes tubos ranurados de manera que se cumpla con el mayor número que coadyuven al cumplimiento de la normatividad:

a) Rejilla de ranura continua.

Esta formada por una maya cuya perforación en su ancho y es de forma triangular, contando con una serie de varillas que refuerzan su interior dando forma continua de manera que el agua pasa de forma directa, convirtiéndola en la rejilla con la mayor área abierta posible, sin que deje a un lado su resistencia durante y después de su instalación. Permitiendo el efectivo desarrollo del pozo, siempre y cuando el ancho de la ranura sea el adecuado al material que estará rodeando a la rejilla. Normalmente el ancho es calculado en base a la granulometría del material que compone el acuífero o bien del relleno de grava que se coloque, su formación es ideal para formaciones arenosas ya que forman una capa que no obstruye el paso del agua de manera importante lo que lo hace efectiva en cuanto a que los minerales no descienden de manera precipitada. Para su unión se cuenta con elementos que se adapten en sus extremos, resistiendo las maniobras duras durante su colocación dentro del pozo.

b) Rejillas de persiana.

Esta maya esta hecha por medio de ranuras troqueladas en la misma lamina cuyas hiladas se orientan verticalmente teniendo el acceso en la parte inferior de cada ranura. lo que le permite realizar las dos tareas simultáneamente (el detener el material circundante y permitir el paso del agua sin demasiada pérdida de carga) sin que se ponga en riesgo la resistencia durante la operación de manejo y la permanencia dentro del pozo. Aunque si es importante saber llevar acabo el desarrollo, ya que si no se las condiciones adecuadas no se realizara con éxito esta tarea, ya que el propio tamaño de la ranura y en un medio arcilloso se llega a reducir tanto el área efectiva que con el tiempo la velocidad de entrada se va reduciendo afectando el caudal extraíble.

c) Rejillas de puentecillos.

El ranurado es muy similar a los anteriores solo que para este caso la ventaja más sobresaliente es el hecho de su alta resistencia para trabajos en medios abrasivos aunque en medios naturales se presentan algunas dificultades en cuanto a su forma de colocación ya que el troquel de estas ranuras van introduciendo el material adentro del tubo con forme se va bajando este último.

d) Rejilla con tubo base.

En este caso la maya cuyos orificios son de forma trapezoidal se arrolla en alrededor de un tubo previamente perforado. originando una especie de canal alrededor de la sección circular que bien puede servir para enlazar la serie de tubos. siempre que se utilicen anillos de plásticos que sirven como separadores, evitando estos la corrosión entre metales. por lo que corresponde al desarrollo del pozo se presentan dificultades al momento de aglomerarse arena y grava en las ranuras de la maya.

De manera general podemos concluir que en cuanto a los criterios que un perforista considera para seleccionar la rejilla adecuada son:

La longitud óptima de la rejilla es función de la geología y la hidrología de la zona de emplazamiento ya que debe de ser tan larga que permita el oscilamiento del nivel dinámico de manera que no quede algún tramo seco, con objeto de que no se disminuya su vida útil.

En cuanto al tamaño de su ranura esta se basa principalmente en el estudio del medio original por medio del análisis granulométrico tomadas al perforar el pozo así como también se considero el relleno de grava, el perforador se fija de manera interesada en el medio ya que esta información indicara los estratos en que esta dividido el acuífero, por lo que indicara el tipo de ranura para cada estrato ajustándose en toda la rejilla.

3.3.6 Instalación de la rejilla

Durante la terminación del pozo la colocación de la rejilla esta precedida de la cementación del tubo de revestimiento y complementada por el desarrollo del pozo. Analizando la instalación de la rejilla en función del método de perforación empleado encontramos el siguiente proceso:

Para pozos perforados con equipo de percusión, encontramos dos submétodos.

El método de retracción.

Es la manera más simple y segura de instalar una rejilla. Se inicia este método con la colocación de la entubación hasta la base del pozo, en donde también llegara la base de la rejilla. Previo a esta colocación última se extraerá mediante el cuchareo la arena sedimentada. La rejilla estará provista de un cierre de plomo en la parte superior mientras que en su base permanecerá cerrada. Una vez colocada la entubación se posiciona la rejilla en la boca del pozo listo para ser bajado dentro del tubo, deteniendo la rejilla mediante unas cuñas de madera para que se manibre más rápidamente al engancharla y bajarla.

En seguida se recupera la línea de cuchareo(se tensa la línea) para usarla en el levantamiento de la tubería de revestimiento, hasta unos 30 centímetros por abajo de la parte superior de la rejilla, procediendo a la expansión del cierre de plomo localizado en el inicio de a rejilla por medio de un bloque cónico presionando a este último contra la tubería de revestimiento. Una vez concluido esta acción se puede empezar con el desarrollo del pozo.

El método de Asentamiento.

Básicamente es el proceso es el siguiente, se instala la tubería de revestimiento llegando hasta la base del pozo introduciéndose por medio de este último la rejilla mediante el tubo guía de cuchareo, el cual se enrosca en una zapata misma que se coloca hasta la base de la rejilla unidas por medio de un juego de cuerdas. En seguida se extrae la arena o el material localizado dentro de la rejilla, por medio del cuchareo al finalizar esta fase se introduce un tapón de plomo dentro del tubo guía con objeto de que obstruya la parte superior de la zapata, desconectando la base del tubo guía de la zapata procediendo de la misma forma que e en el método anterior, procediendo al cierre por medio del anillo de plomo y luego al desarrollo del pozo.

3.3.7 Pozos perforados por medio del método rotatorio

Método de retracción.

Se sigue de manera parcial el procedimiento empleado para pozos perforados por el método de percusión, ya que la inestabilidad de la tubería debida al entorno del medio obliga a sostenerla desde la superficie durante el desarrollo, mientras que para la rejilla se afianza mediante el material granular que forma el relleno ya sea natural o artificial.

Aunque en ocasiones no es posible llevar a cabo la colocación de la rejilla por este método sobre todo porque la maniobra requiere cierto dominio de las herramientas que simultáneamente están en operación incluso el prever el comportamiento de la formación durante esta tarea es muy necesaria, para realizar eficientemente dicha actividad.

Método del sondeo sin revestir.

Inicialmente se da por hecho que el pozo ya está perforado hasta el inicio de la formación acuífera, por lo que se coloca la tubería de revestimiento dentro de este último para después cementarla de manera exterior. Continuando enseguida con la perforación del pozo dentro de la formación acuífera hasta la profundidad señalada en el diseño considerado poniendo énfasis en las características de la inyección a emplear en este tramo.

Cabe mencionar que el jefe de la perforación tendrá un dominio de la profundidad a que se encuentra cada elemento de la herramienta utilizada, ya que al momento de levantar la tubería de revestimiento se necesitará que el traslape entre ésta y la rejilla sea de aproximadamente de 30 cm, de modo que se asegure el sellado firme entre estos dos elementos mediante el anillo de plomo. Pasando con el relleno de grava en la parte anular entre la rejilla y la pared del acuífero, para después finalizar con el desarrollo del pozo.

Otro método poco usado ya que solo se puede aplicar en acuíferos que se componen de arena que varía de fina a gruesa es el denominado

Método de lavado.

Consiste en cementar la base de la tubería de revestimiento desde luego en su posición final. Se une la línea que soporta el descenso de la rejilla con la cuerda de la tubería de lavado, conectándose esta última previamente con la bomba de lodos mientras que el extremo que entra al pozo se acondiciona con el sistema que arroja el chorro a una alta presión en cuyo funcionamiento se cuenta con un medio automático de cierre. Cuando el avance amerita retirar el material desprendido de la formación se cambiará el fluido, de lodo a agua mediante la misma tubería de lavado, si se ha llegado a la tubería deseada se dejará que el sedimento de arena se vaya acomodando entre la rejilla y la pared del pozo de forma que se vaya paulatinamente presionando la rejilla con el medio, una vez concluida esta fase se pasará al lavado dando paso al desarrollo.

3.3.8 Rellenos de grava

Como se mencionó, el relleno de grava consiste en introducir grava previamente definida en función de la formación y de la rejilla, lo cual significa perforar un diámetro de acuerdo con el relleno del material granular para que al finalizar la colocación de la rejilla se proceda al relleno de grava y después al desarrollo del que trataremos más adelante.

