



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON.**

7
2ej.

**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE POZOS
PROFUNDOS".**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

HUMBERTO BRAVO SERRANO

Asesor: Ing. Celia Martínez Rayón.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

San Juan de Aragón Edo. de México, 1997.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.



ESCUELA NACIONAL
DE INGENIERIA CIVIL
MEXICO

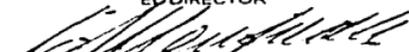
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

HUMBERTO BRAVO SERRANO
PRESENTE

En contestación a su solicitud de fecha 6 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que la profesora, Ing. CELIA MARTINEZ RAYON pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE POZOS PROFUNDOS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento, me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, México, 13 de marzo de 1996
EL DIRECTOR


MERY CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis

CCMC/AIR/ila





A MI PADRE

Porque gracias a sus
consejos y gran ayuda he
logrado cumplir
satisfactoriamente uno de
los objetivos que había
trazado en la vida, por
esta razón estare
eternamente agradecido.

A MIS SERES QUERIDOS

Que lamentablemente ya no
están conmigo, pero que en
la memoria siempre lo
estarán y que, de alguna
manera, me alentaron a
concluir mis estudios. A la
memoria de mi hermana
JUANA y de la persona que
me dio la vida, el tesoro
más preciado del mundo, mi
querida MADRE: a quienes,
por más que pasen los años,
nunca olvidare.

MAMA, HE CUMPLIDO.

A MIS SOBRINOS

Que a pesar de ser tan
pequeñitos me han infundido
tanta fuerza de voluntad
para llegar hasta donde
ahora me encuentro. A ti
CUQUITA y a ti JUANITO que
me alientan a seguir
adelante.

A TODOS AQUELLOS FAMILIARES
Que en alguna forma siempre
estuvieron conmigo
aconsejandome, consolandome
y apoyandome cuando más los
necesité. A CARLOS mi
cuñado, a todos mis tios
(as), a mis primos (as) y en
especial, a esa persona que
me tendió la mano en los
momentos más difíciles, A TI
PADRINO.

A MIS MAESTROS

Porque a través de sus
conocimientos sentaron las
bases necesarias para mi
preparación profesional.

A ESA PERSONA

Que sin pedir nada a cambio
está dispuesta a compartir
todo conmigo.

A ti, la historia
más bella de AMOR
que tuve y tendré.

Nuestras horas son minutos
cuando esperamos saber,
y siglos cuando sabemos
lo que se puede aprender.

Todo pasa y todo queda,
pero lo nuestro es pasar,
pasar haciendo caminos,
caminos sobre la mar.

Caminante, son tus huellas
el camino, y nada más;
caminante, no hay camino,
se hace camino al andar.
Al andar se hace camino
y al volver la vista atrás
se ve la senda que nunca
se ha de volver a pisar.
Caminante, no hay camino,
sino estelas en la mar.

Antonio Machado.

TITULO :

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS PROFUNDOS".

objetivo :

El título de esta tesis se escoge a partir de que existe, aparentemente, poca información, sobretodo actualizada, sobre este tema y que además esté enfocado a la captación de aguas subterráneas.

El diseño y construcción de pozos profundos propiamente dicho engloba varias áreas desde el punto de vista de su utilidad. Así, podemos hablar de pozos petroleros, pozos exploratorios y los pozos para captación y explotación de aguas subterráneas de buena calidad para el consumo humano.

Factos últimos son los que nos interesa tratar mediante un punto de vista descriptivo y enfocado a lo que da título a este trabajo: el diseño y la construcción.

El objetivo primordial que se persigue con este trabajo es el de proporcionar, a todo aquel que requiera de esta información, los elementos básicos para poder realizar un buen diseño de un pozo cualquiera, así como la descripción del proceso constructivo correcto para un buen funcionamiento óptimo del mismo. No nos hemos centrado en un caso específico, por el contrario, la información es general y los elementos a considerar son los mismos para cualquier tipo de pozo que se vaya a diseñar en la práctica; lo que sí tenemos que advertir es que el proceso constructivo tendrá algunas variantes dependiendo de las condiciones geológicas existentes en cada caso en particular, es decir, cada pozo tendrá sus rasgos característicos que lo diferenciarán de otro u otros.

Ahora bien, ¿por qué nos interesa tratar este tema desde el punto de vista constructivo y no desde el punto de vista del funcionamiento hidráulico? ¿por qué nos interesa y llama la atención este tema y sobre todo para el fin último que es la captación de aguas subterráneas?

Justificación :

Desde el surgimiento mismo de la vida en el planeta, todos los seres y organismos vivos han requerido del vital líquido, el agua, para subsistir y reproducirse. Aunque en la actualidad la ingeniería civil ha tenido grandes avances y logros en cuanto a un constante suministro de agua para las principales áreas de crecimiento de un país -tales como: la agricultura, la pesca, la ganadería, la generación de energía y otras más- en base a la construcción de presas, embalses,

conservación y remodelación de lagos naturales, construcción de lagos artificiales, construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, etc.; el hecho es que se ha prestado más atención a la preservación y moderación en el uso del agua dulce superficial. En otras palabras, las fuentes de agua superficial ya están siendo aprovechadas en su mayoría; mientras las demandas de agua, sobre todo agua potable, continúan aumentando progresivamente a causa de la explosión demográfica. Aunado a esto, el grave problema de la contaminación de dichas aguas superficiales provenientes de ríos y lagos nos muestran un panorama poco alentador en el futuro abasto del agua como "elemento indispensable para la supervivencia e higiene de la especie humana e imprescindible para la agricultura e industria".

A estas alturas es de todos conocido que un inadecuado suministro de agua origina graves problemas de salud, fenómeno que se agudiza en los países del tercer mundo, donde, las dos terceras partes de la población la recibe de fuentes contaminadas, ocasionando que un número considerable de personas muera a causa de enfermedades gastrointestinales y/o diarréicas, tal es el caso del cólera.

Esto significa que en el futuro las demandas tendrán que ser satisfechas cada vez en mayor proporción con agua procedente de las fuentes subterráneas. Si a esto se agrega que gran parte del planeta está ocupado por zonas desérticas, donde el único recurso hidráulico se encuentra en el subsuelo, queda fuera de toda duda la gran importancia de este recurso.

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

Ya en 1974 el ingeniero Vicente Vargas Alcántara advertía que "la escasez de agua se agrava día a día en grandes regiones del mundo, por lo que la perforación de pozos está cobrando un vigoroso incremento y llegará pronto a ser de capital importancia en nuestro desarrollo nacional". Esto es, que hace más de 20 años ya se vislumbraba la posibilidad de contar con un buen suministro de agua potable para el ser humano y que ahora, en nuestros días, cada vez se hace más difícil debido a la contaminación ambiental.

INDICE

Página

CAPITULO I

(INTRODUCCION)

1.	Introducción	1
1.1.	El ciclo hidrológico y el agua subterránea	2
1.1.1.	El ciclo hidrológico	2
1.1.2.	El agua subterránea	4
1.1.3.	Ventajas y desventajas del agua subterránea	5
1.2.	Distribución del agua en el subsuelo	6
1.2.1.	Zona de aereación o de aguas suspendidas	7
1.2.2.	Zona de saturación o de aguas sostenidas	10
1.3.	Los acuíferos y las formaciones geológicas	10
1.3.1.	Concepto de acuífero	10
1.3.2.	Tipos de acuíferos	11
1.3.3.	Comportamiento de los acuíferos en la recarga	13
1.3.4.	Las formaciones geológicas como acuíferos	14
1.4.	La recarga de acuíferos	24
1.4.1.	La precipitación pluvial como fuente de recarga	26
1.4.2.	La infiltración y la recarga de acuíferos	33
1.4.3.	La recarga artificial de acuíferos	42
1.5.	La calidad del agua subterránea	51
1.5.1.	Calidad física del agua	52
1.5.2.	Calidad microbiológica del agua	52
1.5.3.	Calidad química del agua	52

CAPITULO II

(ESTUDIOS PRELIMINARES)

2.	Estudios preliminares de exploración	56
2.1.	Estudios geohidrológicos	57
2.1.1.	Prospección	58
2.1.2.	Cuantificación	81
2.1.3.	Predicción	82

CAPITULO III

(DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS)

3.	Diseño de pozos profundos	83
3.1.	Importancia del diseño del pozo	84
3.2.	Normas de diseño	86
3.2.1.	Cámara de bombeo	86

3.2.2. Zona de captación	91
3.2.3. Protección sanitaria	121
A N E X O A	126

CAPITULO IV

(CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE POZOS PROFUNDOS)

4. Construcción y equipamiento de pozos profundos	137
4.1. Métodos de perforación	138
4.1.1. Método de percusión o pulsata	139
4.1.2. Método rotatorio	153
4.2. Suministro y colocación de tubería de ademe	165
4.2.1. Concepto de ademe	165
4.2.2. Tipos de ademe	165
4.2.3. Colocación de ademe	169
4.2.4. Colocación del pozo y tubería de ademe	170
4.3. Instalación de la rejilla del pozo	175
4.3.1. Método de retracción del ademe	176
4.3.2. Método de agujero abierto	178
4.3.3. Método de achicamiento	180
4.3.4. Método de lavado o de chorro	181
4.4. Suministro y colocación del filtro de grava-arena	184
4.4.1. Suministro del material para filtros	184
4.4.2. Colocación del filtro	185
4.5. Desarrollo y estimulación de pozos	186
4.5.1. Métodos de desarrollo	189
4.5.2. Métodos de estimulación	195
4.6. Selección y cálculo del equipo de bombeo	197
4.6.1. Datos necesarios para la selección del equipo de bombeo	198
4.6.2. Cálculo del equipo de bombeo	202
4.7. Instrucciones para montaje de bombas de pozos profundos	211
A N E X O B	225

CAPITULO V

(OPERACION Y MANTENIMIENTO DE POZOS PROFUNDOS)

5. Operación y mantenimiento de pozos profundos	236
5.1. Importancia de una operación y mantenimiento adecuados	237
5.2. Factores que afectan la vida útil de los pozos	238
5.2.1. Condiciones regionales	238
5.2.2. Diseño inadecuado	239
5.2.3. Calidad del agua subterránea	240
5.3. Medición y diagnóstico	245
5.3.1. Información general	245
5.3.2. Problemas de reducción de rendimiento en los pozos	245
5.3.3. Mediciones y registros	247

5.4.	Mantenimiento preventivo	248
5.4.1.	Observación del comportamiento del pozo y equipo de bombeo	248
5.4.2.	Mantenimiento de los equipos electromecánicos	249
5.5.	Mantenimiento correctivo	250
5.5.1.	Instalaciones eléctricas	250
5.5.2.	Motores	250
5.5.3.	Equipo de bombeo	251
5.5.4.	Inspección del interior del ademe. Diagnóstico	251
5.5.5.	Tratamiento de los pozos	252
5.6.	Evaluación de tratamientos	254
5.7.	Parámetros de evaluación	255
5.7.1.	Vida útil de los pozos	255
5.7.2.	Eficiencias electromecánicas e hidráulicas	255
5.7.3.	Costos de bombeo	256

C A P I T U L O V I

(CONCLUSIONES)

CONCLUSIONES	257
--------------	-----

BIBLIOGRAFIA	261
--------------	-----

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

CAPITULO I : INTRODUCCION.

1.1. EL CICLO HIDROLOGICO Y EL AGUA SUBTERRANEA.

1.1.1. El ciclo hidrológico.

El agua en la hidrósfera (ámbito constituido por la atmósfera y por las capas superiores de la corteza terrestre), se encuentra en los tres estados físicos: sólido, líquido y gaseoso. De los tres el segundo es el de mayor importancia ya que en esa forma encontramos a la lluvia, los ríos y lagos; y también las aguas subterráneas o de la zona saturada.

El concepto de ciclo hidrológico lleva consigo el movimiento y la transferencia de las masas de agua de un sitio a otro y de un estado a otro. El movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol, que proporciona la energía para elevar el agua del subsuelo, al evaporarla; la segunda, la gravedad, que hace que el agua condensada se precipite y que, una vez sobre la superficie, vaya hacia las zonas más bajas.

El ciclo se inicia cuando la evaporación, que tiene lugar en la superficie de los océanos y otras masas abiertas de agua, da por resultado la transferencia de vapor de agua a la atmósfera. En ciertas condiciones, este vapor se condensa para formar nubes, las cuales, subsiguientemente, liberan su humedad como precipitación en forma de lluvia, granizo, cenizas o nieve. La precipitación puede ocurrir sobre los océanos regresando algo del agua directamente a ellos o sobre la tierra, en la que los vientos han transportado previamente la humedad del aire y las nubes.

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 circula sobre la superficie y se concentra en pequeños regatos que luego se reúnen en arroyos y más tarde desembocan en los ríos -escorrentía superficial-; ésta agua irá a parar a lagos o al mar de donde será evaporada nuevamente o bien, se infiltrará en el terreno.

Por último, hay una tercera parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno, por medio de la infiltración, a través de los agujeros o canaliculos del suelo y va rellenando los poros o fisuras de éste medio poroso, dando lugar a lo que se conoce como aguas subterráneas.

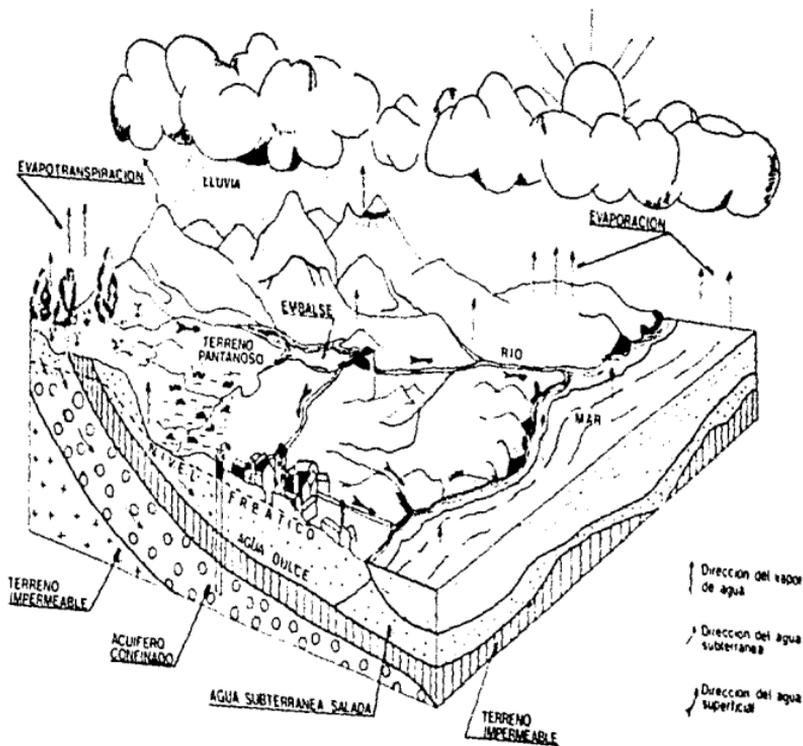


FIG. 1.1 El ciclo hidrológico

1.1.2. El agua subterránea.

Si partimos desde un punto de vista conceptual, podemos decir que las aguas subterráneas son las que existen entre los intersticios del terreno, bajo su superficie. El agua del subsuelo o subterránea representa también una parte muy importante en el ciclo hidrológico. La mayor parte de flujo en corrientes permanentes de agua proviene del agua subterránea, mientras que una gran parte del flujo en corrientes intermitentes puede filtrarse bajo la superficie.

El agua subterránea, llamada también agua de la zona saturada, puede volver a la atmósfera por evapotranspiración cuando su zona de separación con la zona no saturada -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.

Así, resulta que la mayor parte de las aguas de la escorrentía directa y de la subterránea terminan en el mar, y por ello, puede considerarse que los océanos son el punto final del ciclo hidrológico, pues de ellos vuelve a evaporarse el agua y se inicia de nuevo todo el proceso.

El ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al mismo después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea.

Ahora bien, contraponiendo en lo que al agua subterránea se refiere, la aparente falta de regularidad en la aparición de afloramientos de dichas aguas y la dificultad de su previsión, unido, a la enorme importancia que en algunas regiones ha representado su existencia para la vida de los pueblos, han dado un carácter curiosamente misterioso a los estudios que se les han dedicado desde la antigüedad más remota.

Estimaciones comparativas han revelado que, a nivel mundial, el recurso hidráulico disponible en el subsuelo es mucho mayor que el existente en la superficie.

El hecho es que las fuentes de agua superficial ya están siendo aprovechadas en su mayoría, mientras las demandas de agua continúan aumentando progresivamente a causa de la explosión demográfica. Esto significa que en el futuro las demandas tendrán que ser satisfechas cada vez en mayor proporción con agua procedente de las fuentes subterráneas. Si a esto se agrega que gran parte del planeta está ocupado por zonas desérticas, donde el único recurso hidráulico disponible se encuentra en el subsuelo, queda fuera de toda duda la gran importancia de este recurso.

1.1.3. Ventajas y desventajas del agua subterránea.

Pero además de su mayor abundancia, el agua subterránea presenta, por naturaleza, varias ventajas con respecto al agua superficial como son:

- a) Menores pérdidas por evaporación. Todos los recipientes de agua superficial pierden cantidades significativas de agua por evaporación. Por ejemplo, en una zona donde la lámina de evaporación anual es de 2 m/año, una masa de agua superficial perdería por este concepto un volumen del orden de 2 millones de m³/Km² de extensión superficial. Este volumen sería equivalente al extraído por un pozo que operará continuamente durante todo el año con un caudal de unos 60 l.p.s. En cambio, los recipientes subterráneos sólo pierden cantidades importantes de agua por evapotranspiración cuando los niveles freáticos se encuentran muy someros.
- b) Menor exposición a la contaminación. Es bien sabido que uno de los grandes problemas de la actualidad es el de la contaminación: la gran mayoría de las corrientes y masas de agua superficial se están contaminando rápidamente en mayor o menor grado. El agua subterránea, en cambio, está relativamente salvaguardada de ese precepto, gracias a que los materiales granulares funcionan como un gran filtro que retiene los contaminantes, especialmente los biológicos.
- c) Disponibilidad menos afectada por las variaciones climáticas. Uno de los problemas más serios que enfrenta el aprovechamiento de las aguas superficiales, es que su disponibilidad depende especialmente de las variaciones de la precipitación pluvial, al grado de que en uno o dos años consecutivos tal disposición puede ser prácticamente nula. Por el contrario, los recipientes subterráneos resultan, en general, mucho menos afectados por esto, gracias a que existe una reserva almacenada, acumulada durante siglos, generalmente mucho mayor que la recarga anual, permitiendo una explotación más flexible del recurso.
- d) Distribución más amplia en el área. El agua superficial es un recurso transitorio y su presencia es relativamente localizada. Su aprovechamiento en gran escala, por tanto, requiere de obras de almacenamiento y conducción. En cambio, en el subsuelo el agua tiene una distribución muy amplia, lo que permite su captación en el sitio donde va a ser utilizada, o en sus inmediaciones. El vaso de almacenamiento ya existe en el subsuelo, construido por la naturaleza, y funciona al mismo tiempo como un gran conducto.
- e) No hay pérdidas de la capacidad de almacenamiento. Todo vaso superficial pierde gradualmente su capacidad de almacenamiento al ser azolvado por los sedimentos que transportan las corrientes que lo alimentan, hasta que eventualmente puede quedar inutilizado. La capacidad de almacenamiento de los vasos subterráneos no es afectada significativamente en la gran mayoría de los casos.

f) Temperatura del agua constante. El agua superficial al estar expuesta a los cambios atmosféricos, varía continuamente en su temperatura. En países fríos, donde el agua llega a congelarse durante los períodos invernales, esto constituye un serio problema. La temperatura del agua subterránea, por el otro lado, es casi constante, debido a que el subsuelo funciona como un regulador térmico.

El recurso subterráneo presenta también algunas desventajas. La primera y principal es que el agua subterránea no es visible, y esto dificulta seriamente su estudio, la cuantificación, su explotación racional y su manejo.

Realizando una comparación entre los acuíferos con sus equivalentes superficiales, imaginemos que se desea construir una presa y necesitamos estudiar el área donde se pretende emplazar. Podemos apreciar por inspección visual la forma y dimensiones del probable vaso, fotografiarlo y realizar levantamientos topográficos detallados de él, para determinar con cierta precisión su capacidad de almacenamiento; también podemos medir directamente las alimentaciones mediante estaciones de aforo; conocer sus pérdidas por evaporación a través de observaciones en tanques; muestrear el agua para conocer su calidad mediante análisis, etc.

Ahora imaginemos que se desea explotar el acuífero de un valle. Mediante reconocimiento de campo podemos tener una idea de la extensión del acuífero, de los materiales que lo forman y de los que lo limitan. Pero ¿Cuál es la geometría del acuífero en el subsuelo?, ¿A qué profundidad se encuentra el agua subterránea?, ¿Qué alimentación recibe el acuífero y cuál es su volumen almacenado?, ¿Cuál es la distribución de la calidad del agua?, ¿Qué volumen de agua podemos extraer en forma permanente sin inducir efectos perjudiciales?

Contestar estas interrogantes es más difícil porque sólo podemos "ver" al acuífero a través de los pozos. Como veremos más adelante, los estudios geohidrológicos, en cuya realización intervienen diversas disciplinas en forma complementaria, tienen por objetivo, precisamente, el de esclarecer estas cuestiones.

1.2. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL SUBSUELO.

Es muy difundida la creencia de que en el subsuelo el agua se encuentra formando enormes lagos subterráneos o corrientes muy localizadas que fluyen a lo largo de conductos de gran tamaño. Sin embargo, aunque así se presenta en algunos

acuíferos constituidos por rocas carbonatadas, en la gran mayoría de los casos el agua circula y se almacena en los poros que dejan entre sí las partículas de material; es decir, en un medio poroso.

Las características del medio poroso -tamaño, forma e interconexión de los poros-, pueden ser muy variables, y dependen de los procesos geológicos que lo originaron. Por lo tanto, el conocimiento del marco geológico es esencial para la comprensión del comportamiento del agua subterránea.

En el subsuelo el agua que se encuentra distribuida en los intersticios o poros de las rocas se puede dividir en dos zonas principales de acuerdo con un perfil vertical (tal como se observa en la fig. 1.2) y son: la zona de aireación y la zona de saturación; ambas regiones se encuentran separadas por una superficie irregular llamada nivel freático o tabla de agua.

1.2.1. Zona de aireación o de aguas suspendidas.

La zona de aireación está comprendida entre la superficie del terreno y el nivel freático. Aunque regularmente en esta zona todos los poros o espacios abiertos en los componentes de la tierra se encuentran completamente llenos o saturados de agua, también es común encontrar en algunos poros una mezcla de aire y agua.

Dicha zona de aireación, también llamada zona vadosa, puede dividirse en tres capas o subzonas, de acuerdo a la clasificación que hace G. Castany, siendo estas: la zona de evapotranspiración o capa de agua de suelo, la zona de retención o capa intermedia y, por último, la franja o borde capilar.

Zona de evapotranspiración.

La zona de evapotranspiración yace inmediatamente debajo de la superficie del suelo, y esta es la región de la que las plantas extraen, por medio de sus raíces, la humedad necesaria para su desarrollo. Es, por excelencia, la zona de alteración de los suelos. El coeficiente de saturación no está ya únicamente determinado por el coeficiente de retención específica, sino también por la acción de la evapotranspiración y por la alimentación en aguas superficiales. En el caso de aportes deficitarios, la evaporación, por la acción de las raíces de las plantas, elimina progresivamente el agua de retención y hace descender la tasa de humedad por debajo del 75 %, hasta un límite mínimo, el coeficiente de marchitez. Por el

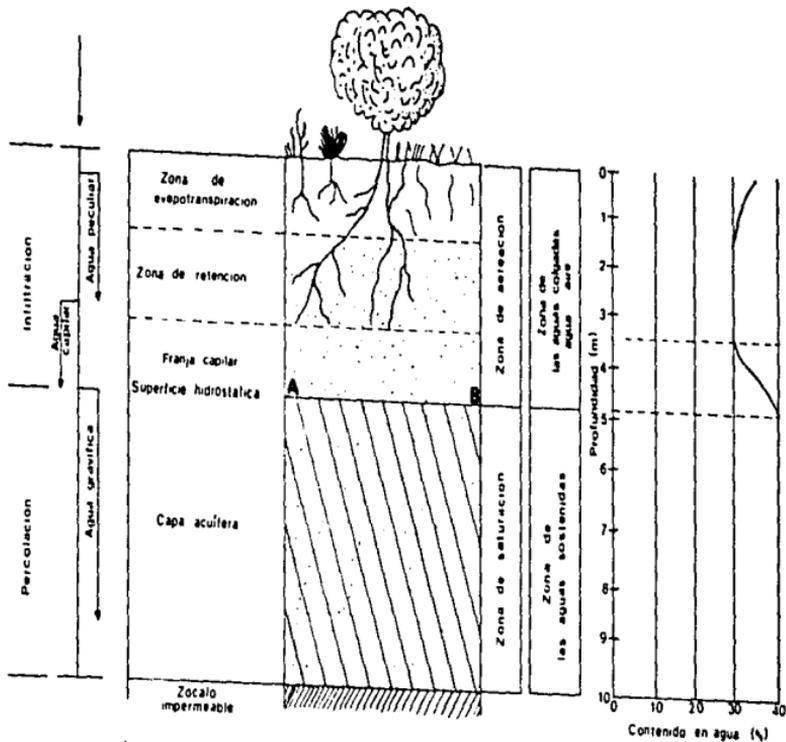


FIG. 1.2 Repartición del agua en el suelo y en el subsuelo (Caso teórico).

contrario, cuando hay precipitaciones, el volumen de agua aumenta hasta un máximo, que puede ser superior al coeficiente de retención específica, determinado por la velocidad del flujo de las aguas de infiltración.

El espesor de esta zona varía en función del clima y del tipo de cobertura vegetal. En la zona templada, alcanza de 1 a 2 m, por término medio y raras veces llega a los 3 m.

Zona de retención.

Yace entre la zona de evapotranspiración y la franja capilar. La mayor parte de su agua llega por gravedad hacia abajo a través de la zona de evapotranspiración.

El agua de esta zona no presenta ningún vínculo hidráulico con las capas inferiores; es el dominio exclusivo de las aguas suspendidas, también llamadas aguas vadosas.

El espesor medio de esta zona es de 0.6 a 2 m, pero puede alcanzar 10 ò 20 m o, por el contrario, faltar completamente.

Franja capilar.

La franja o borde capilar ocupa la porción del fondo de la zona de aereación y yace inmediatamente sobre la zona de saturación. Su nombre procede del hecho de que el agua, en esta franja, está suspendida por fuerzas capilares semejantes a las que causan que el agua se eleve en un tubo estrecho o capilar, por encima del nivel del agua contenida en un recipiente mayor que aloja verticalmente al tubo. Mientras más estrecho sea el tubo o los poros, más se elevará el agua.

Podemos distinguir dos tipos de agua capilar: el agua capilar aislada y el agua capilar continua. La primera es común a toda la zona de aereación y se incluye en la categoría del agua suspendida.

La segunda, pertenece al agua sostenida y caracteriza la franja capilar. Es capaz de fluir libremente si desciende el nivel hidrostático al que está ligada hidráulicamente.

La potencia de la franja capilar varía en razón inversa de la granulometría. Desde unos decímetros, en los terrenos muy permeables, como las gravas, crece hasta unos 3 o 4 m en los limos, en los que alcanza un máximo. Es de 30 a 60 cm en las arenas, de 120 cm en las margas y de 300 cm en los limos. Sigue las fluctuaciones

del nivel de la superficie piezométrica.

1.2.2. Zona de saturación o de aguas sostenidas.

Inmediatamente bajo la zona de aereación yace la zona freática o saturada en la cual los poros están completamente llenos o saturados de agua, es decir, los espacios vacíos están ocupados enteramente por el agua. El tenor en agua es igual al volumen de los espacios vacíos, y por tanto, la porosidad total. Es el dominio de las aguas subterráneas que pueden alimentar a los pozos y las fuentes. Las aguas de percolación están localizadas allí.

El objeto de la construcción de un pozo es penetrar la tierra en esta zona con un tubo, cuya sección inferior tiene aberturas de un tamaño tal que permiten la entrada del agua desde la zona de saturación, pero excluyen las partículas de roca. Las formaciones que contienen agua del subsuelo y que la proporcionan fácilmente a los pozos son llamadas acuíferos.

1.3. LOS ACUIFEROS Y LAS FORMACIONES GEOLOGICAS.

1.3.1. Concepto de acuífero.

En la hidrología subterránea, se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades.

Si analizamos detenidamente este concepto, (del latín agua = agua y fero = llevar), se aprecia que el agua encerrada en una formación geológica cualquiera (gravas de un río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas) puede estar ocupando ya sea los poros o vacíos intergranulares que presenta la misma, ya sean las fracturas, diaclasas o grietas que también pueden darse. En este sentido algunos autores, especialmente de origen francés, denominan a los acuíferos de acuerdo al tipo de formación en la que se encuentren, así tenemos a los acuíferos por porosidad y los acuíferos por fracturación o fisuración.

La idea de un aprovechamiento económico del agua encerrada en un acuífero, es

relativa en sí misma, ya que puede ser tan importante la obtención de 100 o más litros por segundo para una industria papelera, como la obtención de 1 l/seg. para los habitantes de una pequeña aldea situada, especialmente, en una zona árida. En realidad, formaciones geológicas que puedan considerarse como totalmente impermeables no existen, puesto que aún un nivel de pizarras arcillosas puede poseer un nivel de alteración superficial que permita una pequeña circulación de aguas subterráneas, y por lo tanto constituyen un acuífero, quizás muy pobre, pero acuífero al fin y al cabo.

Como ejemplos del término anterior se pueden citar los aluviones de los ríos, formados por una mezcla de gravas y arenas; las areniscas poco cementadas; algunos tipos de rocas volcánicas; formaciones calcáreas muy karstificadas como veremos más adelante.

Por el contrario, un acuícludo (del latín claudere = encerrar o cerrar) se define como aquella formación geológica que conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Dentro de este grupo pueden incluirse los cieno y lúgamos (arcillas por lo general) de origen deltaico y/o de estuario, que apesar de poseer enormes cantidades de agua (superiores al 50 % en volumen) no son hidrogeológicamente aptos para la construcción de captaciones de aguas subterráneas.

El tercero de estos términos, es decir, acuitardo, (del latín tardare = retardar) hace referencia a la existencia de numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente por lo que tampoco son aptos para el emplazamiento de captaciones, pero sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que pueden llegar a ser muy importantes en ciertos casos. Por ejemplo, un nivel de arcillas limosas o arenosas puede comportarse como un acuitardo, si está dispuesto encima o debajo de un acuífero más importante, al cual puede recargar, o incluso recibir agua del mismo.