No obstante que para la selección del material que conforma el relleno de grava existen distintos métodos que pueden utilizarse, el método más aplicado es el conocido como Método de John, ya que por aspectos económicos y de sentido conservador por parte del jefe de perforación es muy práctico como se verá a continuación:

Contando con las curvas granulométricas de ciertos estratos del acuífero, se determina el estrato formado por el material más fino seleccionando el tipo de grava para el relleno de la siguiente forma. Se multiplica el tamaño correspondiente al 70 % retenido por un factor entre 4 y 9, siguiendo las siguientes recomendaciones: se empleará el factor 4 si el material de la formación es fino y uniforme, mientras que el factor 6 se recomienda cuando el material de la formación es más grueso y no uniforme. Los factores 7, 8 y 9 se aplican siempre que la formación del acuífero es muy poco uniforme.

El resultado de esta multiplicación será el primer punto conocido en la curva que representa la clasificación del relleno de grava. Por este punto se traza una curva suave con un coeficiente de uniformidad igual o menor a 2.5. Después de trazar la curva representativa de la granulometría del relleno de grava. Llegando a practicar el tamaño de grava por medio de 4 o 5 valores de tamices de forma que abarquen el mayor recorrido de la curva. Mientras que por otro lado se revisa el tamiz que corresponda al tanto por ciento retenido.

La conclusión de este análisis de relleno de grava se da con la serie de aberturas que formarán la rejilla, ya que el tamaño del orificio corresponderá a la misma que retenga más del 90% del Aunque para relleno de grava considerándose de manera general un espesor de relleno aproximadamente de 20 centímetros.

Una vez determinado el tipo de abertura de la rejilla se pasará la instalación de ésta, que deberá de estar acompañada del relleno de grava. El método denominado de retirada o de entubado temporal, empleado cuando se perfora con equipo de percusión, consiste en bajar una serie de tubos de gran diámetro, llamado tubería exterior, hasta el fondo del pozo; enseguida se bajan el entubado interior o revestimiento junto con la rejilla, de manera que se centren dentro del primero. Una vez rigidizada estas dos tuberías se pasa al descenso de la grava previamente seleccionada dentro del espacio anular entre la rejilla y el entubado exterior conforme se baya llenando este espacio se va retirando la tubería de gran diámetro poco a poco repitiendo estos pasos hasta que el nivel de grava alcance de entre 1.5 a 3 metros por encima de la parte superior de la rejilla pasando a la operación de desarrollo.

Cuando se hace el sondeo con el equipo rotativo se exentará de tubería exterior. Para este caso el mejor procedimiento consiste en bajar el entubado interior hasta el fondo del pozo e instalar la rejilla dentro de este tubo bajando entonces la grava previamente clasificada por el espacio anular y se levanta el entubado al mismo tiempo para descubrir la rejilla, hasta 30 cm de la parte superior de la rejilla, ensanchando el cierre de plomo procediendo a la operación de desarrollo.

Para colocar rellenos de grava en pozos profundos perforados por el método a percusión, se lleva el relleno al fondo mediante la circulación inversa del fluido. Para aplicar éste método se deberá de tener el pozo lleno de agua. Mientras se bombea dicho fluido hacia fuera por la parte inferior del entubado (tener la cabeza de succión en la base del pozo) se dejan suspender por el fluido que se bombea hacia adentro del pozo por la parte exterior de la tubería de revestimiento.

A medida que la grava va llenando el espacio anular alrededor de la rejilla, el agua pasa a través de las aberturas de la rejilla regresándose a la superficie por el entubado. Los pozos perforados por el método rotatorio están normalmente llenos de lodo de perforación en el momento de instalar la grava. Aplicándose la circulación inversa del fluido solo que se deberá volver más fluido dicho lodo de manera que se facilite la circulación a través de las ranuras de la rejilla, añadiéndose la grava cuando se haya logrado obtener la circulación deseada.

3.3.9 Desarrollo del pozo

Uno de los elementos que integran la construcción de un pozo es el desarrollo. Realizado al término de los trabajos de instalación de la rejilla así como de la cimentación. El objetivo del desarrollo es la extracción de los restos de material localizados dentro del medio (el acuífero) así como dentro del relleno de grava y la rejilla que estabilizan la formación y corregir los daños causados en el medio durante la construcción del pozo sobre todo cuando se trabajó por el método de rotación.

Existen varias técnicas empleadas para desarrollar un pozo; anteriormente se expresó que la abertura de la ranura es muy importante para esta actividad (desarrollo) y es que si se considera que una buena selección de la rejilla es esencial para cumplir con los objetivos

planteados desde el inicio, se comprenderá que la rejilla deberá de permitir la entrada de material fino, no así de los gruesos existentes, tanto en la formación natural como en el relleno de grava colocado artificialmente; ahora bien ¿que pasaría si las ranuras son demasiados grandes? el resultado sería que el medio no se estabilizaría, esto quiere decir que la rejilla no sería capaz de retener el material empujado por el agua, pero si las ranuras son demasiados estrechas, el resultado sería un desarrollo incompleto.

Estos dos escenarios son dependientes de una aceptable selección y colocación del material utilizado en el relleno de grava así como un correcto tamaño de la ranura de la rejilla, luego entonces muchos jefes en perforación se ven en el caso de decidir entre el método más conveniente a emplear para el desarrollo del pozo tomando todos estos factores mencionados pero además la experiencia en la realización de este trabajo, ya que un mal desarrollo no sólo haría incosteable la terminación del pozo sino que incluso obligaría al abandono del mismo.

Cabe mencionar que la ventaja de un buen desarrollo, es que se llega a obtener un gasto cercano al doble del pozo sin el desarrollo, esto implicaría un ahorro equivalente a la perforación de un pozo.

De manera general los métodos más aplicados por los jefes de perforación ya experimentados son los denominados: de sobre bombeo y los de vaivén.

Por lo que respecta al primero, consiste en bombear el pozo con un caudal notablemente mayor al que se pretende extraer normalmente del mismo, para medir el caudal se utilizan normalmente nomogramas ver figura 3.12, esto implica contar con el equipo proporcionalmente mayor al utilizado en la puesta en operación del pozo, además de ser apoyado por algún medio para extraer la arena acumulada por su sencilla y económica aplicación.

Por otro lado uno de los métodos de vaivén es el denominado desarrollo por pistoneo. Este consiste en comprimir y aspirar el agua en el pozo para producir un energético fluido de agua hacia adentro y hacia afuera del acuífero pasando por las ranuras de la rejilla de manera que genera que el material más fino del acuífero entre al pozo y se almacene para después se extraiga por medio del cuchareo; para realizar esta tarea se utiliza un pistón, formado por discos de correa de cuero separados por un bloque de madera sujetos éstos por un par de discos de acero. Una vez formado el pistón se lastrará con un peso tal que descienda con mayor rapidez dentro de la tubería de revestimiento.

Según sea el diámetro de la rejilla se recomiendan los siguientes pesos de lastre del pistón:

Cuadro 3.2 muestra la relación entre diámetro de rejilla y peso.

Diámetro de la rejilla, en mm	150	250	300	>300
Peso en kilogramos	600	800	1000	>1000

Fuente: Datos obtenidos del libro del manual de perforación de pozos de la SRH.

Además se tendrá que contar con un motor con suficiente potencia para levantar rápidamente el pistón. Los perforistas experimentados recomiendan iniciar lentamente el proceso y permanecer con una velocidad moderada tal que las herramientas se eleven y caigan suavemente para después de un cierto tiempo retirar la herramienta y bajar la cuchara para extraer los sedimentos. Se repite el proceso pero ahora con una mayor velocidad hasta que el material extraído sea despreciable.

Una vez concluida esta tarea se iniciará el aforo del gasto que el pozo es capaz de producir de manera eficiente. Considerando que se emplea el equipo utilizado en el desarrollo, se hace a trabajar a unas 50 revoluciones por minuto por un lapso de una hora leyendo al cabo de esta el nivel de bombeo, nivel piezométrico, revoluciones por minuto, fecha y hora de iniciación.

Posteriormente se incrementarán a 100 rpm manteniendo durante el mismo lapso que el anterior para después apagarlo y leer los mismos datos requeridos para su análisis, siguiendo repetidamente esta operación hasta que el equipo dé el máximo. Una vez llegando este momento se irá disminuyendo a 100 rpm la operación del motor, esperando en cada lectura, a que se establezca el flujo registrando los resultados, continuando así hasta que el motor trabaje a su mínima velocidad.