Finalmente, se denomina acuífugo (del latín fugere = huir) a aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo, un macizo granítico no alterado, o una roca metamórfica sin apenas meteorización ni fracturación.

1.3.2. Tipos de acuíferos.

Todos los acuíferos que ya se han mencionado han sido clasificados con respecto a sus características litológicas. A continuación se menciona otra clasifi

cación más importante desde el punto de vista hidráulico y que los agrupa de acuerdo con la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos. Así, de esta manera, los acuíferos pueden clasificarse en tres tipos principales: confinados, semiconfinados y libres.

Acuífero Confinado.

Se le da el nombre de acuífero confinado a aquel que está limitado superior e inferiormente por formaciones relativamente impermeables. El agua de los mismos está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene, saturándola totalmente. Por ello, durante la perforación de pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo del mismo se observa un ascenso rápido del nivel del agua hasta estabilizarse en una determinada posición. De acuerdo con éste y la posición del nivel topográfico de la boca del pozo pueden considerarse pozos surgentes o fluyentes aquellos en los cuales el nivel piezométrico está situado a cota superior de la boca del pozo y simplemente artesianos o a presión a los pozos en el mismo acuífero, pero cuyo nivel piezométrico quede por debajo de la superficie topográfica en los alrededores del mismo.

Así pues, estos acuíferos poseen una superficie piezométrica ideal, que puede materializarse considerando todos los niveles que alcanzaría el agua en sondas perforaciones distribuidas por el acuífero en la vertical de cada punto.

Acuífero semiconfinado.

Una variedad de los anteriores la constituyen los acuíferos semiconfinados o semiconfinados, y están limitados por formaciones menos permeables que el mismo, pero a través de las cuales puede recibir, o ceder, como ya se había mencionado, volúmenes significativos de agua. Esto es, en este tipo de acuíferos el muro (parte inferior) y/o el techo (parte superior) que lo encierran no son totalmente impermeables sino un acuitardo, es decir, un material que permita una filtración vertical del agua, muy lenta, que alimente al acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del mismo.

Como es lógico, este paso vertical de agua es sólo posible cuando existe una diferencia de potenciales entre ambos acuíferos (el que recarga y el recargado) y puede hacerse en uno u otro sentido, e incluso variar con el tiempo según sea la

posición relativa de los niveles piezométricos de los mismos.

Acuifero libre.

Por último, tenemos a los acuíferos libres, no confinados o freáticos, en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, superior al nivel freático y que está en contacto directo con el aire y, por lo tanto, a presión atmosférica. En estos, al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente, la superficie obtenida por los niveles del agua de cada pozo forma una superficie real.

Haciendo un analogía con obras hidráulicas, podemos decir que el acuífero confinado funciona como una tubería a presión, y el acuífero libre, como un canal.

En pozos que captan acuíferos confinados o semiconfinados, el nivel del agua asciende por arriba de la frontera superior del acuífero, la superficie imaginaria definida por los niveles de agua de pozos que penetren este tipo de acuíferos recibe el nombre de superficie piezométrica; sus variaciones corresponden a cambios en la presión a que está sometida el agua en el acuífero y puede encontrarse, en un punto dado, arriba o abajo del nivel freático. Cuando dicha superficie se encuentra arriba de la superficie del terreno, da lugar a pozos brotantes. Los acuíferos confinados o semiconfinados pueden transformarse en libres cuando la superficie piezométrica desciende bajo la frontera superior del acuífero.

1.3.3. Comportamiento de los acuíferos en la recarga.

Todo acuífero tiene mecanismos naturales de recarga y descarga que pueden ser modificados mediante recarga y/o descarga artificiales.

La recarga natural del acuífero ocurre por la infiltración de agua de lluvia en formaciones permeables, aunque no toda el agua que se infiltra llega al acuífero, debido a que una parte de ella es retenida por las formaciones que se encuentran arriba del nivel freático. El acuífero puede ser recargado también artificialmente, mediante la infiltración de agua a través de obras construidas con ese fin. De estos métodos de recarga hablaremos más adelante y con mayor amplitud.

La descarga natural tiene lugar a través de manantiales y cauces, por evapotranspiración en áreas con nivel freático somero, o subterráneamente al mar o a cualquier masa de agua superficial (lagunas, lagos, vaso, etc.).

El agua se mueve en el acuífero, de las zonas de recarga a las de descarga, siguiendo las trayectorias de menor resistencia y a una velocidad que depende de la permeabilidad de las rocas y del gradiente hidráulico. La velocidad puede variar desde unos cuantos centímetros por año en materiales arcillosos, hasta varios cientos de metros por año en gravas; aunque en algunas rocas volcánicas y calizas puede llegar a ser de varios kilómetros por año.

Los niveles freáticos y piezométricos oscilan continuamente respondiendo a la recarga y descarga del acuífero. Si el nivel del agua (freático o piezométrico) no está afectado por la operación de una captación, se le llama nivel estático; en caso contrario, se le llama nivel dinámico.

El conocimiento de los mecanismos de recarga y descarga de un acuífero, es indispensable para cuantificar sus potencialidad y planear su explotación racional. Y requiere de la observación continua del comportamiento de los niveles del agua en pozos distribuidos en la zona considerada.

1.3.4. Las formaciones geológicas como acuíferos.

La mayor parte de los acuíferos que se explotan y tienen el mejor rendimiento en el mundo están en sedimentos no endurecidos, en sedimentos marinos karstificados y en rocas ígneas extrusivas; México no podía ser la excepción a esta regla; sin embargo, por la dependencia de la definición de acuífero de la escasez de agua en un sitio, no se pueden hacer a un lado otras formaciones geológicas. Por esta razón se describen a continuación el comportamiento geohidrológico de las rocas siguiendo su clasificación geológica más amplia: ígneas, sedimentarias y metamórficas; aunque desde luego se hará con algo más de detalle.

Rocas ígneas intrusivas y extrusivas.

Las masas de rocas fundidas situadas en las profundidades se conocen con el nombre de magma; sin embargo, si fluyen hacia la superficie a través de fisuras y erupciones volcánicas, reciben el nombre de lavas. Las rocas ígneas se forman al enfriarse el magma y la lava y forman el tipo principal de rocas terrestres.

Las rocas ígneas intrusivas, también llamadas plutónicas, son aquellas que se han formado en cámaras subterráneas profundas dentro de la corteza terrestre. Las rocas ígneas efusivas, extrusivas o también llamadas volcánicas, son aquellas que se han formado en la superficie de la tierra. En estas se incluyen las coladas de

lava solidificada en la superficie, los piroclásticos producto de erupciones violentas (los conos volcánicos formados por ambos materiales) y los diques.

Todas las rocas ígneas intrusivas se clasifican en función de su textura y composición mineral.

El tamaño, la forma y el tipo de granos minerales de una roca constituyen su textura. La textura de una roca ígnea revela normalmente las condiciones de enfriamiento.

Una textura de grano fino tiene cristales que no pueden observarse a simple vista. Esta es la textura de la mayoría de las rocas volcánicas que enfrían con relativa rapidez al estar expuestas al aire libre. El basalto, la roca volcánica más abundante, sirve para demostrarlo.

Una roca con grano grueso posee cristales suficientemente grandes como para observarlos directamente. Muchas de las rocas plutónicas que enfrían lentamente en las profundidades de la tierra tienen este tipo de textura. El granito, la roca plutónica más abundante, lo demuestra.

La textura piroclástica o fragmentada se produce por la reunión de rocas ígneas, fragmentadas por explosiones volcánicas. Están compuestas por astillas de vidrios volcánicos, trozos de pumitas, fenocristales y fragmentos de rocas volcánicas, todos ellos cementados o unidos entre sí. Un ejemplo son las tobas o coladas volcánicas, los conglomerados y las cenizas.

Las coladas de lava se disponen normalmente con mantos extensos de algunos metros de espesor; sin embargo, se encuentran formaciones muy potentes como consecuencia de varias coladas superpuestas.

Las cantidades y tipos de minerales, en una roca ígnea, dependen de la composición química del magma o de la lava de que proceden.

Las rocas ácidas poseen una elevada proporción de sílice. El cuarzo y los feldespatos predominan en ellas, poseyendo colores claros y pesos específicos bajos. El granito y la riolita son de este tipo.

Las rocas básicas contienen menos sílice y más hierro y magnesio que las ácidas. Aunque se encuentran en ellas algunos feldespatos, predominan los minerales ferromagnésicos, piroxenos, anfíboles, olivino y biotita. El color es más oscuro y el peso específico mayor que en las rocas ácidas. El grafo, la dolerita y el basalto son ejemplos de rocas básicas.

Los magmas básicos son más fluidos que los ácidos por lo que forman coladas más delgadas que se enfrían rápidamente y forman vesículas y grietas de contracción lo que les da porosidad y permeabilidad. La parte superior de una colada es más

permeable que la inferior. Cuando pasa mucho tiempo entre dos coladas, se forman entre ambas depósitos que las separan y que rellenan los huecos de las más antiguas; por esto, las coladas más jóvenes son las más permeables.

Los piroclásticos son más permeables entre menos soldados entón sus granos, o sea, entre más frío haya sido el ambiente de su depósito.

La alta permeabilidad y capacidad de infiltración de algunos de estos materiales obliga a que sean aprovechados en lugares bajos, a menos que descansan sobre formaciones impermeables; es por esto importante determinar los materiales que los subyacen, en lo que es de gran ayuda la geología histórica regional.

El uso de la geofísica en estos materiales es limitado porque se tienen en general pocos contrastes.

En coladas de lava, dada la irregular distribución de las vesículas y de las fracturas, es conveniente perforar pozos por percusión, ya que al utilizar perforadoras rotatorias es difícil y nocivo para el acuífero mantener la circulación cuando se llega de pronto a los huecos. En materiales piroclásticos, en cambio, es recomendable el uso de rotatorias.

La calidad del agua es buena en las rocas ígneas extrusivas, pero por su alta capacidad de infiltración, es fácilmente contaminable.

Rocas sedimentarias.

En volumen, las rocas sedimentarias son solamente alrededor de una décima parte menos abundante que las rocas ígneas, en la corteza terrestre. No obstante, cubren las tres cuartas partes de la superficie de los componentes de la tierra.

Las rocas sedimentarias son formaciones que se han producido por el depósito de fragmentos de otras rocas que han sido intemperizadas por diferentes agentes.

Los sedimentos se pueden acumular en lagos, en terrenos inundables, en un delta o en el mar. En vastas zonas de Norteamérica y el Norte de Europa aparecen acumulaciones de sedimentos depositados por los glaciares. El gran cañon es un ejemplo extraordinario de rocas sedimentarias.

Geológicamente hablando, podemos decir que existen tres tipos de rocas sedimentarias: las clásticas, que están formadas por fragmentos de otras rocas preexistentes, partículas y conchas transportadas hasta el lugar de deposición y cementadas. Las rocas de precipitación química, que son acumulaciones de sedimentos depositados cuando el agua de mares y lagos, o cualquier otra que contenga sustancias en disolución, se evapora o se satura. Los sedimentos orgánicos forman

la tercer subdivisión, y se componen de acumulaciones de restos de plantas y animales. Cabe aclarar que únicamente se hace mención de esta clasificación de las rocas sedimentarias, pues para fines de nuestro objetivo primordial nos basaremos en otra clasificación en que se describen las formaciones de depósito reciente (cuaternario) y que maneja otros tres tipos de rocas sedimentarias: sedimentos endurecidos, no endurecidos y las rocas carbonatadas kársticas; como veremos más adelante.

La litificación, conversión de los sedimentos sueltos en rocas compactas, comprende fases de compactación y cementación. Durante la compactación, el agua es expulsada de entre los fragmentos y la presión ejercida sobre los sedimentos acumulados encima los aprietan entre sí. La cementación implica la deposición de material mineral entre los granos, ocupando los espacios que había entre ellos. Sustancias tales como el carbonato cálcico, el sílice y los óxidos de hierro son cementos naturales efectivos que unen a los granos entre sí formando una roca.

Las rocas sedimentarias tienen, típicamente, una posición horizontal, a menos que los movimientos de la tierra los alteren. La mayoría presentan capas, o estratos, definidas; característica sobresaliente de éstas rocas. Los estratos muy delgados se llaman láminas. Los más gruesos, capas o estratos. Estratos diferentes pueden mostrar variaciones en su textura, color y composición, posible resultado de cambios estacionales, en la pluviosidad, tormentas o de fluctuaciones del nivel del mar. Si no hay distorsiones, el estrato más alto de una serie es el más joven y el más bajo el más antiguo.

Las coloraciones de las rocas sedimentarias son mucho más variadas que las de las rocas ígneas. Algunas veces la distribución de los colores es el resultado de la ordenación de los fragmentos que dieron lugar a la roca. Otras veces depende del cemento que rellena los espacios entre los granos. Varios compuestos del hierro, por ejemplo, pueden colorear a una roca de rojo, marrón, rosa amarillo, púrpura o verde. Otro motivo de la diversidad de coloración de las rocas es el contenido en materia orgánica que provoca el oscurecimiento de la roca desde gris claro a negro.

Las rocas sedimentarias presentan con frecuencia marcas producidas, sobre la superficie de los sedimentos, por el viento y el agua. Estas pueden ser rugosidades llamadas *ripple marks* (arrugas producidas por el movimiento del aire o el agua sobre las arenas o los limos), pequeños cráteres (impresiones producidas por el golpeteo de la lluvia) y grietas de desecación de fangos que forman polígonos, originados por la contracción del suelo en climas áridos.

a) Sedimentos no endurecidos.

Comprenden los depósitos de bolcos, grava, arena, limo y arcilla y combinaciones de los mismos. La amplia variación en su granulometría les da un rango amplio de porosidad y permeabilidad; la primera varía desde 20 % en depósitos bien graduados de grava y arena hasta 90 % en algunas arcillas, y la segunda desde 0.01 m/s en materiales mal graduados (uniforme) hasta 10^{-11} m/s para arcillas.

De los sedimentos más permeables de este tipo es donde más agua subterránea se extrae actualmente ya que presentan una serie de ventajas entre las que destacan que son fáciles de excavar o perforar, tienen en general, niveles de agua someros en los valles, están cerca del lugar de su uso ya sea en la agricultura o en ciudades y no se contaminan tan fácilmente como los acuíferos en basalto o en calizas.

En los valles de origen fluvial aunque se da toda la gama de granulometrías predomina la del material grueso, especialmente en sus partes más profundas. Esto se debe a que la corriente que cavó inicialmente el valle fué de alta pendiente y arrastró material grueso de su cuenca; al irse rellenando el valle por exceso de material sobre la capacidad de arrastre y por inundaciones durante avenidas, el material depositado se vuelve más fino. Las inundaciones y los cambios de posición del cauce hacen que haya alternancia de capas de material grueso y fino en la estratigrafía. El espesor del sedimento va de 10 a 50 m pero toma valores mayores en las desembocaduras de los ríos. Para la localización de pozos en estos valles es conveniente determinar los límites de la roca basal por métodos geofísicos. La calidad del agua será, en general, muy similar a la del río.

En los valles de origen tectónico el espesor de los sedimentos no endurecidos suele ser muy grande (cientos y hasta miles de metros) y contener mucha diversidad de materiales de origen fluvial, lacustre, volcánico, eólico, etc. Sin embargo, el interés geohidrológico se cifra en los primeros centenares de metros ya que los depósitos más profundos han sido consolidados, por lo que tienen menos permeabilidad y contienen agua en general salina por su largo tiempo de contacto con los sólidos. Las fallas que afectan a los sedimentos de estos valles llegan a formar barreras al flujo, ya sea porque la superficie de falla se impermeabilice o por que su movimiento ponga en contacto materiales permeables e impermeables. Por la diversidad de sedimentos que contienen estos valles, la explotación de agua subterránea en ellos provoca dos efectos adversos que son los hundimientos del terreno, al inducirse flujo de formaciones compresibles, y contaminación con

nitratos, fierro y manganeso, si hay mantos de materia orgánica.

Las llanuras costeras son depósitos de sedimentos no consolidados de extensión muy variable y cuyo origen puede ser de arrastre de las cordilleras que los limitan, de depósitos marinos (arenas y gravas de playa y fanos de lagunas costeras) por lo que son, en general, permeables. El mayor peligro en la explotación de acuíferos en estos lugares es el de la intrusión de agua de mar.

Otros sedimentos no consolidados menos frecuentes son los de origen eólico, las dunas y los loeses; los primeros están formados por arena de tamaño uniforme de fina a media y los segundos por tamaños característicos de los limos.

b) Sedimentos endurecidos (salvo kársticos).

Comprenden la misma graduación que los sedimentos no endurecidos que les dan origen y que han obtenido algún tipo de cementación por precipitación y cristalización de minerales de la arcilla, de cuarzo o de calcita. Se tienen así los conglomerados, las areniscas, las limolitas y las lutitas correspondiendo a gravas, arenas, limos y arcillas respectivamente. Se agregan a los anteriores sedimentos las evaporitas, las margas, el carbón, las calizas y las dolomitas.

El comportamiento de los sedimentos granulares es similar a sus originales no cementados, sólo que ven disminuida su porosidad y permeabilidad de uno a tres órdenes de magnitud. Los de grano grueso son los de mayores posibilidades como acuíferos (conglomerados y areniscas) y los de grano fino actúan como acuitardos semiconfinados al igual que las arcillas. Una diferencia con respecto a los sedimentos no endurecidos es que, por su edad, se encuentran afectados por más accidentes tectónicos (fallas, fracturas y pliegues) lo que les puede dar algo más de permeabilidad. Por su estratificación son anisótropos como los acuíferos en sedimentos no endurecidos.

Las evaporitas y las margas, presentes también en sedimentos no endurecidos, son origen de contaminación del agua subterránea.

La calidad de las aguas en estos materiales es muy variable, siendo más salina en general la de depósitos más profundos y en zonas desérticas.

En este tipo de sedimentos conviene perforar los pozos con máquinas rotatorias y en caso de existir fracturamiento, estimularlo con explosivos.

c) Rocas carbonatadas kársticas.

Son rocas sedimentarias endurecidas de origen marino (calizas y dolomitas) cuyos poros y fisuras han sido ensanchados mediante el ataque a su carbonato de calcio por el ácido carbónico contenido en el agua y su disolución en ella (karstificación). Este fenómeno es en algunos casos espectacular ya que se forman cavernas de gran tamaño y extensión. El comportamiento geohidrológico de éstas formaciones es similar al de las rocas volcánicas básicas extrusivas.

La porosidad antes de la karstificación es alta en comparación con otras rocas sedimentarias endurecidas y va de un 4 % en calizas compactas a un 30 % en calizas tipo brecha y conquina; sin embargo, la porosidad efectiva, aún después de la karstificación no es muy alta y va del 1 al 25 %.

La permeabilidad de estas formaciones es muy variable dependiendo de su origen, fracturamiento y karstificación; su valor varía entre 10^{-7} m/s a más de 10^{-4} m/s. Se han medido velocidades reales con el uso de trazadores que van de 0,1 a 30 cm/s.

Para identificar las calizas permeables pueden servir indicios como su fracturamiento y el que contengan conductos de disolución. El poder de ataque del agua aumenta con su contenido de bióxido de carbono, que lo adquiere principalmente al pasar por suelos vegetales.

Cuando los sedimentos marinos no son de reciente formación, están afectados por movimientos tectónicos y han emergido del mar en secuencias de capas de espesor considerable; en común en esos casos encontrar intercaladas calizas permeables entre otras menos permeables que forman acuíferos confinados y en ocasiones brotantes. En plegamientos, las zonas más fracturadas son los valles de los sinclinales y las cimas de los anticlinales por lo que conviene localizar los pozos en los primeros, si están más bajos, y no en los flancos del plegamiento.

En la perforación de pozos existe el mismo problema que en bauxitas si se perfora con máquina rotatoria y es la pérdida de circulación al llegar a una zona permeable; por ello vale aquí, también, la recomendación de considerar las máquinas de percusión como alternativa de perforación. En muchos casos no es necesario ademar los pozos dada la dureza de la formación.

Debido a lo errático de los conductos de disolución se ha encontrado que los caudales específicos (caudal por metro de abatimiento) de los pozos en zonas de calizas tienen casi siempre una distribución estadística muy extendida y de tipo logarítmico-normal con valores extremos hasta más de dos órdenes de magnitud. La

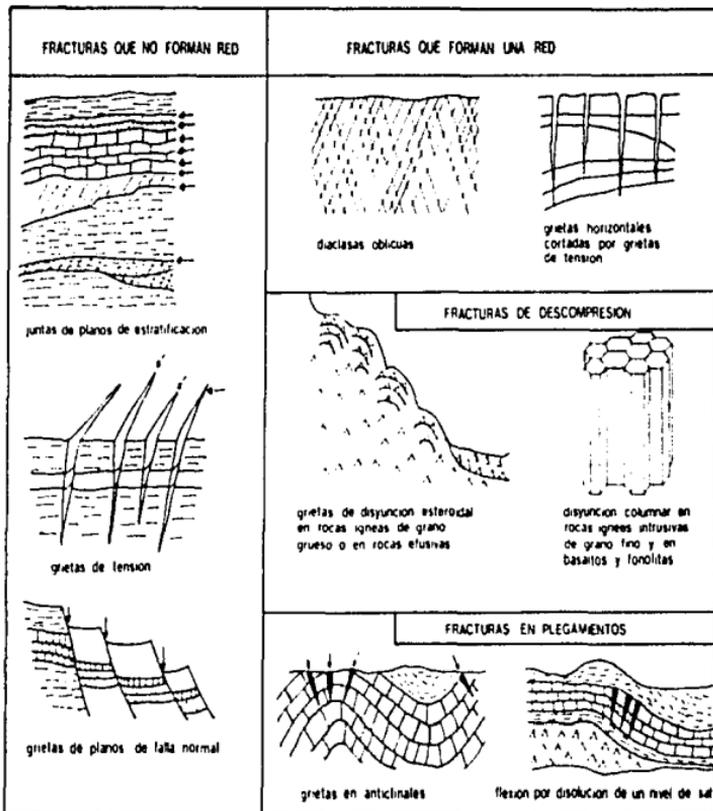


FIG. 1.3 Diversos tipos de fracturación en las rocas

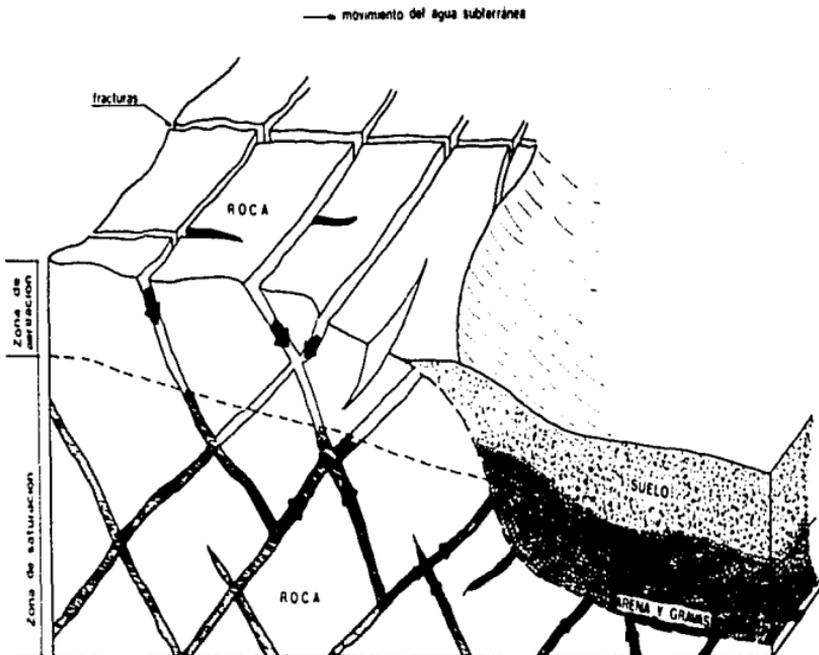


FIG. 1.4 Esquema de la circulación del agua subterránea en una roca fracturada

produce: : pozo en calizas puede aumentarse desarrollando con ácidos o con explosivos : ácidos se usan también para rehabilitar pozos incrustados con carbonato de calcio.

Como los basaltos, las calizas karstificadas tienen una alta capacidad de infiltración que en éstas últimas se ve aumentada por las depresiones en el terreno que se forman al derrumbarse las cavernas subterráneas. Esto hace que el agua sea en general de buena calidad con un máximo de 500 mg/l de sólidos totales, pero que sea fácilmente contaminable por descargas residuales de la superficie (aguas negras y retornos de riego).

Rocas metamórficas.

Este tipo de rocas no poseen la textura ni la composición mineral típica de las rocas ígneas, ni la estratificación, fosilización u otras características de las rocas sedimentarias. Las rocas metamórficas son originadas por la transformación de las rocas ígneas y sedimentarias, a través del tiempo y en estado sólido, en profundidad dentro de la corteza terrestre, mediante la acción de la temperatura, la presión y reacciones químicas. La alteración puede ser parcial y hasta mostrar señes claras de la roca original; sin embargo, normalmente, la alteración es completa.

La textura de la roca puede alterarse en los fenómenos de cristalización, alargamiento de los cristales originales que da lugar a una roca de cristales más gruesos. También puede alterarse la composición química de la roca por la formación de nuevos minerales.

Estos nuevos minerales, o el alargamiento, laminación o reorientación de los minerales ya existentes, cambian la estructura de la roca convirtiéndola en esquistosa. Las rocas esquistosas están dispuestas en bandas o capas, producidas por la orientación paralela de los minerales, que permite romper la roca a lo largo de los planos de esquistosidad.

El metamorfismo se produce de diferentes maneras. En el metamorfismo de contacto la temperatura juega el papel principal, en tanto que el metamorfismo hidrotermal se debe, sobre todo, a la actividad química de fluidos y gases. Los plegamientos de la corteza a profundidades relativamente pequeñas producen metamorfismos dinámicos. En metamorfismos regionales, o dinamotermiales, la temperatura y la presión trabajan a la vez. El metamorfismo plutónico supone grandes profundidades, temperaturas muy altas y grandes presiones. La presión en el

metamorfismo plutónico es hidrostática (igual en todas direcciones) en lugar de direccional (mayor en unas direcciones que en otras).

Entre las rocas metamórficas, las más frecuentes son la pizarra, los esquistos, el gneis, el mármol y la cuarcita. Las tres primeras son esquistosas, las otras dos no.

Aún siendo de muy diverso origen, tanto las rocas ígneas intrusivas como las metamórficas, muestran un comportamiento geohidrológico muy similar. Tienen en su estado original poca porosidad y permeabilidad; sin embargo, cuando afloran están sujetas a intemperismo y cuando sufren esfuerzos tectónicos se fracturan con lo que dichas propiedades aumentan. Si originalmente su porosidad es menor del 1 % llega a aumentar a 30 % por intemperismo y a 5 % por fracturación; la permeabilidad puede aumentar en la misma proporción.

Tanto el intemperismo como la fracturación disminuyen con la profundidad desde la superficie del terreno por lo que las zonas de circulación del agua son de poco peso.

Una zona fracturada de rocas intrusivas o metamórficas puede ser permeable o impermeable dependiendo de si las fracturas se rellenan con material clástico o no y si éste material es de grano grueso o fino.

La exploración por métodos geofísicos es de ayuda para localizar y definir el espesor de una zona intemperizada. Los pozos perforados en estos materiales son en general de bajo rendimiento y un caudal excesivo agota rápidamente el pozo debido al poco almacenamiento del material. La calidad del agua es en general buena por provenir de agua superficial infiltrada y con poco tiempo de contacto con el material; por la misma razón éstos acuíferos son susceptibles de contaminación con aguas residuales de la superficie.

1.4. LA RECARGA DE ACUÍFEROS.

Las condiciones que determinan la velocidad y caudal de la recarga de aguas subterráneas pueden ser de dos categorías: aquellas relacionadas con la precipitación, como verdadera fuente de abastecimiento, y aquellas relacionadas con la facilidad de entrada del agua en el terreno, las cuales determinan la proporción de agua de lluvia o nieve que alcanza los depósitos subterráneos.

Cabe aclarar que lo que realmente interesa al geohidrólogo no es tanto el volumen de agua que se infiltra, sino más bien la recarga de los acuíferos, esto es, la cantidad de agua que efectivamente ingresa a la zona de saturación.

La recarga es el volumen renovable de los acuíferos; por tanto, es más o menos representativa de la disponibilidad permanente de agua subterránea. Es aquí que sea importante cuantificar su orden de magnitud con la mayor precisión posible, ya que es uno de los principales factores limitantes que deben considerarse al contemplar el aprovechamiento de un acuífero. Su sobrestimación puede dar lugar a una sobreexplotación perjudicial que, a largo plazo, daña a la economía de la zona afectada; y su subestimación puede atrasar o frenar el desarrollo de la misma.

La recarga de agua subterránea varía mucho de un sitio a otro y de una época a otra, no sólo porque las condiciones de entrada son variables, sino porque se debe de considerar la forma en que se dará la relación entre la recarga y la precipitación, es decir, como lluvia o como nieve.

Es evidente que la recarga y el volumen infiltrado no son equivalentes, siendo la diferencia entre una y otra especialmente notable en las zonas áridas. En dichas zonas es frecuente que la mayor parte de la precipitación pluvial se concentre en unos cuantos aguaceros de gran intensidad y corta duración, que generan un escurrimiento superficial de carácter torrencial, pero que no propician una infiltración abundante; el resto de la precipitación tiene lugar en forma de lluvias de reducida intensidad, que apenas humedesea un pequeño espesor de suelo. Por otra parte la elevada evaporación potencial agota rápidamente la humedad de la zona de aereación, generando un gran déficit de humedad. En estas condiciones es muy limitada la recarga que produce el agua precipitada sobre la superficie del valle o planicie en cuestión, pues casi la totalidad de la poca agua que se infiltra queda retenida arriba del nivel freático. En una zona árida, esto es fácilmente comprobable mediante la observación del contenido de humedad del suelo en una pequeña excavación a cielo abierto.

Así pues, la alimentación significativa de los acuíferos de tales zonas procede, principalmente, de la infiltración de los escurrimientos a lo largo de los cauces, donde la presencia de un tirante de agua y la elevada conductividad hidráulica de los materiales, favorecen la infiltración.

Si el terreno superficial está helado y además cubierto por una capa de nieve que lo aísla térmicamente del ambiente, podemos decir entonces, que la recarga estará sujeta a las condiciones climatológicas de la zona durante el deshielo. Es decir, en los climas fríos la capa superficial del terreno se hace impermeable a

causa de la helada y la recarga es prácticamente nula.

Otra condición que afecta fundamentalmente la recarga es el tipo de cultivo del terreno. Las zonas de bosques y los prados producen mejor recarga que las zonas arables, incluso para el mismo tipo de terreno. En las primeras el agua está más limpia y no tapona los intersticios de penetración.