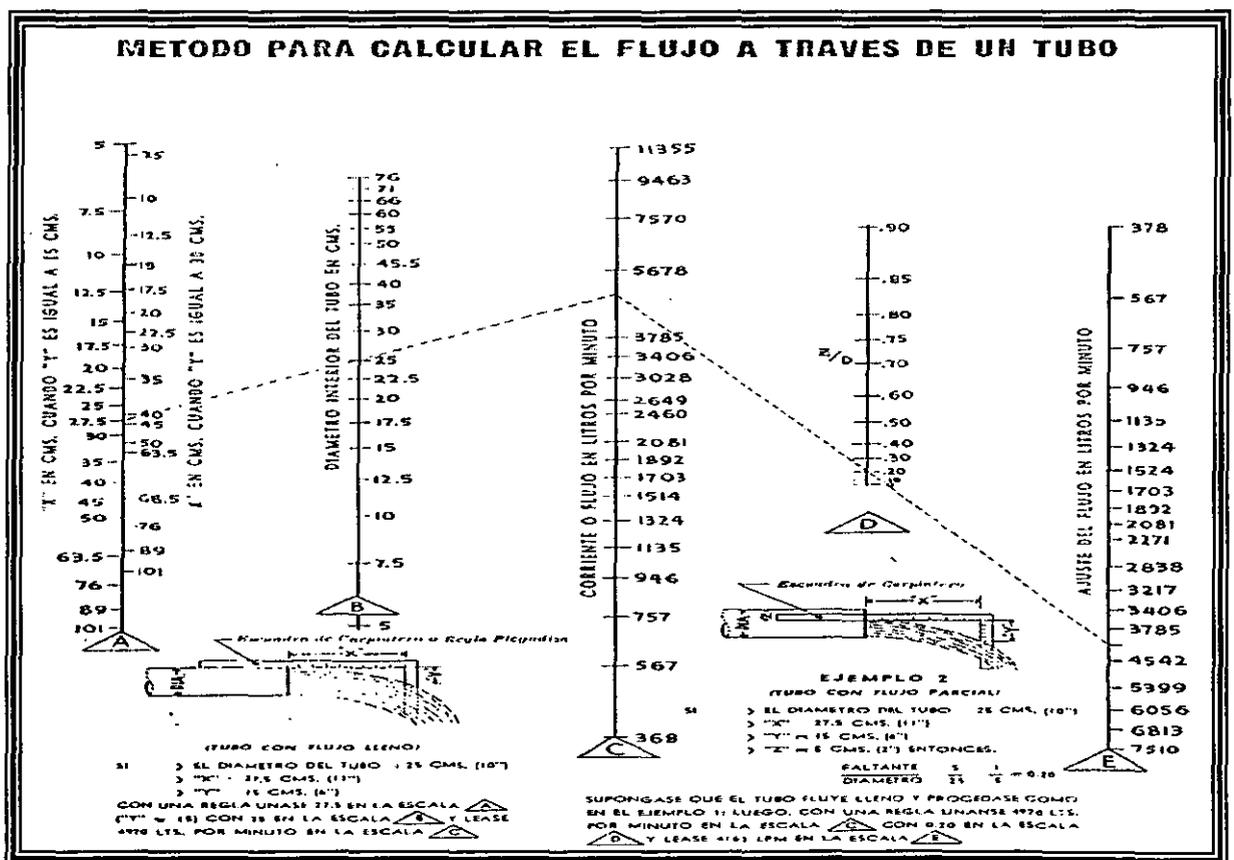


Figura 3.12. Nomograma utilizado en campo para calcular el flujo de la succión durante el desarrollo ó durante las pruebas de bombeo. Fuente: Manual de perforación de pozos profundos. SRH.

En este momento se inicia el aforo con la mínima velocidad del motor, ésta se irá incrementando de 100 en 100 rpm, hasta alcanzar la máxima, tomando las lecturas nuevamente. Simultáneamente se puede medir el gasto de manera aproximada mediante un nomograma. Al término de esta actividad se graficarán los resultados gasto contra abatimiento, uniendo los puntos por medio de una curva suave sobre la cual se marcará el punto óptimo de explotación, siendo este el punto de cambio de curvatura.

Ahora bien si se tiene el gasto óptimo de operación, profundidad del pozo, diámetro del ademe, longitud de la tubería de ademe y de la rejilla así como la eficiencia del motor, se puede entonces obtener la potencia requerida por los impulsores con o sin la consideración de las pérdidas por fricción. Después se selecciona la flecha de la bomba para calcular la demanda total de potencia en caballos de fuerza al freno, ya considerando la integración de las pérdidas. De esta manera cumpliendo con la norma correspondiente se da por concluida la terminación del pozo.

3.3.10 Predicción del impacto ambiental y medidas de mitigación

La educación ambiental, sirve como base para un cambio de actitud, que lleva hacia un desarrollo sustentable, al que debe aspirarse en nuestro país, abarcando de manera amplia la relación entre el hombre y el medio.

En los proyectos de extracción del recurso agua, se pueden producir impactos de diversas formas al ambiente en diverso grado, en calidad y cantidad. El análisis que se hace aquí está encaminado a plantear la naturaleza de la alteración y su posible mitigación durante las etapas de exploración y explotación.

En la etapa de exploración se llevarán a cabo las acciones encaminadas a detectar la existencia de mantos acuíferos, mediante los estudios geológicos y geofísicos: para el primero se recolecta la información documental existente de la zona en sí o de las zonas aledañas, además de realizar un levantamiento de información geológica y de reconocimiento del área durante el cual simultáneamente se realizará un inventario de paisaje, hídrico, fauna, flora y cultural de la zona.

El estudio geofísico consiste en obtener información del subsuelo para la ubicación del sondeo así como para estimar los recursos hídricos valiéndose de uno o más métodos de prospección.

La prospección sísmica es la que representa una alteración al medio, aunque de manera mínima ya que durante la explosión del cartucho de dinamita que se activa para excitar el medio físico se experimenta una vibración y simultáneamente una emisión de ruido. Dependiendo de la cercanía a la zona habitada se puede buscar un horario diurno así como condiciones meteorológicas adecuadas que conduzcan la propagación del ruido de manera que se atenúen las afectaciones hacia los pobladores.

Por otra parte, si cercana o dentro del área de influencia directa existe fauna que esté en peligro de desaparecer y que con las explosiones se alteren los patrones de apareamiento normal que irían en detrimento de las condiciones del hábitat, será necesario planear las operaciones de manera que no coincidan con el ciclo de apareamiento.

También hay que considerar los posibles derrumbes tanto de nieve como de tierra en laderas, pudiéndose evitar cualquiera de estos dos últimos casos si la ladera no se encuentra dentro de la zona de influencia de la detonación.

En la etapa de explotación generalmente se requiere un área de aproximadamente 400 m² en la que se concentra la maquinaria, herramienta y los materiales de construcción, por lo que una vez determinado el lugar donde se realizará la perforación, se procede a planear y programar la llegada al lugar incluyendo en caso necesario el desmonte, despalme y nivelación con el fin de asentar ordenadamente todos los materiales. Dicha actividad implica una alteración en función de la zona circunvecina, ya que si se encuentra una población podría alterarse el medio social, de manera que requiere evaluar la afectación al medio para reducir el impacto de los trabajos de perforación o inclusive cambiar el lugar a perforar.

Durante la construcción del tanque sedimentador y también durante las maniobras de perforación en la que los desperdicios se sedimentan para que posteriormente sean removidos a zonas autorizadas para tal fin, existe la posibilidad de que se depositen sobre un acuífero los detritos, trasladándose al flujo subterráneo por medio de los lixiviados ver figura 3.13.

Existe en la actualidad un *software* que mide el impacto de la cantidad de detritos depositados y de las características hidrogeológicas, de manera que se define la mínima cantidad aceptable para no dañar el flujo subterráneo, otra opción es transportar los detritos a un relleno sanitario o bien encapsular el material por medio de espacios previamente impermeabilizados contra corrientes pluviales y escorrentía superficial, remodelando el entorno por medio de la restauración de la vegetación original.