Otra característica evidente en la recarga de acuíferos es la topografía del terreno. En zonas con grandes pendientes, la escorrentía es máxima y, por tanto, la infiltración es mínima. Las grandes llanuras de materiales sedimentarios permeables constituyen a este respecto las zonas de infiltración más eficaces.

La extensión de la cuenca receptora tiene también influencia decisiva en la cantidad de agua infiltrada en ella. La recarga aumentará si la cuenca directa de precipitación está aumentada con las aportaciones de corrientes superficiales que recogen e infiltran las aguas provenientes de las montañas, en las cuales la intensidad de precipitación suele ser mayor.

También suelta ser importante la recarga en zonas agrícolas, en las cuales la aplicación continua de una lámina de agua sobre el terreno y/o la infiltración en canales no reventados, origina un retorno de riego cuya magnitud depende de la cantidad de agua que las plantas no aprovechan; si la zona cuenta con un sistema de drenaje, parte del retorno puede aflorar a lo largo de los drenes, y el resto se infiltra a mayores profundidades, alimentando eventualmente a los acuíferos. Observaciones realizadas han revelado que en algunas zonas, el retorno del riego representa hasta un 40 % o más, del volumen de agua aplicado a los terrenos de cultivo; desde luego la magnitud del retorno depende fundamentalmente del grado de tecnificación del riego.

1.4.1. La precipitación pluvial como fuente de recarga.

La humedad siempre está presente en la atmósfera aún en los días sin nubes. Para que ocurra la precipitación, se requiere algún mecanismo que enfríe el aire lo suficiente para que lleque de esta manera a, o cerca del punto de saturación. Los enfriamientos de grandes masas, necesarios para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logran cuando ascienden las masas de aire. Este fenómeno se lleva a cabo por medio de sistemas convectivos y convergentes que resultan de radiaciones desiguales las cuales producen calentamiento o enfriamiento de la superficie de la tierra y la atmósfera, o por barreras orográficas. Sin

embargo, la saturación necesariamente no conlleva la precipitación. Hace falta la presencia de núcleos de condensación o de congelamiento para que el aire que ya está saturado o muy cerca de este punto, origine la formación de neblina o gotas de agua o de cristales de hielo. Estos núcleos son pequeñas partículas de varias sustancias, no necesariamente higroscópicas, cuyo tamaño por lo general está entre 0.1 y 10 μ m de diámetro.

Los núcleos de condensación por lo general consisten de productos de combustión, óxidos de nitrógeno y partículas de sal. Estos últimos son los más efectivos y aún con humedades tan bajas como el 75 % pueden producir condensación.

Los núcleos de congelamiento por lo regular están constituidos por materiales arcillosos, siendo el caolín el más frecuente. Después de la nucleación, la gota de agua o el cristal de hielo crecen hasta que su tamaño se vuelve visible en una fracción de segundo a través de un proceso de difusión de vapor de agua hacia éste.

Como podemos ver, las precipitaciones son el resultado de la condensación del vapor de agua y bajo éste término se engloban todas las aguas meteoricas que caen en la superficie de la tierra bajo diversas formas: en forma líquida (lluvia), sólida (nieve y granizo) u oculta (rocío o helada blanca).

La aportación de agua en forma de rocío es, en general, de escaso valor relativo en comparación con las restantes formas de precipitación, ya que se trata de una delgada película de agua que se evapora o se sublima rápidamente en la atmósfera, por lo que suele ser despreciada por el hidrólogo, aún cuando en los países áridos y en los climas mediterráneos tienen cierta importancia para la vegetación. Algunos autores afirman que esas precipitaciones ocultas y las brumas húmedas en las regiones tropicales, húmedas y montañosas pueden representar un porcentaje importante (del 10 al 50 %) del total de las precipitaciones.

Tipos de precipitación.

Las precipitaciones, bajo cualquiera de sus formas, se dividen en tres tipos según el fenómeno meteorológico que las origina: precipitaciones ciclónicas, precipitaciones por convección y precipitaciones orográficas.

a) Precipitaciones ciclónicas o de frente (caliente o frío).

Es el tipo más común de precipitación y se produce en todas las partes de la tierra. Se las asocia con áreas de baja presión que se mueven a través de la tierra

a causa del movimiento planetario y los efectos solares. Se les llama también precipitaciones de frente (caliente o frío) por estar originadas por las superficies de contacto (frentes) entre masas de aire de temperaturas diferentes.

La precipitación de frente caliente ocurre cuando el aire frío es empujado por una entrada de aire caliente, con lo que el frente se desplaza hacia un lado. Suelen ser precipitaciones débiles y cubren una gran superficie por delante del frente.

La precipitación de frente frío ocurre de forma inversa a la anterior y origina lluvias intensas en las proximidades del frente.

En todos los casos de lluvia ciclónica, las masas de aire caliente, más húmedas, son empujadas hacia las grandes alturas donde se enfrían y se produce una condensación del vapor de agua que puede dar origen a las precipitaciones.

b) Precipitaciones por convección.

El origen de éstas precipitaciones es debido al aire húmedo que se encuentra próximo al suelo y es calentado por la radiación solar. Va así ascendiendo y enfriándose, a razón de 0,5°C a 100 m (según se encuentre saturado o seco), hasta alcanzar sus puntos de condensación a una altura llamada nivel de condensación, a partir de la cual se forman nubes. Si éstas nubes alcanzan una zona de bajas temperaturas en su ascensión puede originar lluvias. Este tipo de lluvia es típicamente tropical y también característica de las zonas templadas en los periodos cálidos.

c) Precipitaciones orográficas.

Son el resultado de la ascensión de vientos húmedos, procedentes generalmente del mar, al encontrarse con una barrera de montañas. El aire se enfría y se condensa, pudiendo producir precipitaciones a sotavento de la barrera montañosa. Como puede apreciarse, aún cuando el origen de éstas precipitaciones orográficas es distinto al de las convectivas, el efecto es el mismo.

En la práctica, las precipitaciones son frecuentemente una combinación de los tres tipos mencionados. Así, una perturbación de origen ciclónico puede ser el origen de una precipitación orográfica o acentuar y prolongar las lluvias de convección.

Por lo general, en los estudios geohidrológicos no se requiere de un

conocimiento muy detallado del régimen pluviométrico, ni es necesario realizar análisis complejos como los que se llevan a cabo en estudios de hidrología superficial; así, por ejemplo, las curvas intensidad-duración-frecuencia, las curvas área-intensidad, o la generación de series cronológicas, no son de mayor utilidad para el geohidrólogo. Esto se debe a que los recipientes subterráneos actúan como enormes reguladores que atenúan las variaciones hidrológicas superficiales.

La disponibilidad de agua subterránea de una zona está limitada, en gran parte, por la rapidez con que se renueva el recurso, y uno de los factores principales de que esto depende es la magnitud y distribución de la precipitación pluvial; el otro factor dominante es de carácter geohidrológico, como se verá más adelante. De aquí que sea importante, en un estudio geohidrológico, tener una idea más o menos aproximada de los volúmenes de agua que se precipitan sobre la zona considerada, así como de su variación en el área y el tiempo.

La precipitación anual.

El procesamiento de los datos pluviométricos con fines geohidrológicos consiste, primero, en determinar la precipitación anual y su variación en el tiempo. Para tal efecto se trazan gráficas que muestren la variación de la precipitación anual en un intervalo de tiempo de varios años (10 a 20), y la media anual del mismo lapso. En particular, es importante conocer la precipitación del ciclo anual en que se llevó a cabo el estudio geohidrológico, porque el volumen de recarga que recibe un acuífero guarda cierta relación con la magnitud de la precipitación pluvial. Esta relación no es sencilla ni constante ya que en el fenómeno de la recarga influyen muchos otros factores, además de la cuantía de la precipitación; pero en general, cabe esperar una mayor recarga durante años lluviosos que durante secos. Por esto, para no sobreestimar o subestimar la disponibilidad de agua subterránea, deben conocerse cuales fueron las condiciones de precipitación que prevalecieron en el ciclo para el cual se efectúa la estimación de la recarga.

Cuantificación del volumen precipitado.

La cuantificación del volumen precipitado se basa en mediciones de la altura de lluvia, efectuadas mediante pluviómetros o pluviógrafos instalados en las

estaciones climatológicas. Existen tres métodos para calcular el volumen de lluvia, a partir de los datos registrados en estaciones distribuidas en la zona estudiada: el método aritmético o media aritmética de las precipitaciones, el método de los polígonos de Thiessen y el método de las isoyetas.

a) Método aritmético.

El método más sencillo es el aritmético, en el cual se calcula el volumen de lluvia multiplicando el área de la zona estudiada por la precipitación media, calculada como la media aritmética de las alturas de lluvia registradas en las estaciones climatológicas. Este método da buenos estimativos en áreas planas si los pluviómetros están distribuidos uniformemente y el valor captado por cada uno de los pluviómetros no varía mucho a partir de la media, pero no es muy recomendable puesto que si no existe un gran número de puntos de observación, puede dar demasiada importancia a los valores extremos.

b) Método de los polígonos de Thiessen.

El método de Thiessen trata de tener en cuenta la uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. Las estaciones se colocan en un mapa y se dibujan líneas que las conectan unas con otras. Las mediatrices, o perpendiculares bisectrices de éstas líneas, forman polígonos alrededor de cada estación. El área de cada polígono se determina utilizando un planímetro y se expresa como un porcentaje del área total. Este porcentaje se utiliza como coeficiente ponderal propio de cada estación. Así, si "P" es la altura de precipitación que se busca en una cuenca total de superficie "A", "P₁" es la del polígono de superficie "A₁", "P₂" la de "A₂" y "P_n" la de "A_n", obtenemos:

$$P = (A_1/A)P_1 + (A_2/A)P_2 + \dots + (A_n/A)P_n$$

Esto es que, el promedio ponderado de lluvias para el área total se calcula multiplicando las precipitaciones en cada estación por su porcentaje de área asignado y sumando todos estos valores parciales. Los resultados son, por lo

general, más exactos que aquellos obtenidos por un simple promedio aritmético. La mayor limitación del método de Thiessen es su poca flexibilidad, puesto que se requiere de un nuevo diagrama cada vez que hay un cambio en la red. El método tampoco tiene en cuenta influencias orográficas. En realidad, el procedimiento de Thiessen simplemente supone una variación lineal de la precipitación entre las estaciones y asigna un segmento de área a la estación más cercana.

c) Método de las isoyetas.

El método más racional y más preciso para promediar la precipitación sobre un área es el método de las isoyetas, aunque tiene el inconveniente de ser largo. La localización de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa adecuado y sobre éste se dibujan las líneas de igual precipitación. En primer lugar se calcula en metros cuadrados, preferentemente, y por medio de un estudio planimétrico, la superficie parcial "S" de la cuenca comprendida entre dos isoyetas sucesivas "P₁" y "P₂". Admitiendo que la altura de precipitación sobre ésta superficie elemental es igual a la media aritmética de los valores dados para las dos curvas que la limitan, o sea $(P_1 + P_2)/2$, se calcula la precipitación "P" caída sobre esta sección pluviométrica elemental. Así, tenemos que "P" es igual a:

$$P = [(P_1 + P_2)S_1]/2$$

La misma operación se repite para cada banda circunscrita por dos isoyetas consecutivas. La capa media de agua caída sobre la cuenca es igual al cociente de la suma de las precipitaciones sobre las superficies pluviométricas elementales por la superficie total de la cuenca.

La exactitud del método de las isoyetas depende en gran parte de la habilidad del analista. Si se utiliza una interpolación lineal entre estaciones, el resultado será esencialmente el mismo que se obtiene utilizando el método de Thiessen.

La intensidad de lluvia.

Otro aspecto que debe conocerse, al menos en forma cualitativa, es el que se refiere a la intensidad de lluvia, factor que juega un papel muy importante en el

fenómeno de la infiltración. Para un mismo volumen precipitado y condiciones geológicas idénticas, la cantidad de agua infiltrada puede variar ampliamente dependiendo de la intensidad de lluvia; en general, favorecen más la infiltración las lluvias de baja intensidad y larga duración que los aguaceros torrenciales de corta duración.

La intensidad de lluvia se deduce a partir de las observaciones realizadas en pluviógrafos, y se expresa como una lámina de agua por unidad de tiempo.

Puesto que en el estudio cuantitativo del agua subterránea comúnmente se trabaja en periodos largos (uno o varios años), una representación útil de la distribución de la lluvia en el tiempo es la gráfica de precipitación media mensual correspondiente a una estación y a un cierto intervalo de tiempo. En una gráfica de este tipo puede apreciarse si hay una o más temporadas de lluvia bien definidas, o si la precipitación tiene una distribución más amplia en el año; para un año en particular, la gráfica de precipitación mensual indica si la lluvia se distribuyó en toda la temporada, o si se concentró en algunos de los meses. Un conocimiento más detallado de la intensidad de lluvia puede inferirse de los registros de pluviógrafos que proporcionan datos respecto a las intensidades máximas correspondientes a diferentes duraciones de lluvia.

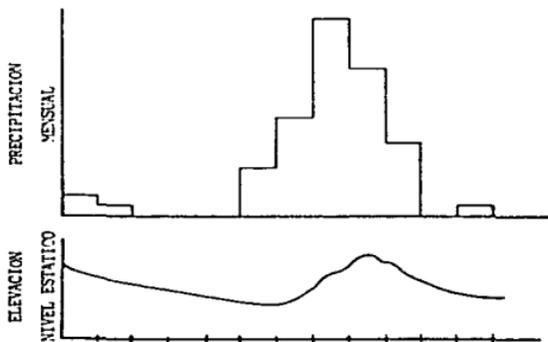


FIG. 1.5 Gráfica de precipitación mensual

1.4.2. La infiltración y la recarga de acuíferos.

La recarga de los acuíferos debida a la aportación de las precipitaciones atmosféricas puede descomponerse en tres etapas, que son: 1) infiltración del agua desde la superficie del terreno que yace inmediatamente bajo ella; 2) movimiento descendente del agua a través de la zona de aireación, y 3) entrada del agua en la zona de saturación, donde pasa a formar parte de las propiamente llamadas aguas subterráneas. Evidentemente una parte del agua que entra en la zona de aireación vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración vegetal, perdiendo así su incorporación al almacén subterráneo de la zona de saturación. Una vez que la capacidad de interceptación y la detención superficial del suelo han sido satisfechas, se inicia la infiltración.

La infiltración representa la cantidad de agua que penetra en el suelo y en el subsuelo, donde pasa a alimentar las aguas subterráneas: agua de retención, circulación hipodérmica, circulación subterránea y reconstitución de las reservas acuíferas. Se produce por la acción combinada de las fuerzas de gravedad y de atracción molecular. Cuando la humedad del suelo es reducida y una gota de agua de lluvia toca la superficie del terreno, las fuerzas moleculares de éste la atraen y hacen que se absorba rápidamente. En este proceso, el propio peso de la gota tiene una importancia totalmente secundaria. Cuando la superficie del terreno va humedeciéndose más y más, el proceso de atracción molecular va perdiendo intensidad y la infiltración tiene lugar debido, cada vez más, a la atracción gravitacional.

El manto de evaporación o de terreno vegetal es de importancia fundamental para las plantas, ya que está en él el almacén de donde éstas extraen el agua para su sustento. Durante la época vegetal del crecimiento de las plantas, el contenido de humedad de este almacén formado por el terreno vegetal se vacía a causa de la constante succión realizada por las raíces de dichas plantas y se vuelve a llenar periódicamente por efecto de las lluvias o de los riegos. En consecuencia, el manto de evaporación o de terreno vegetal constituye un obstáculo para la recarga de la zona de saturación. Es como un embalse superior que debe ser llenado antes de que el agua pase a los embalses subterráneos inferiores de la zona de saturación.