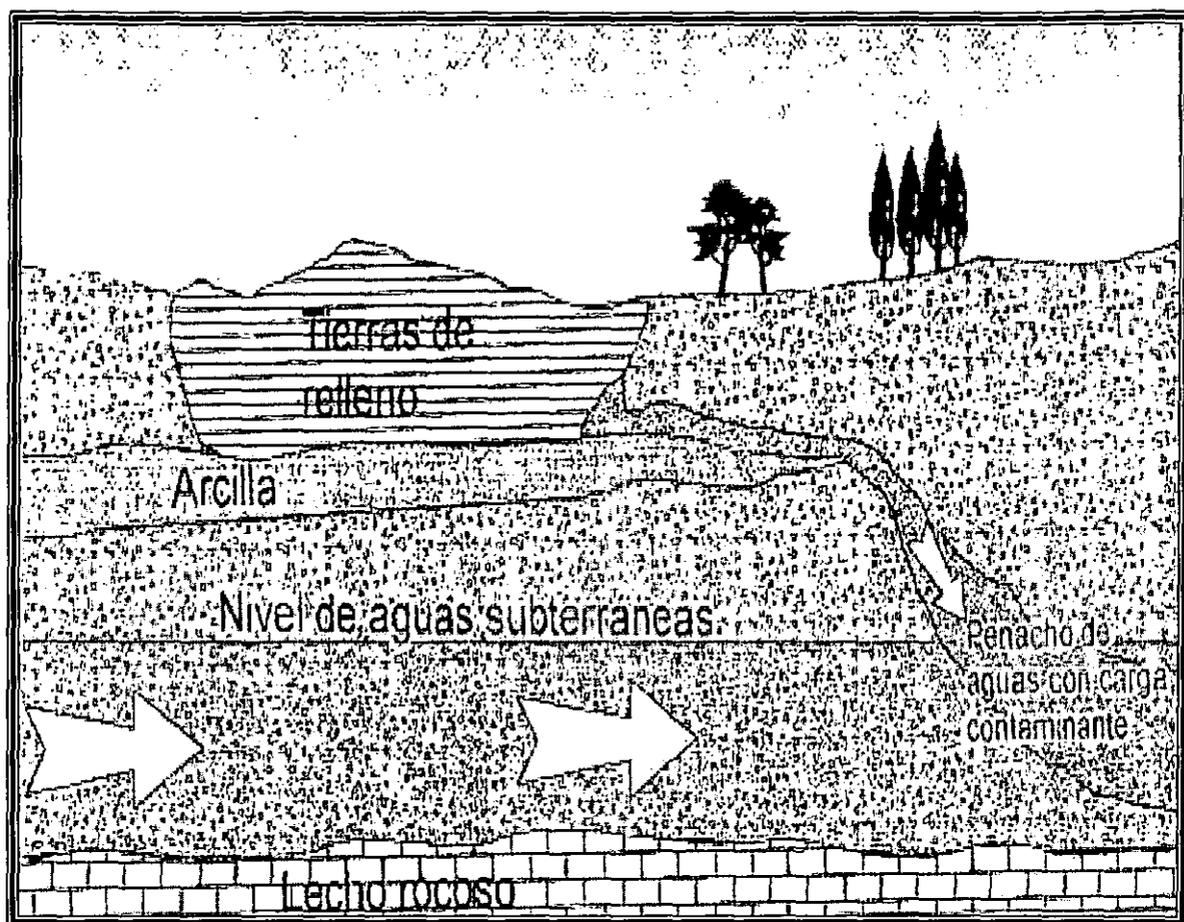


Figura 3.13. Ejemplo de la contaminación de un acuífero causado por un vertedero situado sobre él.
 Fuente: Aguas subterráneas, captación y aprovechamiento. Juan. Martínez, Pedro. R. Editorial PROGENSA. Sevilla España 1998.

A partir de los ensayos de bombeo o también en los desarrollos del pozo hasta su operación se puede llegar a observar, según las condiciones del lugar, el descenso del espejo de las fuentes superficiales, afectando el entorno natural del área cercana. También se pueden llegar a medir asentamientos diferenciales del suelo debidos al descenso del cono de abatimiento.

Aquí es donde se recurre al inventario que se realizó en la etapa geohidrológica, clasificando el área de impacto en función del interés ecológico, paisajista y cultural con objeto de establecer las zonas de protección, que evaluaremos por medio de un balance hídrico en donde se establecen los recursos tanto superficiales como subterráneos para su conservación. Es importante contemplar la posibilidad de realizar campañas de información sobre el valor de estos espacios naturales superficiales así como su vulnerabilidad, ya que forman los cuerpos que alimentan los mantos subterráneos que al mismo tiempo dependen del ecosistema asociado, de manera tal que se evite alteraciones en su cantidad y calidad.

Durante la colocación del ademe ranurado se requiere contar con materiales granulares de origen natural, obligando a extraer estos materiales de corrientes superficiales, acción que originaría cambios en las características hidráulicas de los cuerpos de donde fueron extraídos como es la erosión, impacto que pudiera mitigarse si distribuimos la aportación del material granular en varios sitios.

Finalmente cabe mencionar que durante la construcción del pozo se utilizan combustibles y aceites que generalmente son usados sin control, vertiendo en muchos casos los residuos al mismo terreno donde se está trabajando, pasando a formar parte de los lixiviados que contaminan las corrientes subterráneas, por lo que es recomendable cuantificar el volumen de estos combustibles y aceites después de ser utilizados de forma que previamente se habiliten recipientes ex profeso para almacenarlos durante los trabajos de perforación, y después retirarlos del lugar de acuerdo a lo dispuesto por las normas oficiales mexicanas en materia de residuos peligrosos.

Durante los estudios de impacto ambiental se debe incluir cada componente del plan de atenuación así como su eficacia potencial, considerando una supervisión de manera que dé cumplimiento de las medidas sugeridas, optimizando recursos de trabajo y evitando el riesgo de caer en la omisión de dichas acciones.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE INGENIERÍA BÁSICA Y NORMAS TÉCNICAS

SUBGERENCIA DE NORMALIZACIÓN

Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996 Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos

GUILLERMO GUERRERO VILLALOBOS, Director General de la Comisión Nacional del Agua, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, II, III, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1o., 2o. fracción II, 3o. fracción XI, 38 fracción II, 40 fracciones I, X y XIII, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 51, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 9o. fracciones I, IV, XII y 12 de la Ley de Aguas Nacionales; 10 segundo párrafo y 14 fracciones XI y XV del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales y,

CONSIDERANDO

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Proyectos de Normas Oficiales Mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, que establece los requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el día 12 de junio de 1996, a efecto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de publicación de dicho Proyecto de Norma Oficial Mexicana, los análisis a que se refiere el citado Ordenamiento Legal, estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del plazo referido, los interesados presentaron sus comentarios al Proyecto de Norma, en cita, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, realizándose las



modificaciones pertinentes, mismas que fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el día 6 de enero de 1997 por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, en sesión de fecha 1 de octubre de 1996, he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, "Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos".

CONTENIDO

0. Introducción
 1. Objetivo
 2. Campo de aplicación
 3. Referencias
 4. Definiciones
 5. Clasificación
 6. Especificaciones
 7. Verificación
 8. Recomendaciones
 9. Observancia de esta norma
 10. Bibliografía
 11. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
 12. Vigencia
- Apéndice "A"

0. INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener agua en cantidades económicamente explotables ha originado la perforación de aproximadamente 140,000 pozos distribuidos en 460 acuíferos. Cuando los pozos para extracción de agua están mal contruidos, ofrecen una vía de contaminación entre el ambiente externo y los acuíferos.

A diferencia del agua superficial en la que puede observarse el proceso de contaminación y la localización de las fuentes contaminantes, lo que permite la remediación y depuración del recurso de manera oportuna, en el caso del agua subterránea la contaminación avanza y se efectúa sin que pueda observarse, originando que a veces la fuente de abastecimiento de agua tenga que abandonarse temporal o definitivamente. Los estudios para determinar la fuente y características de la contaminación, así como el proceso de remediación o descontaminación, requieren plazos de hasta varios años y originan altos costos que obligan incluso a abandonar definitivamente la fuente local de abastecimiento de agua.



La falta de cuidado en el manejo de las instalaciones que contienen líquidos y depósitos de residuos sólidos degradables cercanos a los pozos para extracción de agua, la ausencia de reglamentación relativa a la distancia a la que se puede construir un pozo para extracción de agua de la fuente de contaminación no suprimible y el diseño y construcción inadecuado de pozos, han dado como resultado la posible contaminación de las aguas subterráneas.

Con el objeto de minimizar este riesgo y establecer los requisitos mínimos durante la construcción de pozos de agua para coadyuvar a la protección de acuíferos, se hace necesario expedir la siguiente:

NORMA Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, "Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos".

1. OBJETIVO

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos de construcción que se deben cumplir durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y trabajos asociados, con objeto de evitar la contaminación de los acuíferos.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma se aplica a la construcción de pozos para la extracción de aguas nacionales destinadas a los usos agrícola, agroindustrial, doméstico, acuicultura, servicios, industrial, pecuario, público urbano y múltiples.

La responsabilidad en la aplicación y cumplimiento de la presente norma corresponde al concesionario o asignatario que realice la construcción de pozos para la extracción de aguas nacionales.

3. REFERENCIAS

NOM-008-SCFI-1993 Sistema General de Unidades de Medida. Publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de octubre de 1993.

NOM-012-SCFI-1993 Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos - Medidores para agua potable fría - Especificaciones. Publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de octubre de 1993.

NOM-014-SSA1-1993 Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de agosto de 1994.

NOM-127-SSA1-1994 Salud Ambiental Agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 18 de enero de 1996.

4. DEFINICIONES

Para propósitos de esta Norma, las siguientes definiciones y unidades son aplicables:

4.1 Acreditamiento: Acto mediante el cual la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial reconoce organismos nacionales de normalización, organismos de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación, para que lleven a cabo las actividades a que se refiere la *Ley Federal sobre Metrología y Normalización*.

4.2 Acuífero: Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

4.3 Ademe: Tubo generalmente metálico o de policloruro de vinilo (PVC), de diámetro y espesor definidos, liso o ranurado, cuya función es evitar el derrumbe o el colapso de las paredes del pozo que afecten la estructura integral del mismo; en su porción ranurada, permite el flujo del agua hacia los elementos mecánicos de impulsión de la bomba.



4.4 Asignatario: Dependencia u organismo descentralizado de la administración pública federal, estatal o municipal que explota, usa o aprovecha aguas nacionales mediante asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

4.5 Bentonita: Arcilla plástica que contiene principalmente sílice coloidal, caracterizada por la propiedad de aumentar varias veces su volumen al ponerse en contacto con el agua.

4.6 Brocal: Base de concreto perimetral al ademe del pozo, colocada en el extremo superior del mismo para soportar al cabezal de descarga.

4.7 Campo de percolación: Área preparada para verter agua que se empleará para la recarga artificial de acuíferos, ya sea por inundación directa o en forma de riego.

4.8 Concesionario: Persona física o moral que explote, use o aproveche aguas nacionales mediante concesión otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

4.9 Contraademe: Tubería, generalmente de acero, utilizada en la ampliación de la parte superior de un pozo, cuya función es evitar derrumbes, entradas de aguas superficiales e infiltraciones que contaminen al acuífero.

4.10 Degradación: Cambio o modificación de las propiedades físicas y químicas de un elemento, por efecto de un fenómeno o de un agente extraño.

4.11 Depósito de jales: Sitio donde se depositan residuos generados en las operaciones primarias de separación y concentración de minerales.

4.12 Desarrollo del pozo: Conjunto de actividades tendientes a restituir e incrementar la porosidad y permeabilidad del filtro granular y la formación acuífera adyacente al pozo.

4.13 Desinfectante: Sustancia o proceso que destruye o impide la reproducción de microorganismos infecciosos tales como las bacterias y los enterovirus.

4.14 Filtro granular: Material redondeado de origen natural, exento de materia orgánica o cualquier sustancia que altere o modifique sus propiedades físicas y químicas naturales, cuyo tamaño se selecciona en función de las características del acuífero; se coloca entre el ademe y el contraademe o pared de la unidad geológica horadada y su función principal es la de evitar la entrada de material fino al interior del pozo.

4.15 Fluido de perforación: Agua, agua con bentonita, aire, aire con espumantes, o lodos orgánicos, empleados en las labores de perforación rotatoria de pozos, para remover el recorte del fondo, enfriar y limpiar la barrena, mantener estables las paredes y reducir la fricción entre las paredes del pozo y la herramienta de perforación.

4.16 Fuente contaminante: Conjunto de elementos que generan productos que alteran en forma negativa las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua.

4.17 La Comisión: Comisión Nacional del Agua, órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

4.18 Lecho de absorción: Obra de superficie para la recarga artificial de acuíferos, que consiste en adecuaciones del cauce de un río para mantener o aumentar su capacidad de infiltración.

4.19 Material consolidado: Agregado natural de fragmentos de roca unidos unos con otros directamente, o con ayuda de un cementante (material precipitado químicamente) o con matriz (material terrígeno).

4.20 Material no consolidado: Agregado natural de partículas poco cohesivas, no cementadas entre sí.



4.21 Nivel freático: Nivel superior de la zona saturada, en el cual el agua contenida en los poros se encuentra sometida a la presión atmosférica.

4.22 Perforista: Persona física o moral con quien el concesionario o asignatario ha convenido la perforación.

4.23 Permeabilidad: Capacidad de un material para transmitir un fluido.

4.24 Plantilla: Losa de concreto perimetral al brocal para protección superficial del pozo.

4.25 Pozo: Obra de ingeniería, en la que se utilizan maquinarias y herramientas mecánicas para su construcción, para permitir extraer agua del subsuelo.

4.26 Pozo de absorción: Obra de ingeniería diseñada especialmente para infiltrar agua de lluvia al subsuelo, constituida por una captación o alcantarilla, una caja desarenadora y una caja de infiltración; ésta última funciona como pozo o puede derivar sus excedentes a uno. En este tipo de pozos no se controla la calidad del agua, ya que ésta es infiltrada en la zona no saturada en la que se espera se obtenga una depuración adicional antes de llegar al acuífero.

4.27 Pozo de infiltración o inyección: Obra de ingeniería que permite la recarga artificial del acuífero.

4.28 Rejilla; cedazo: Ademe con aberturas de forma, tamaño y espaciamiento diseñados en función de las características granulométricas del acuífero, que permite el paso del agua al interior del pozo.

4.29 Relleno sanitario: Sitio para el confinamiento controlado de residuos sólidos municipales.

4.30 Unidad de verificación: Personas físicas o morales que hayan sido acreditadas para realizar actos de verificación por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial en coordinación con las dependencias competentes.

4.31 Uso agrícola: La utilización de agua nacional destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

4.32 Uso agroindustrial: La utilización de agua nacional para la actividad de transformación industrial de los productos agrícolas y pecuarios.

4.33 Uso doméstico: Utilización del agua nacional destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa.

4.34 Uso en acuicultura: La utilización de agua nacional destinada al cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas.

4.35 Uso industrial: La utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aún en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación.

4.36 Uso pecuario: La utilización de agua nacional para la actividad consistente en la cría y engorda de ganado, aves de corral y animales, y su preparación para la primera enajenación, siempre que no comprendan la transformación industrial.

4.37 Uso público urbano: La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, a través de la red municipal.



4.38 Uso en servicios: La utilización de agua nacional para servicios distintos a los señalados en las fracciones 4.31 a 4.39 de esta norma.

4.39 Usos múltiples: La utilización de agua nacional aprovechada en más de uno de los usos definidos en párrafos anteriores, salvo el uso para conservación ecológica, el cual está implícito en todos los aprovechamientos.

4.40 Verificación: Constatación ocular o comprobación mediante muestreo y análisis de laboratorio acreditado, del cumplimiento de las normas.

5. CLASIFICACIÓN

Para propósitos de esta Norma, los pozos se pueden clasificar, en cuanto a su uso, en agrícola, agroindustrial, doméstico, en acuicultura, en servicios, industrial, pecuario, público urbano y múltiples.

6. ESPECIFICACIONES

6.1 Materiales usados en la construcción de pozos

Las piezas y sustancias utilizadas en la construcción de pozos deben ser de calidad comercial.

6.2 Área restringida de emplazamiento del pozo

El área de protección entre el sitio seleccionado para construir un pozo y las fuentes potenciales de contaminación existentes que no pueden ser suprimidas, tendrá un radio mínimo de 30 m con respecto al pozo.

Las fuentes de contaminación son las siguientes (esta lista no es limitativa, sino que depende de lo que, para situaciones y condiciones particulares, la Comisión considere necesarias):

- Alcantarillado sanitario
- Campos de percolación
- Canales de aguas residuales
- Cloacas
- Depósitos de jales
- Fosas sépticas
- Gasolineras y depósitos de hidrocarburos
- Lechos de absorción
- Letrinas
- Pozos abandonados no sellados
- Pozos de absorción
- Puntos de descarga de aguas residuales de uso industrial
- Rellenos sanitarios



- Ríos y cauces con aguas residuales provenientes de los usos definidos en los puntos 4.31 a 4.39.
- Rastros y establos

El radio mínimo podrá ser modificado por la Comisión o por la autoridad local competente, a través de la disposición legal o reglamentaria aplicable, con base en un estudio específico del sitio que considere la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y la extensión de su área de influencia para diferentes tiempos.