Cuando el suelo vegetal en un punto determinado está saturado, cualquier nueva adición de agua que reciba su superficie descenderá por gravedad desde el manto de evaporación, ya sea directamente a la zona de saturación o al manto intermedio de la zona de aireación. Puesto que este manto intermedio no está afectado apreciablemente ni por la evaporación superficial ni por la absorción de las raíces

de las plantas, normalmente retiene toda el agua que pueda contener por efecto de las fuerzas de atracción molecular. Sin embargo, la mayor parte del agua tiende a descender más aún obedeciendo fuerzas de gravedad.

La manera precisa según la cual el agua desciende a la zona de saturación no está completamente explicada, aunque los recientes estudios realizados por un gran número de investigadores han contribuido grandemente a la solución de este problema. Cuando ocurren procesos de recarga rápida, el agua indudablemente llena la red de intersticios y desciende como lo haría en un tubo capilar bajo una presión hidráulica suficiente. Sin embargo, después de que los mayores caudales de recarga han pasado a través de ellos, dejan tras sí películas de agua que se adhieren a las paredes de los intersticios, especialmente a las que presentan formas angulosas. También queda agua en los intersticios o grupo de intersticios que quedan llenos cuando las columnas capilares se han roto bajo ellos a causa de las irregularidades en el sistema de intersticios interconectados. Toda esta agua está mantenida en sus posición, desde luego, por atracción molecular, pero una considerable parte de ella sólo se mantiene temporalmente. Se ha podido comprobar que el descenso continúa durante largo tiempo con una intensidad decreciente.

Capacidad de infiltración y factores que la controlan.

Se llama capacidad de infiltración de un suelo a la rapidez con que éste permite el ingreso del agua al subsuelo en una condición dada. Experiencias y observaciones realizadas han demostrado que esta capacidad decrece exponencialmente en el tiempo desde un valor máximo inicial hasta un valor prácticamente constante y es controlado por diversos factores entre los que destacan: la estructura del suelo, la acción de las fuerzas capilares, la presencia de aire atrapado en el interior del suelo y la cobertura vegetal.

La estructura del suelo va variando a medida que se va saturando. Inicialmente, cuando se encuentra seco o poco húmedo, suelo presentar un sistema de grietas que le dan alta capacidad de infiltración; pero conforme aumenta sus contenido de humedad, los materiales finos se expanden, las grietas se cierran gradualmente y, como consecuencia, decrece su conductividad hidráulica.

Los efectos de las fuerzas capilares y del aire atrapado en el suelo, son contrarios al de la estructura del mismo: la resistencia inicial que ambos factores presentan al avance del agua infiltrada, se va reduciendo con el tiempo.

La cobertura vegetal favorece la infiltración al proteger al suelo del impacto

directo de la lluvia, que compacta su superficie e introduce partículas finas en las grietas y poros mayores; además, las raíces de las plantas mantienen abierta la estructura del suelo.

Considerando el concepto anterior, resulta evidente ahora la influencia de la intensidad de lluvia en la magnitud del volumen infiltrado. En efecto, si la intensidad es superior a la capacidad de infiltración, el suelo sólo absorbe una parte de la precipitación; para un mismo volumen llovido, la cantidad de agua infiltrada será tanto menor cuanto mayor sea la intensidad.

Medición de la capacidad de infiltración.

Los métodos para determinar la capacidad de infiltración, tienen, sólo, un valor relativo e, incluso, en muchos casos, los resultados dependen del método empleado.

Existen tres grupos fundamentales de métodos: a) infiltrómetros, b) análisis de hidrogramas de escorrentía en cuencas pequeñas y, c) lisímetros.

a) Infiltrómetros.

Los infiltrómetros se utilizan para medidas muy locales y, con ellos, la capacidad de la capacidad de infiltración se determina directamente. Con bastantes reservas, los valores obtenidos pueden aplicarse a pequeñas cuencas homogéneas. Cuando la cuenca es mayor, y no homogénea en suelo o vegetación, deberá subdividirse en áreas que lo sean y utilizar infiltrómetros en cada una de ellas.

Podemos encontrar dos tipos de infiltrómetros:

Infiltrómetro tipo inundador.

En éstos la capacidad de infiltración se deduce del volumen de agua que es necesario añadir para mantener una lámina de espesor constante sobre un área definida de terreno. Se debe procurar que éste espesor sea similar al que habitualmente tiene la lámina de agua después de una lluvia o riego.

Los defectos más importantes de éste tipo son que se anula la compactación que produce la lluvia, y que no es posible aplicarlos sin alterar la estructura del terreno.

Los diferentes modelos difieren en forma y métodos de medida, así tenemos:

Los cilindros concéntricos (Método de Muntz): Son dos superficies cilíndricas abiertas por las dos bases y unidas entre sí para mantenerse concéntricas al hincarse parcialmente en el terreno a una profundidad de 10 cm. Se añade una cantidad conocida de agua hasta que cubra suficientemente la punta de una varilla de medición situada en posición vertical en el área encerrada por el cilindro interior y, entre los dos cilindros, se mantiene ese mismo nivel de agua. La misión del cilindro exterior es, únicamente impedir la expansión lateral del agua infiltrada a través del área que limita al cilindro interior.

Al cabo de cierto tiempo, que debe medirse, la lámina de agua entasa con la punta de la varilla y se repite la operación de añadido de una cantidad conocida de agua. Midiendo los tiempos que tardan en infiltrarse éstos volúmenes de agua, se deduce la capacidad de infiltración.

Los cilindros excavados (Método de Porchet): Se excava en el suelo un hoyo cilíndrico de radio "R" y se llena de agua hasta una altura "h".

La superficie a través de la cual se infiltra el agua es:

$$S = \pi R (2h + R) \quad \text{-----(1)}$$

Para un tiempo, "dt", suficientemente pequeño para que pueda suponerse constante la capacidad de infiltración, "f", se verificará la igualdad:

$$\pi R (2h + R)f = -\pi R^2 (dh/dt) \quad \text{-----(2)}$$

Simplificando y separando variables, tenemos:

$$f dt = -R (dh/2h + R) \quad \text{-----(3)}$$

Al integrar resulta:

$$f = [R/2(t_2 - t_1)] \ln[(2h_1 + R)/(2h_2 + R)] \quad \text{-----(4)}$$

Así pues, para determinar "I", basta medir pares de valores (h_1, t_1) (h_2, t_2) , de forma que t_1 y t_2 no difieran demasiado y entrar con ellos a la expresión (4).

Infiltrómetro tipo simulador de lluvia.

El agua, mediante un sistema de tipo aspersión, se distribuye lo más uniformemente posible por la parcela que se quiere conocer la infiltración. Estas parcelas son de pequeño tamaño (1 a 40 m²) y para comprobar la uniformidad del reparto y medir el agua recibida se colocan en ellos algunos pluviómetros. Debe existir, así mismo, un sistema para medir la escorrentía directa. Conocidas las lluvias "P" y la escorrentía "S" y despreciando la evapotranspiración, por ser muy cortos los intervalos entre medidas sucesivas, el valor de la infiltración es:

$$I = P - S$$

en el correspondiente intervalo de tiempo.

Con este tipo se intenta reproducir lo más exactamente posible la forma natural de ocurrencia del fenómeno. Algunos modelos aplican cierta presión al agua distribuida, para que la compactación del terreno sea similar a la que produce la lluvia.

Existen varios modelos que se diferencian en la forma de aplicar el agua y la principal condición para elegir uno u otro es que ésta aplicación se acerque lo más posible a las condiciones locales.

b) Análisis de hidrográmas en cuencas pequeñas.

El funcionamiento hidrológico de una cuenca de pequeña extensión (menor de 10 Km²) es en esencia, la reproducción que se pretende con los infiltrómetros simuladores de lluvia.

En el cauce que drena después de una lluvia, incluso moderada, se produce un apreciable incremento del caudal superficial y, en general, la corriente de agua será intermitente y sólo existirá cuando llueva.

Con un limnógrafo instalado en la sección transversal del cauce situada a inferior cota, se tendrá un registro continuo de niveles y, su correspondiente traducción a caudales, permite deducir el volumen de agua que ha discurrido superficialmente. El resto hasta el total de agua precipitada será la suma de: intercepción, detención superficial, evapotranspiración e infiltración. Los éstos sumandos, pueden despreciarse los tres primeros, dado que el área es pequeña y en el tiempo en que se hace el balance no será significativa la evapotranspiración. Así pues, con poco error por exceso, el volumen infiltrado será la diferencia entre el volumen de agua precipitada y el de escorrentía superficial. El tiempo durante el cual puede considerarse que se infiltra ese volumen en el conjunto de la cuenca, es cuestión de apreciación.

Esta falta de definición precisa del tiempo, hace que el método se emplee para realizar comparaciones entre las capacidades de infiltración de distintas cuencas, más que para la obtención de valores absolutos.

c) Lisímetros.

Los lisímetros permiten determinar por un método directo y exacto la infiltración que llega a la base de la instalación, ésto es, en el fondo de un agujero, de 1 a 2 m de profundidad, abierto en un terreno arenoso, se coloca una placa metálica horizontal, en forma de cono muy abierto, recubierto después de arena hasta el nivel del suelo. En un suelo desnudo la experiencia ha demostrado que la influencia de la evapotranspiración no sobrepasa una profundidad de 0,5 a 1 m. Por consiguiente las mediciones efectuadas en terrenos experimentales en más de 1 m de espesor son válidas para los cálculos de la cantidad de agua infiltrada que alimenta a las aguas subterráneas.

Tipos de lisímetros.

Existen actualmente varios tipos de lisímetros, que podemos agrupar en: lisímetros de superficie, lisímetros de pesada y lisímetros subterráneos.

Lisímetros de superficie.

Según el tipo de construcción, podemos distinguir las cajas lisimétricas, que son las más abundantes, consta de una cubeta o depósito estanco, de paredes

verticales, generalmente de cemento, enterrada en el suelo. la cubeta se llena con el suelo a estudiar hasta el nivel del terreno, con un lecho de grava en la base. Un sistema de drenaje instalado en el fondo o a veces a diversas alturas, recoge las aguas de infiltración. Se puede efectuar con un suelo homogéneo (tal es el caso de la arena dunar, por ejemplo), artificial o con un suelo natural. Son útiles sobre todo en las investigaciones agronómicas y edafológicas y sólo puede aplicarse a las rocas muelles.

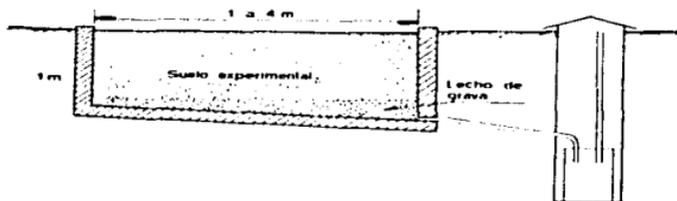


FIG. 1.6 Instalación lisimétrica simple.

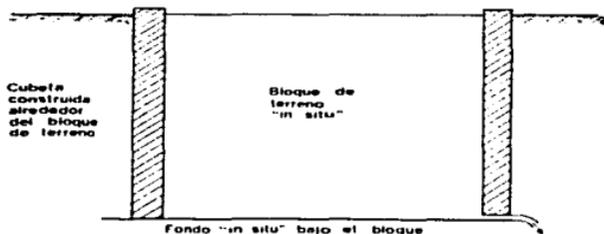


FIG. 1.7 Esquema de lisímetro-monolito.

Los lisímetros monolitos están constituidos por terreno no cambiado de lugar, se construye, en cierto modo, alrededor de un bloque de terreno "in situ".

De este modo se evita todo cambio en la disposición del suelo. Esta técnica plantea delicados problemas de instalación. Por lo general se levanta un bloque de terreno por medios mecánicos y se coloca en una cubeta lisimétrica.

Las dimensiones de los lisímetros varían desde 1 hasta 625 m de sección. Son, en general, de sección cuadrada o rectangular, a veces, circular. Su profundidad alcanza de 1 a 3 m. Habitualmente se construye una batería de varias cajas lisimétricas, con el suelo descubierto o cubierto por diversos tipos de vegetación.

Esta instalación se completa siempre con una estación meteorológica completa, que registra las variaciones de la pluviometría, velocidad del viento, temperatura y humedad del aire y del suelo a diversos niveles.

Lisímetros de pesada.

La situación del balance exige mediciones precisas de las variaciones del stock de agua del suelo. El método más preciso para proceder a estas mediciones consiste en pesar el lisímetro a intervalos de tiempo dados. Con este fin se construyen los lisímetros de pesada. Estas instalaciones complejas son de costo elevado y, por ello, poco usadas.

Lisímetros subterráneos.

Los lisímetros subterráneos se denominan también lisímetros-túnel o lisímetros-embudo. A veces, se coloca alrededor de un pozo vertical, a diferentes

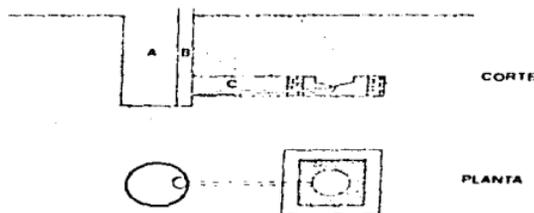


FIG. 1.8 Lisímetro subterráneo de DIENERT. A) pozo; B) Tubo colector vertical, y C) Galería de 2.50 m de altura por 1 m de ancho.

profundidades, un cierto número de lisímetros, en el fondo de galerías laterales.

El fin de estas instalaciones es proporcionar datos sobre la infiltración en profundidad, hasta el manto, ya que los lisímetros de superficie sólo dan mediciones entre 1 y 3 m. Por desgracia, los resultados son decepcionantes. En todos los casos, la cantidad de agua recogida es muy pequeña y no permite mediciones válidas de la infiltración.

Estimación del volumen infiltrado.

En muchas ocasiones y especialmente en cuencas de mayor extensión interesa, más que la intensidad de infiltración, un valor global del volumen de agua infiltrado en periodos de tiempo más largos (un mes, una estación, un año) que es, en definitiva, el que permitirá estimar, racionalmente, cual debe ser la explotación de los recursos de agua subterránea, sin merma, de las reservas o ver a que ritmo se irán agotando éstas.

Aunque la capacidad de infiltración del suelo puede ser determinada fácilmente y con cierta precisión mediante los métodos antes descritos, la cuantificación directa del volumen infiltrado no es factible en estudios de carácter regional, debido a que la magnitud de dicho volumen depende de otros factores no controlables en la práctica.

Para poder estimar el volumen infiltrado se han desarrollado algunos métodos dentro del campo de la hidrología superficial. Uno de ellos es el llamado "peinado del hietograma", en el cual, conocidos los volúmenes de lluvia y de escorrentía, la cuantía de agua infiltrada se infiere a partir del análisis del hietograma.

Los métodos hidroclógicos proporcionan resultados útiles para los fines del hidrólogo, quien sólo está interesado en tener una idea de la magnitud del volumen infiltrado, para desahucio en el cálculo de la disposición del agua superficial.

Un método muy popular consiste en la aplicación de coeficientes de infiltración a las formaciones geológicas que afloran en el área estudiada, los cuales representan al volumen infiltrado, como un porcentaje del volumen de lluvias.

Para aplicar este método se delimitan en un plano geológico las formaciones que afloran en el área; seguidamente, se cuantifica el volumen precipitado sobre cada una de ellas. El volumen infiltrado, en cierta formación, se calcula como el producto del coeficiente asignado a ella y el volumen de precipitación respectivo. El volumen total infiltrado en el área considerada es la suma de los volúmenes parciales así calculados.