Cuando no sea posible cumplir el radio mínimo especificado en la presente Norma o en la disposición local reglamentaria, el concesionario o asignatario deberá presentar a la Comisión el diseño que propone para evitar la contaminación del acuífero, basado en estudios hidrogeológicos.

6.3 Desinfección de la herramienta en la etapa de perforación del pozo

La herramienta y la tubería de perforación se deben desinfectar antes de iniciar los trabajos de perforación. Previo a la desinfección, es necesario remover las grasas, aceites y otras sustancias adheridas a las herramientas.

6.4 Preparación y disposición adecuada de los fluidos de perforación

En la perforación de pozos con fluidos, cuya base principal sea el agua y la bentonita, éstos no deben contener ninguna sustancia que degrade las características químicas del agua subterránea.

6.4.1 Preparación de los fluidos

El agua utilizada en la preparación del fluido de perforación debe tener características físico-químicas tales que no inhiban las propiedades del fluido y no degraden al agua del subsuelo. Debe estar libre de organismos patógenos y poseer un pH entre 6 y 10.

Bajo ninguna circunstancia se debe permitir el uso de aguas residuales.

6.4.2 Protección de acuíferos por pérdida de circulación

No se deben añadir al fluido de perforación materiales que puedan contaminar o reducir las propiedades hidráulicas del acuífero.

6.4.3 Disposición de los residuos

Concluidos los trabajos de construcción del pozo, el perforista debe retirar los residuos de todo y materiales de construcción del área de trabajo, de acuerdo a la reglamentación federal o estatal.

Los residuos se podrán esparcir en sitios cercanos, previa autorización de los propietarios de los terrenos. En todo caso se deberá realizar una limpieza del área de trabajo con el fin de restaurar el sitio a sus condiciones originales.

6.5 Protección superficial e interna de la estructura del pozo

Todos los aprovechamientos hidráulicos subterráneos deben contar con protección sanitaria. De acuerdo con la estructura del pozo, el espacio anular entre las paredes de la formación y el ademe, así como la terminal superior del pozo, son las áreas que presentan mayor riesgo de contaminación.

6.5.1 Ademe para protección del pozo

6.5.1.1 Sobreelevación del ademe por encima del nivel del suelo



El extremo superior del ademe debe sobresalir cuando menos 0.50 m por encima del nivel del terreno natural o sobreelevado.

6.5.1.2 Cedazo o rejilla

El material del cedazo o rejilla y sus elementos de unión (soldadura o pegamento) deben ser de calidad comercial y uniforme.

6.5.1.3 Filtro granular

En caso de que sea necesario el uso de filtro granular, éste debe estar conformado por partículas inertes redondeadas de origen natural; asimismo no deberá tener un porcentaje mayor del 5% de material carbonatado. En ningún caso se deben utilizar filtros de material triturado.

6.5.2 Contraademe

El contraademe debe tener la longitud necesaria para evitar la infiltración de agua superficial o agua contaminada contenida en el subsuelo hacia el interior del pozo. El contraademe debe tener una longitud mínima de seis metros y debe sobresalir 0.20 m del nivel del terreno natural o sobreelevado, o bien 0.50 m, dependiendo del diseño del pozo (ver figuras ilustrativas 1 y 2). El espacio anular entre el contraademe y la formación adyacente será rellenado por completo con una lechada de cemento normal.

En el caso de que se perforen pozos donde existan acuíferos con agua de diferente calidad, el concesionario o asignatario deberá presentar a la Comisión el diseño del pozo para evitar la mezcla del agua de ellos por efecto del pozo y que pueda causar la degradación de la calidad del agua de alguno de los acuíferos.

6.5.3 Sobreelevación y protección del área de emplazamiento del pozo

6.5.3.1 Tipo y dimensiones del brocal

Cuando el diseño del pozo sea como se presenta en la figura ilustrativa 1, la forma exterior del brocal será la de un prisma cuadrangular cuyos lados tendrán una longitud igual al diámetro total superficial de la perforación, con una altura de 0.50 m a partir del nivel del terreno natural o sobreelevado. En el momento de la construcción del brocal, se deben colocar dos tubos para la colocación del filtro granular.

Cuando el diseño del pozo sea como el presentado en la figura ilustrativa 2, el contraademe debe tener la misma altura que el ademe, sin que sea necesario poner tubos engravadores, ya que el espacio anular sólo lleva una tapa removible.

En ambos casos, la plantilla y la parte superficial de la cementación del contraademe deben formar estructuralmente un solo cuerpo.

Cuando el pozo esté emplazado en unidades de material consolidado, el ademe debe estar ahogado en el brocal. Cuando el pozo esté perforado en material no consolidado, se debe dejar un espacio anular mínimo de 0.0063 m entre el brocal y el ademe.

Cuando el concesionario o asignatario, y sólo por razones técnicas, considere otro diseño de brocal, deberá presentarlo a la Comisión para su aprobación.

6.5.3.2 Plantilla

La superficie de la plantilla alrededor del pozo debe construirse con una pendiente del 2% (dos por ciento), de tal modo que el agua u otro fluido que escurra se aleje del pozo en todas las direcciones.



La forma exterior de la losa será cuadrada, y debe tener una longitud mínima por lado de 3 (tres) veces el diámetro total de la perforación. El espesor total de la losa será de 0.15 m, de los cuales los 0.05 m inferiores estarán por debajo del nivel del terreno natural o sobreelevado, previo desplante y apisonamiento de este último (véase figura 1).

En caso de existir evidencia de inundaciones en el área, la plantilla debe estar sobreelevada. Para ello, el usuario debe considerar el nivel de la máxima inundación registrada en los últimos 30 años, la orientación geográfica y la elevación topográfica del sitio de emplazamiento del pozo.

6.5.4 Tipo y dimensiones de la protección del pozo

En pozos de uso público urbano se debe contar, además de la cerca de malla ciclónica, con una caseta para garantizar la protección y buen funcionamiento del pozo. En caso de que sea necesario construir casetas subterráneas, éstas deben tener un drenaje adecuado, o en su defecto, contar con una estación de bombeo para desalojar el agua. En pozos de uso industrial ubicados dentro de instalaciones industriales cerradas, el concesionario o asignatario deberá garantizar la adecuada protección superficial del pozo.

En los demás usos definidos en la presente norma, los pozos deben contar con una cerca perimetral de protección de malla ciclónica de al menos 3 x 3 m en planta. En caso de que las características y el espacio del terreno lo permitan, podrán construirse obras civiles complementarias.

6.6 Desinfección del pozo

La desinfección del pozo debe ser realizada durante la etapa de desarrollo del mismo, antes de que el equipo permanente haya sido instalado, el cual debe también ser desinfectado.

Para ello, deberá aplicarse el desinfectante necesario para que la concentración de cloro en el agua contenida en el pozo sea de 200 mg/L como mínimo. El agua en el pozo deberá tratarse con cloro, tabletas de hipoclorito de calcio, solución de hipoclorito de sodio o cualquier otro desinfectante de efecto similar, con la concentración apropiada y aprobada por la Secretaría de Salud.

Después de que el desinfectante haya sido aplicado, se agitará el agua del pozo para lograr una buena mezcla y se inducirá el contacto de la mezcla agua-desinfectante con las paredes del ademe, rejilla, filtro y formación del acuífero.

Posteriormente, se debe circular la mezcla dentro del ademe con la columna de bombeo, y luego extraerla mediante bombeo. Después de que el pozo haya sido desinfectado, debe ser bombeado hasta que no se detecten residuos del desinfectante utilizado.

6.7 Dispositivos de medición y monitoreo

6.7.1 Medidor de volúmenes

Con el objeto de disponer de un medio seguro para conocer los caudales de extracción del pozo, es indispensable la instalación de un dispositivo de medición compatible con los volúmenes proyectados de extracción. Para uso público urbano, el medidor debe cumplir con los requisitos estipulados en la Norma Oficial Mexicana de medidores de agua NOM-012-SCFI o usar dispositivos similares que cumplan con las normas vigentes.