Oblivamente, el método adolece de varias deficiencias. En primer lugar, puesto que los coeficientes se aplican a volúmenes de precipitación, generalmente lluvia media anual, el método no toma en cuenta la intensidad de lluvia.

En segundo lugar, el valor de los coeficientes es asignado arbitrariamente, en una forma subjetiva. Mediante reconocimientos de campo pueden conocerse las características hidrogeológicas de las formaciones (granulometría, grado de compactación o cementación, fracturamiento, agrietamiento, efectos de disolución, etc.); y con esta base puede inferirse, cualitativamente, si su capacidad de infiltración es alta, media o baja; también puede inferirse en forma relativa si una formación favorece la infiltración más o menos que otra. Así, por ejemplo, puede decirse que un basalto columnar o una caliza kárstica, tiene una capacidad de infiltración muy alta, mucho mayor que la de un afloramiento de piroclásticos o de materiales granulares. Estas apreciaciones son muy útiles para definir las probables zonas de recarga; pero, obviamente, no constituyen una base suficiente para asignarle un valor a la capacidad de infiltración, ni mucho menos para inferir el porcentaje de lluvia que se infiltra.

En tercer lugar, el coeficiente asignado se aplica, no sólo al área reconocida, que por lo general es poco extensa, sino a toda el área ocupada por la formación de que se trata, presuponiendo que sus características son semejantes en toda su extensión, lo que no es necesariamente cierto.

Es claro, pues, que el método carece de validez por la inconsistencia de las hipótesis en que se basa.

Pero, sobre todo, cabe señalar que aunque fuera posible estimar con cierta precisión el volumen infiltrado, éste no es representativo de la recarga de los acuíferos, ya que no necesariamente toda el agua que entra al subsuelo constituye una alimentación para los mismos.

1.4.3. La recarga artificial de acuíferos.

La idea de recargar artificialmente la zona de saturación ha sido llevada a la práctica con gran éxito en los últimos años. Esta recarga la podemos definir como el aumento de la filtración natural de precipitación del agua superficial dentro de las formaciones subterráneas, bien sea por inundaciones o por cambios artificiales en las condiciones naturales. El objeto de la recarga artificial es, bien obtener

una agua limpia y filtrada mediante pozos en el acuífero recargado con aguas sucias o contaminadas, o bien emplear los acuíferos con embalses reguladores que cubran la demanda durante todo el año, aunque la recarga sólo puede efectuarse durante las épocas de abundancia de agua.

La utilización del sistema de recarga artificial de los acuíferos en unos puntos y su aprovechamiento mediante captaciones en otros, permite, en muchos casos, situar adecuadamente los pozos de toma en relación con la instalación a abastecer, reduciendo así los costos de tuberías de transporte del agua, líneas eléctricas, etc. Los acuíferos subterráneos actúan en estos casos como elementos no sólo de almacenaje, sino también de transporte subterráneo del agua, con las consiguientes economías de instalación y explotación.

A continuación describiremos los diversos sistemas de recarga artificial que en la actualidad se encuentran en uso.

Recarga por extensión de agua en el terreno.

Es el método utilizado en caso de que el medio poroso permita una rápida filtración y percolación del agua. Si la superficie del medio en contacto con el agua a infiltrar ofrece unas características de impermeabilidad, se puede tratar dicha superficie con diversos métodos, como son la plantación de vegetación, abono con productos químicos u orgánicos, etc., que permiten aumentar la velocidad de infiltración de 0.15 a 0.45 m/día. Dentro de este tipo de recarga podemos encontrar los siguientes métodos: estanques de infiltración, surcos de infiltración, modificación de corrientes y las zonas inundadas.

a) Estanques de infiltración.

En este método, el agua a infiltrarse se distribuye en una serie de estanques formados por diques de tierra interconectados entre sí, con el fin de que el exceso de agua de uno de ellos pueda pasar al siguiente en el caso de que el agua se obtenga en un canal principal, o bien sin conexión cuando el suministro de agua se efectúa por conducciones a baja presión. En cualquier caso, la construcción de estos estanques se debe efectuar en tal forma que la limpieza de uno de ellos no oblique a la inutilización total del sistema un cierto tiempo.

Este sistema, que utiliza al máximo las condiciones topográficas del terreno, es el más económico cuando la velocidad de infiltración es alta.

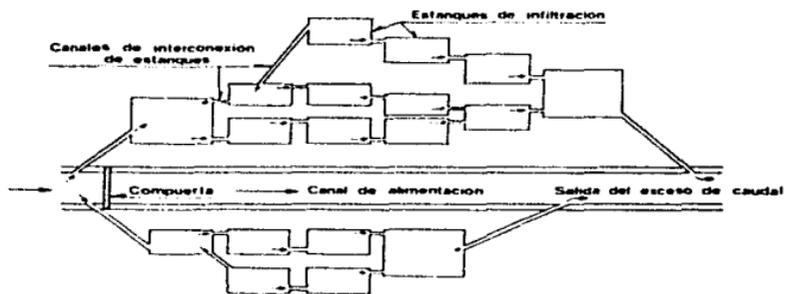


FIG. 1.9 Distribución de los estanques de infiltración.

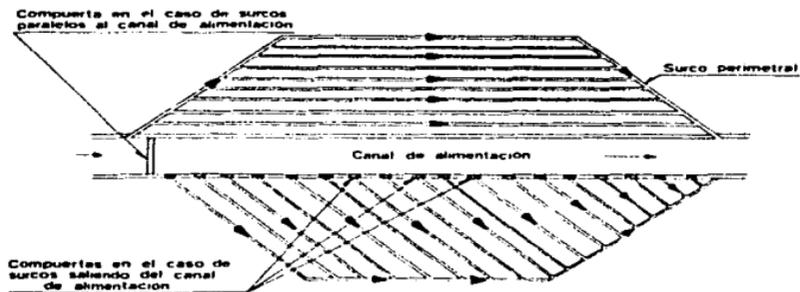


FIG. 1.10 Distribución de los surcos de infiltración.

Se puede obtener un mayor efecto bioquímico, construyendo los estanques a una cota lo más alta posible sobre la línea de saturación del acuífero; esto obliga a que, durante la percolación, el agua deba atravesar un gran volumen del medio poroso, aumentando la capacidad del medio de absorber y destruir los microorganismos existentes en el agua de recarga; no obstante, es fundamental el tratamiento para retardar al máximo o anular la posible colmatación de los poros del medio.

b) Surcos de infiltración.

Quando el terreno es irregular, o bien se puede esperar una colmatación superficial de los poros que reduzcan la infiltración, se recurre a este método en lugar de los estanques de infiltración. En esquema, el sistema está formado por un canal principal, del que parte, y retorna a él en un punto más bajo, un surco perimetral que recoge el exceso de agua procedente de la recarga. En el interior del recinto existen una serie de surcos que reparten el agua a infiltrar en toda la zona. En general, el tipo de distribución de estos surcos está fuertemente afectado por la topografía local, por lo que en cada caso será distinto.

c) Modificación de corrientes.

En zonas muy llanas en que existen corrientes superficiales es muy útil la aplicación de este sistema, cuya finalidad es la de aumentar el tiempo de recorrido de la escorrentía y la zona de recarga.

El sistema está formado por dos diques principales que limitan la zona a recargar y, perpendicularmente a ellos, se establecen otros diques que cortan la corriente y la obligan a aumentar el recorrido.

Tanto este sistema como el anterior se utilizan como variantes en el interior de los estanques de infiltración para evitar la formación de corrientes en dichos estanques, buscando los caminos más rápidos de entrada y salida del agua, con la consiguiente pérdida de rendimiento al disminuir la sección de infiltración.

d) Zonas inundadas.

En este sistema se crea una pequeña lámina de agua que se retiene por medio de azudes de muy poca altura y con la que se recarga el acuífero. Para que la

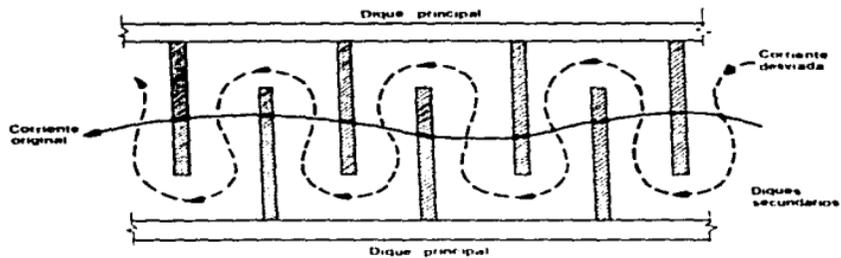
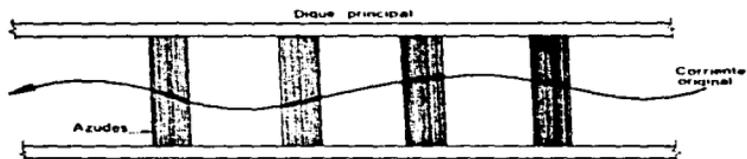
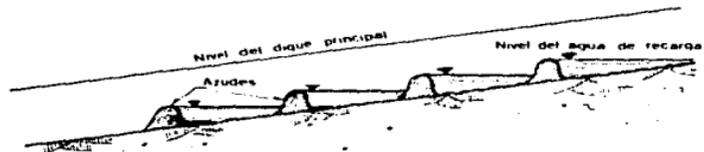


FIG. 1.11 Sistema de modificación de corrientes.



PLANTA



CORTE

FIG. 1.12 Sistema de zonas inundadas.

infiltración sea máxima, es preciso que la velocidad del agua superficial sea muy pequeña con el fin de no arrastrar la vegetación existente, que ayuda a la recarga; por tanto, la pendiente natural del terreno debe ser muy pequeña.

Recarga por medio de pozos.

Podemos definir un pozo de recarga (también conocido con los nombres de pozo de inyección, invertido y mudo), como un pozo que admite agua de la superficie para llevarlo luego a las formaciones subterráneas. Con su flujo ocurre lo contrario que con un pozo de bombeo, su construcción puede ser diferente. Los pozos de recarga se suelen utilizar para los acuíferos confinados profundos que necesitan agua en los lugares en donde la economía de espacio, tales como zonas urbanas, tienen una gran importancia.

Cuando el agua se recibe, dentro del pozo se forma un cono de recarga que es similar en sus formas, pero contrario al cono de depresión que surge en las proximidades de un pozo de bombeo.

Cuando se bombea agua de un pozo todas las partículas que lleva en suspensión se desparrraman por los alrededores del mismo. Pero a la inversa, cualquier sedimento transportado a un pozo de recarga es filtrado en el exterior y tiende a obstruir los alrededores del acuífero del pozo. El agua de recarga también puede llevar grandes cantidades de aire disuelto que tiende a reducir la permeabilidad del acuífero por la unión con el aire; también esta agua puede contener bacterias que crecen en el fondo del pozo y en sus alrededores y nos reducen, por tanto, el área efectiva del flujo. Los constituyentes químicos del agua de recarga pueden diferir notablemente de las del agua subterránea a causa de las reacciones químicas que en ellas ocurren, siendo una de las más frecuentes los cambios de base en los acuíferos que contienen grandes cantidades de arcillas y sedimentos. Todos estos factores nos hacen reducir la recarga.

Como resultado de todo esto, los pozos de recarga quedan reducidos a zonas muy concretas, donde las condiciones locales y la experiencia aconsejan el que éste método se pueda utilizar.

Dentro de este sistema de recarga podemos encontrar: pozos de colectores horizontales y pozos verticales.

a) Pozos de colectores horizontales.

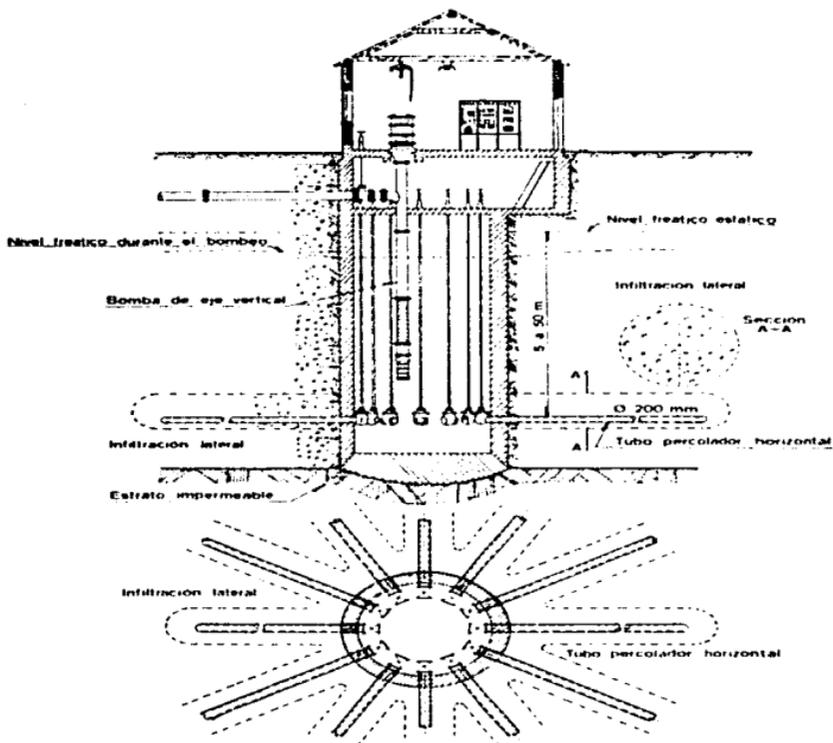


FIG. 1.13 Pozo Ranney de colectores horizontales.

En el caso de que los estratos superficiales del medio poroso sean relativamente impermeables, y que el espesor total de estos estratos no sea excesivo (2 a 3 m), se pueden excavar zanjas colocando en su interior tubos colectores horizontales. La utilización de este método está condicionada por la existencia, en las proximidades de la zanja, de una corriente de agua superficial.

Los taludes de las zanjas deben ser lo más verticales posibles, con el fin de que el fango y las materias en suspensión que se pueden producir caigan al fondo, permitiendo la infiltración por sus paredes; se debe tener la precaución de extraer periódicamente el fango producido para impedir que los tubos colectores se obstruyan. Como se observa, este sistema tiene un fuerte costo de construcción y mantenimiento, por lo que es realizable solamente en circunstancias muy especiales.

b) Pozos verticales.

En el caso de acuíferos en condiciones artesianas, o bien cuando existe limitación de espacio para la utilización de cualquiera de los métodos anteriores, se puede utilizar el sistema de recarga por medio de pozos verticales.

Desde un punto de vista hidráulico, la velocidad de recarga debe ser igual a la de bombeo; sin embargo, en la realidad, la primera es bastante menor debido al efecto de colmatación de los poros del medio en las proximidades del pozo; esta colmatación puede ser debida a partículas en suspensión existentes en el medio o el agua de recarga, aire disuelto, bacterias y reacciones químicas entre el agua de recarga y la del medio. Se debe, por tanto, adoptar las máximas precauciones durante el período de construcción del pozo y durante el proceso de recarga.

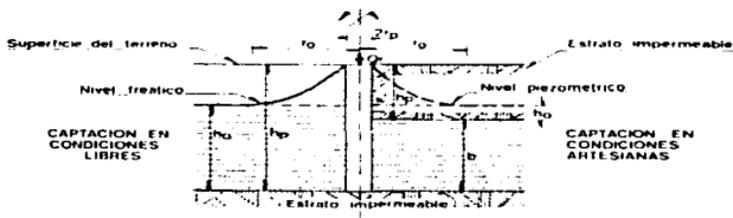


FIG. 1.14 Recarga por pozos verticales.