6.7.2 Toma lateral

Se requiere instalar un dispositivo lateral en la tubería principal de descarga para el muestreo del agua.

6.7.3 Medición de niveles

También se requiere la instalación de un dispositivo que permita medir la profundidad del nivel del agua en el pozo.



6.8 Documentos requeridos para la aprobación de operación del pozo

Para aprobar la operación del pozo por parte de la Comisión, es necesario que el concesionario o asignatario entregue los siguientes documentos:

- a) Croquis de localización del pozo, indicando las posibles fuentes de contaminación
- b) Registro eléctrico del pozo, integrado por:
 - Curvas de resistividad (normal corta, normal larga y lateral)
 - Curva de potencial espontáneo (S.P.)
- c) Registro estratigráfico (corte litológico)
- d) Diseño final del pozo
- e) Requisitos y memoria de cálculo y resultado del aforo
- f) Análisis físico-químico del agua que incluya determinación del pH, conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza total, calcio, sodio, potasio y sólidos disueltos totales

7. VERIFICACIÓN

La verificación de las especificaciones indicadas en el inciso 6 se realizará en forma periódica, aleatoriamente o cuando la Comisión lo estime necesario, utilizando los métodos de muestreo estadístico establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas, y considerando las especificaciones que en el momento de la visita sea posible verificar. Dicha verificación podrá ser realizada por personal de la Comisión o por unidades de verificación acreditadas para tal efecto.

7.1 Desinfección del pozo (especificación del inciso 6.6)

El método de muestreo se realizará conforme a la norma NOM-014-SSA1 y los límites utilizados para verificar la desinfección del pozo serán de acuerdo a la norma NOM-127-SSA1 en cuanto a los parámetros bacteriológicos.

7.2 Disposición de los residuos (especificación del inciso 6.4.3)

La disposición de los lodos de perforación y otros residuos se verificará visualmente tanto en el sitio del pozo como en el de la disposición final.

7.3 Especificaciones de la distancia mínima a las fuentes contaminantes; dimensiones del ademe, contraademe, plantilla y dispositivo de medición (especificaciones de los apartados 6.2, 6.5 y 6.7)

La verificación de las especificaciones de las dimensiones será hecha *in situ*, con los instrumentos de medición pertinentes y con una tolerancia de $\pm 10\%$.

7.4 Especificaciones restantes

Las restantes especificaciones se verificarán visualmente y mediante la lectura del registro en la bitácora de perforación.

7.5 Informe de las verificaciones

El informe de las verificaciones efectuadas debe incluir lo siguiente:



- Identificación completa del pozo, con una fotografía del sitio
- Resultados obtenidos de las verificaciones
- Nombre y firma del responsable de las verificaciones
- Fecha de ejecución de las verificaciones

8. RECOMENDACIONES

Para los procesos constructivos, desarrollo, aforo y desinfección se pueden consultar los libros de Perforación de Pozos y Rehabilitación de Pozos del "Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento", editado por la Comisión Nacional del Agua, mismo que se pone a disposición del público para poder ser consultado en las oficinas de dicho Órgano Administrativo Desconcentrado, ubicadas en Cda. de Sánchez Azcona No.1723, piso 7, Col. Del Valle, 03100, México, D. F.

9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

La Comisión Nacional del Agua será la encargada de vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, quien promoverá la coordinación de acciones con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, sin afectar sus facultades en la materia y en el ámbito de sus correspondientes atribuciones.

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la *Ley Federal sobre Metrología y Normalización*, la *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento* y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

10. BIBLIOGRAFÍA

ANSI/AWWA C654-87, *Norma de la AWWA para Desinfección de Pozos* (traducción de la CNA).

ANSI/AWWA A100-90, *Standard for Water Wells*.

AWWA, *Groundwater*, 1989.

Foster, S. S., Gale, I. N. y Spanhol, I. H., *Effects of Wastewater Recharge on Aquifer Water Quality*, informe No. 2 del libro *Impact of Wastewater Use and Disposal on Groundwater*.

Campbell, M. and Lehr, J., *Well Cementing*, *Water Well Journal*, July 1975.

Chapman, S.L., *The Foreman Story: Idaho Department of Water Administration Closes Flowing Artesian Well*, *Water Well Journal*, October 1972.

Jones, Elmer E., *Well Construction Helps Determine Water Quality*, *Journal of Environmental Health*, Vol. 35, No. 5, 1973.

Dunbar, D., Tuchfeld, H., Siegel, R. y Sterbentz, R., *Groundwater Quality Anomalies Encountered During Well Construction*, publicado en *Groundwater Monitoring Review*, Vol. 5 No. 3, 1985.

Gass, T.E., *The Impact of Abandoned Wells on Ground Water Quality*, *Water Well Journal*, March 1981.

Johnson Division, UOP Inc., *El Agua Subterránea y los Pozos*, 1975.

Johnson, R.C. Jr., Kurt C.E. y Dunham, G.F. Jr., *Well Grouting and Casing Temperature Increases*, *Ground Water* 17:3, 1980.



Keech, D.K., *Plugging Abandoned Wells*, Ground Water Age, January 1973.

Kurt, C.E. y Johnson, R.C. Jr., *Permeability of Grout Seals Surrounding Thermoplastic Well Casing*, Ground Water 20:4, 1982.

McElhiney, W.A., *Cementing Small Wells*, Water Well Journal, January-February 1955.

McGinty, J.E. y Calvert, D.G., *Cementing Off, Plugging and Redrilling*, Water Well Journal, July 1975.

Moehrl, K.H., *Well Grouting and Well Protection*, Journal American Water Works Association, April 1964.

Roscoe Moss Company, *Handbook of Groundwater Development*. John, Wiley and Sons, 1989.

SARH, *Seminario de Capacitación sobre Construcción, Equipamiento, Operación y Mantenimiento de Pozos Profundos*, preparado por la Subsecretaría de Agricultura y Operación, 1980.

US - EPA, *Manual of Water Well Construction Practices*, Office of Water Supply, EANIDAR FORM-570/9-75-001.

Water Well Journal, *Sealing Abandoned Water Wells*, April 1973.

Water Well Journal, *Abandoned Wells: A Problem with a Solution*, October 1975.

11. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

Esta Norma Oficial Mexicana no concuerda totalmente con ninguna norma internacional por no existir referencia en el momento de su expedición.

12. VIGENCIA

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 90 días naturales siguientes a su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, el 7 de enero de mil novecientos noventa y siete.

El Director General de la Comisión Nacional del Agua

GUILLERMO GUERRERO VILLALOBOS



APÉNDICE "A"

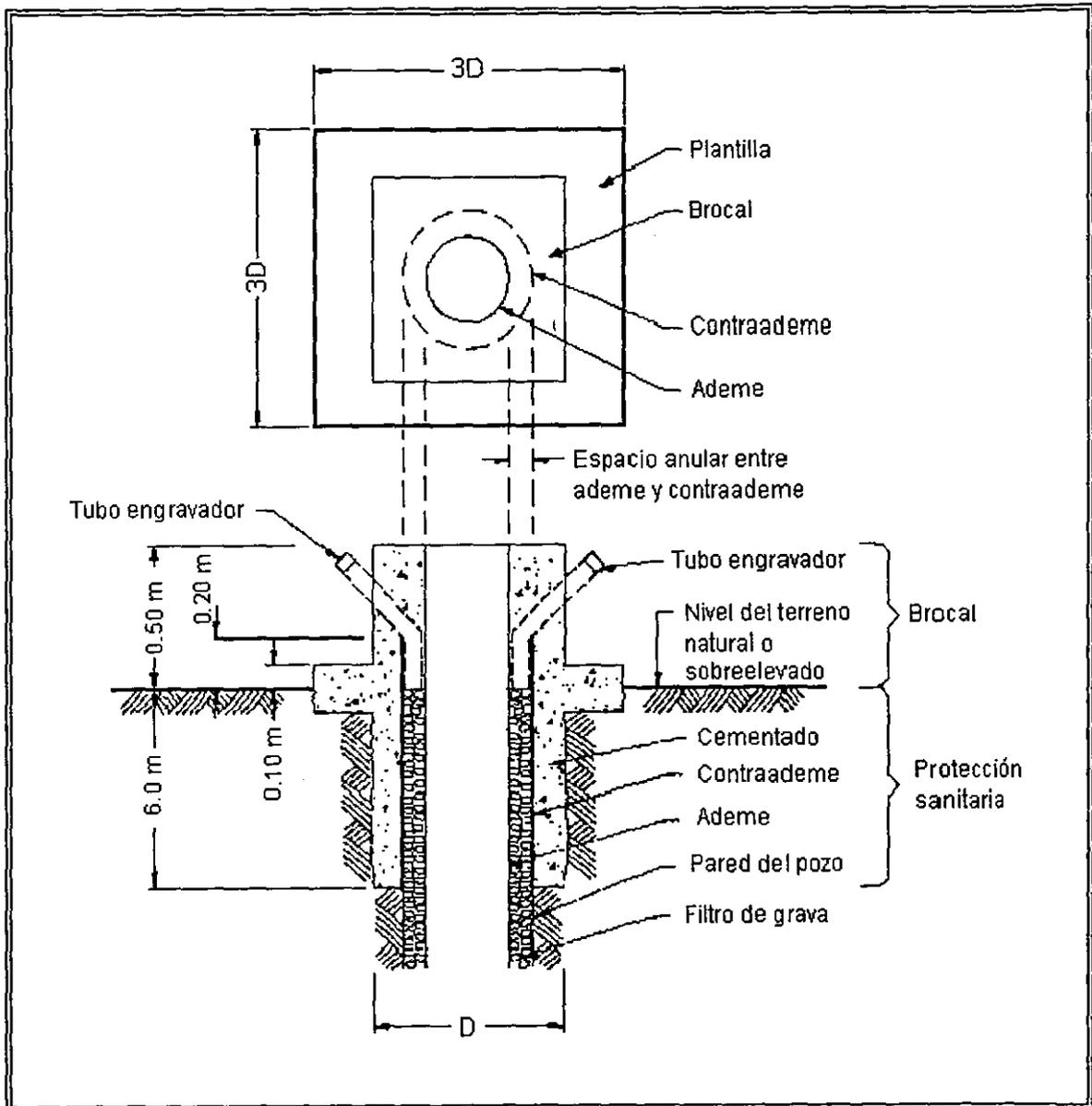
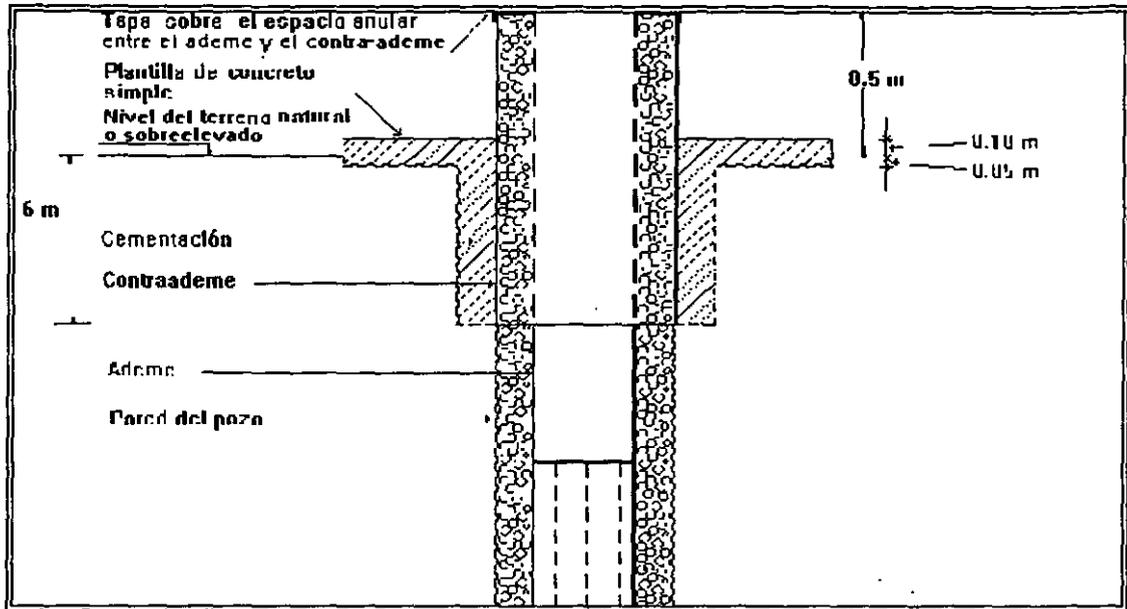


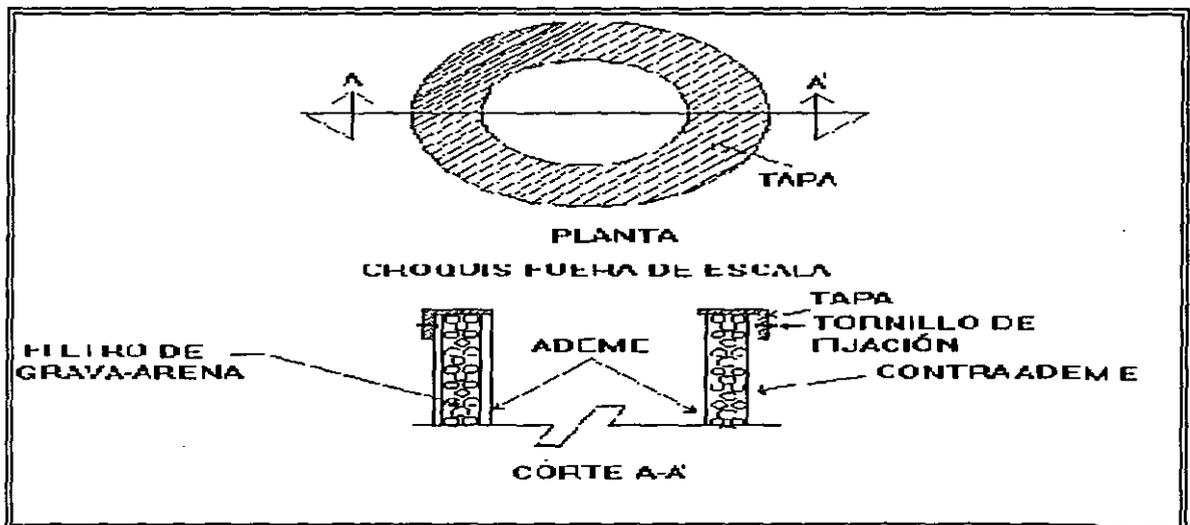
Figura ilustrativa 1



Brocal con ademe y contraademe embebido en concreto

Figura ilustrativa 2

Brocal con tapa removible



Detalle de la tapa sobre el espacio anular del filtro

BIBLIOGRAFÍA

Hidrología subterránea, Tomos I y II
Emilio Custodio / Manuel Ramos Llamas
Ediciones Omega, S.A., 1976

Abastecimiento de agua potable
M.I. Enrique César Valdez
Facultad de Ingeniería UNAM 1994

Manual para el alumbramiento de aguas subterráneas
Banco de México, S.A., 1968

Perforación de pozos profundos
Secretaría de Recursos Hidráulicos 1975

Prospección y explotación de las aguas subterráneas
G. Castany.
Ediciones Omega, S.A., Barcelona 1975

Procedimientos de sondeos. Teoría, práctica y aplicaciones
Jesús Puy Huarte.
Servicios de publicaciones de Madrid 1977

La captación de las aguas subterráneas
Jean Pimienta
Ediciones Técnicas asociados, S.A., Barcelona 1973

Geofísica aplicada para ingenieros y geólogos
D.H. Griffiths / R.F. King
Editorial Paraninfo. Madrid 1972

Geofísica aplicada a la geotecnia
Sociedad de Mecánica de Suelos
UNAM 1985

Tratado de geofísica aplicada
Instituto Geológico y Minero de España

Procedimientos de sondeos teoría, práctica y aplicaciones
Jesús Puy Huarte
Servicio de publicaciones de la JEN
Madrid 1977

Prospección geoelectrica por campos variables
Ernesto Orellana
Editores Paraninfo
Madrid 1974

Principios de geología y geotecnia para ingenieros
D.P. Krynine / W.R. Judd
Ediciones Omega. S.A.,
Barcelona 1975

Exploración magnética
A.A. Cogahev / V.P. Zajarov
Editorial Reverte
Barcelona S.A., 1978

Introducción a la prospección geofísica
Maltón B. Dodrin
Ediciones Omega. S.A.,
Barcelona 1975

Perforación de pozos profundos
Libro 3.3.1
Comisión Nacional del Agua
Julio de 1994

Manual de evaluación de impacto ambiental
Larry W Canter
Mc Graw Hill
Barcelona 1999