El caudal necesario de recarga viene definido por:
Acuíferos en condiciones artesianas:

$$Q_r = [2\pi K(b(h_p - h_o))]/\ln(r_o/r_p) = [2\pi T(h_p - h_o)]/\ln(r_o/r_p)$$

Acuíferos en condiciones libres:

$$Q_r = [\pi K(h_p^2 - h_o^2)]/\ln(r_o/r_p)$$

en donde:

Q_r = Caudal de recarga.

K = Permeabilidad.

b = Espesor del estrato permeable (condiciones artesianas).

h_p = Espesor del estrato permeable (condiciones libres) o espesor del estrato impermeable (condiciones artesianas).

h_o = Potencia del acuífero (condiciones libres) o altura del nivel piezométrico sobre el estrato permeable (condiciones artesianas).

r_p = Radio del pozo de bombeo.

r_o = Radio de la campana de variación del nivel freático (condiciones libres) o del nivel piezométrico (condiciones artesianas).

T = Transmisibilidad del medio poroso.

Como puede observarse, estas fórmulas son similares a las de captación por pozos verticales en acuíferos infinitos en condiciones artesianas o condiciones libres.

En la recarga por pozos verticales debe adoptarse la precaución de cerrar el pozo con boquillas de concreto, con el fin de evitar la salida de agua por efecto de la presión, que debe ser constante; el agua debe ser incolora, con bajo contenido en sodio y, a ser posible, debe ser clorada.

Recarga con agua procedente de depuraciones.

Una fuente muy importante para la recarga artificial por extensión de agua, la constituyen las aguas procedentes de depuraciones; sin embargo, debido a la alta

concentración de bacterias y materia en suspensión, la velocidad de infiltración es mucho menor que en el caso de agua limpia, siendo del orden de 25 cm/día. No obstante, mediante períodos de inundación y secado, con el correspondiente cultivo del terreno en estos últimos, se consiguen mayores velocidades de infiltración; la duración de estos ciclos viene a ser de siete a catorce días.

Una cualidad muy importante de este sistema la constituye la filtración natural producida, de forma que si el medio poroso es granular con granulometría cerrada, con muy pocos metros de percolación se puede efectuar una captación potable.

El sistema se puede utilizar igualmente en la recarga por pozos verticales, adoptando la precaución de efectuar periódicamente inyecciones de cloro y bombas de aproximadamente el 4 % del agua recargada.

Recarga inducida.

El método de recarga inducida efectuado por la recogida del agua subterránea en una localidad adyacente a un lago o a un arroyo hace que el nivel más bajo del agua subterránea nos pueda inducir agua a la entrada del suelo de la fuente de superficie.

Este sistema de recarga del acuífero se utiliza cuando las aguas superficiales no tienen la calidad suficiente para considerarse como potables, y cuando no se puede disponer de zonas para almacenamiento del agua subterránea.

Este proceso permite obtener agua potable a partir de las aguas contaminadas de los ríos por usos industriales o por desechos domésticos.

1.5. LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

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

1.5.1. Calidad física del agua.

Físicamente el agua subterránea es generalmente clara, incolora, con poca o ninguna sustancia en suspensión y tiene una temperatura relativamente constante. Esto se atribuye al proceso de percolación lenta a través del suelo y los efectos mencionados anteriormente. Desde el punto de vista físico, el agua subterránea, es más fácilmente utilizable que el agua de la superficie, ya que raras veces se requiere un tratamiento antes de utilizarse. Las excepciones son las aguas subterráneas que están conectadas hidráulicamente con aguas superficiales cercanas a través de aberturas grandes tales como fisuras y canales de disolución, así como los intersticios de algunas gravas. Estas aberturas pueden permitir la entrada de materia en suspensión en la capa acuífera. En tales casos, también pueden ser notables los sabores y olores de la vegetación en descomposición.

1.5.2. Calidad microbiológica del agua.

Las aguas subterráneas están generalmente exentas de organismos muy pequeños (microbios) que causan enfermedades y que están normalmente presentes en las aguas superficiales. Este es otro beneficio que resulta de la acción de la filtración lenta al circular el agua a través del suelo. Además, la falta de oxígeno y nutrimentos en el agua subterránea la vuelve un medio inapropiado para que los organismos patógenos se desarrollen y multipliquen. Las excepciones a esta regla son ocasionados por las fisuras y canales de disolución encontrados en algunas rocas consolidadas y en capas acuíferas de arena y grava poco profundas de donde se extrae a proximidad de las fuentes de contaminación por descarga de aguas residuales a ríos o lagunas en donde, como ya vimos, una parte de ésta agua se infiltra y va a parar a algunos posibles mantos acuíferos.

1.5.3. Calidad química del agua.

La calidad química del agua en el subsuelo está también considerablemente influenciada por su movimiento relativamente lento a través del suelo. Su grado relativamente lento de percolación a través de la tierra proporciona tiempo más que suficiente para que muchos de los minerales que forman la corteza de la tierra se incorporen a la solución. Estos minerales tienen diferente grado de disolución en el agua, dependiendo de cierto número de condiciones que pueden variar muy

ampliamente en una región pequeña. Como resultado puede haber variaciones apreciables en la calidad química del agua subterránea encontrada en regiones de extensión superficial relativamente limitada.

Los usos que se le pueden dar al agua dependen de la cantidad de minerales que contenga. Donde éste contenido exceda el límite recomendado por las normas se deberá aplicar un tratamiento para eliminar la cantidad excesiva del mineral que contenga. Para ello se debe recurrir a asesoría técnica experta sobre la necesidad y el uso de los distintos métodos de tratamiento.

El contenido de minerales en el agua se expresa, comúnmente, en partes por millón (ppm) que significa el número de partes por peso del mineral encontrado en un millón de partes de la solución.

Las siguientes sustancias químicas y propiedades del agua subterránea se encuentran entre las más importantes y que son de interés para identificar el tipo de agua a extraer así como el uso que se le va a dar: hierro, manganeso, cloruro, fluoruro, nitrato, sulfato, dureza, sólidos totales disueltos, pH y gases disueltos tales como oxígeno, sulfídrico y dióxido de carbono.

El hierro y el manganeso se consideran juntos a causa de sus semejanzas en el comportamiento químico y su presencia en el agua subterránea es desagradable, aunque no amenaza la salud humana. Ambos producen manchas (pardo rojizo en el caso del hierro y negro en el del manganeso) en las tuberías y telas al lavarlas, además posee un sabor característico desagradable. Tales aguas, cuando se obtienen inicialmente de una derivación o bomba, pueden ser claras e incoloras, pero al dejar de fluir ésta, el hierro se separa de la solución dando una apariencia turbia al agua y acumulándose más tarde en el fondo como un depósito colorado de herrumbre.

Los cloruros se encuentran en concentraciones muy altas en el agua de mar, usualmente en el orden de 20,000 mg/l. Sin embargo, el agua de lluvia contiene mucho menos de 1 mg/l de cloruro. Las capas acuíferas que contienen concentraciones grandes de cloruro son, usualmente, las de las costas con acceso directo al mar, o las que estuvieron comunicadas con él alguna vez en el pasado.

Usualmente, el agua con un alto contenido de cloruro de sodio tiene un sabor desagradable y puede ser indeseable para ciertos propósitos agrícolas.

Las concentraciones de fluoruro en el agua subterránea son generalmente pequeñas y provienen principalmente del deslave de las rocas ígneas. Cuando se encuentra en concentraciones menores de 1.0 mg/l generalmente el fluoruro disminuye la incidencia de caries dental en los niños y es conveniente su

presencia. Sin embargo, las concentraciones excesivas provocan una coloración parda y picaduras de los dientes llamada fluorosis dental. También es probable que el consumo continuo de aguas que contienen fluoruro en exceso de 4 mg/lit. puedan afectar la estructura ósea. Las aguas con concentraciones superiores a 3.0 mg/lit. usualmente no se recomiendan para abastecimientos de agua potable.

El contenido de nitrato en las aguas del subsuelo varía considerablemente y, a menudo, no está relacionado con las formaciones geológicas de la zona. Las concentraciones elevadas de nitrato se deben muy frecuentemente a la percolación de las aguas superficiales que continen desperdicios humanos y/o animales y otros productos de desecho agrícola en las capas acuíferas o al flujo directo de corrientes superficiales contaminadas hacia los pozos. Por lo tanto, deben tomarse precauciones en la localización y construcción de pozos, sobre todo de poca profundidad, en zonas donde se encuentran retretes, residueros y corrales.

Las concentraciones elevadas de nitrato en el agua producen un efecto conocido como cianosis (metemoglobinemia) en los niños. Esta afección que se caracteriza por una coloración azulosa de la piel, indiferencia y abarreamiento, puede ser mortal. Por esta razón, el agua que contiene nitrato en exceso de 45 mg/lit. no debe usarse en la preparación de alimentos para niños menores de seis meses de edad. Debe hacerse notar que al hervir este tipo de agua solamente se conseguirá aumentar la concentración de nitrato.

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

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

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

Cuando hablamos de los sólidos totales disueltos nos referimos a la suma de todos los minerales tales como cloruros, sulfatos, etc., que se encuentran disueltos en el agua. Un agua con alto contenido de sólidos totales disueltos presenta problemas de sabor, efectos laxantes y otros asociados con cada uno de los minerales. Tales aguas son, usualmente, corrosivas para las rejillas del pozo y otras partes de su estructura.

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua que indica si ésta es ácida o alcalina. Sus valores varían entre 0 y 14, siendo el valor de 7 el que indica el agua neutra, los valores entre 7 y 9 indican la acidez creciente y entre 7 y 14 el aumento de alcalinidad en las aguas. La determinación del valor del pH es importante en el control de la corrosión y muchos procesos de tratamiento del agua.

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

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

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

CAPITULO II

**2. ESTUDIOS PRELIMINARES
DE
EXPLORACION**

CAPITULO II : ESTUDIOS PRELIMINARES DE EXPLORACION.

El agua se puede encontrar, como ya hemos visto, casi en cualquier parte de la superficie de la tierra. Sin embargo, es necesario mucho más trabajo de exploración para el agua subterránea que la simple localización en el subsuelo. El agua debe encontrarse en grandes cantidades, ser capaz de fluir sin interrupción hacia los pozos durante períodos largos de tiempo a velocidades razonables y ser de buena calidad. Para ser confiable, la exploración para localizar el agua subterránea debe combinar el conocimiento científico con la experiencia y el sentido común.

Para poder encontrar la ubicación correcta de un pozo que produzca un buen abastecimiento constante de agua durante todo el año, es necesario estudiar la geohidrología subterránea de la región dada, ya que es de primordial importancia determinar la ubicación, extensión y clase de acuíferos que existen en su ámbito, así como la localización e importancia de sus fuentes de recarga. La imposibilidad física para obtener información palpable directa ha sido la principal preocupación del geohidrologo, debido a ello se ha propiciado el desarrollo de diversos métodos indirectos, tendientes a obtener indicaciones respecto al agua subterránea, ya que los datos geohidroológicos deben inferirse a partir de informaciones obtenidas desde la superficie. La geología, la fotogeología y la geofísica disponen de métodos que permiten obtener valiosa información para localizar los acuíferos, aún cuando requieren el auxilio de muestras en perforaciones para su correcta interpretación.

2.1. ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS.

Como ya hemos mencionado, el conocimiento de la potencialidad de un acuífero se obtiene por medio del análisis, con el mayor detalle, de sus características geológicas, hidráulicas e hidrológicas y, en función de ellas, de su comportamiento ante cualquier tipo de acción externa a que se le sujete. El análisis anterior es lo que se llama estudio geohidroológico de un acuífero y consta de tres etapas: la prospección, la cuantificación y la predicción.

Es obvio que tener la capacidad de predecir efectos de acciones específicas es de gran utilidad, aún antes de llegar a la etapa de planeación, porque habrá muchas

acciones que quedan descartadas de cualquier política por lo adverso de sus efectos. Los ejemplos más comunes de efectos adversos por una mala política de explotación son: altura de bombas antieconómica, contaminación del acuífero y hundimiento del terreno bajo construcciones.

La potencialidad del yacimiento está relacionada entonces con la cantidad máxima de agua que puede extraerse de él en un determinado intervalo de tiempo de su operación, sin que se produzca alguno de los efectos adversos señalados. Cantidad que, como ya se vio, dependerá de las características del acuífero como de la localización y oportunidad de la extracción.

2.1.1. Prospección.

Una vez que por algún indicio de cualquier tipo se llegue a la certeza o se vea la posibilidad de que cierta formación del subsuelo contenga agua susceptible de ser aprovechada, conviene primeramente confirmar la posibilidad, en sus casos, y luego tratar de definir su geología y su geometría, esto es, su extensión y límites. Esta parte del estudio geohidrológico es lo que se conoce con el nombre de prospección del agua subterránea y como es lógico se utilizarán en esta parte disciplinas relacionadas con o pertenecientes a la geología, tales como la exploración geofísica, la exploración subterránea por medio de sondos y pozos, la foto-geología, la tectónica, la geología estructural, la historia, etc.

Por lo tanto, diremos que la prospección del agua subterránea es, precisamente, la utilización de diversas técnicas de medición e interpretación con el objeto de localizar y definir la extensión y algunas características cualitativas de un acuífero, de las formaciones que le sirven de frontera y del agua que contiene.

Con excepción de la perforación para exploración, todas las demás técnicas de prospección son de bajo costo y proporcionan información de gran utilidad. En seguida describiremos las metodologías más usuales para la prospección del agua en el subsuelo.

Métodos geológicos.

La mejor forma de presentar el marco geológico de un acuífero es por medio de planos y apuntes geohidrológicos, en los que se delimitan las formaciones y accidentes geológicos enfatizando sus aspectos de transmisión y de almacenamiento

de agua.

Cuando no se dispone de un estudio geológico con las características mencionadas, debe iniciarse a través de fotografías aéreas de la zona. La interpretación de fotografías aéreas es un medio rápido y de bajo costo con lo que se obtiene además de la geohidrología, otro tipo de información sobre el área como su hidrografía, obras de infraestructura, vegetación, uso del suelo, etc.

El primer trabajo de la interpretación es la delimitación, en planta, de la extensión de las unidades litológicas con atención a las propiedades geohidrológicas ya señaladas. Los conocimientos del geólogo sobre estratigrafía y geología estructural son muy útiles para la fotointerpretación y la inferencia en primer instancia de cortes geológicos obtenidos de la geología superficial; se localizan con este conocimiento fallas que han desplazado horizontes permeables, mismas que pueden constituir fronteras o canales de flujo dependiendo de su relleno.

La geomorfología es otra disciplina útil al definir características de permeabilidad de las formaciones y detectar fallas geológicas. Así, por ejemplo, una red de drenaje poco densa en una región húmeda es indicativa de una roca permeable que permite infiltración y lo contrario si la red de drenaje es densa.

Los resultados de un estudio geohidrológico deberán presentarse sobre un mosaico de fotografía aérea delimitando las unidades hidrogeológicas e indicando los accidentes detectados; la escala de éste mosaico variará entre 1:25 000 y 1:100 000, dependiendo de la extensión de la zona examinada. Se presentarán también cortes geológicos inferidos de la interpretación superficial y apoyados en la información que de geología del subsuelo se tenga. Estos cortes se irán afinando a medida que se hagan estudios geofísicos y perforaciones de exploración.

Métodos geofísicos.

Como ya hemos visto, el primer objetivo de una exploración es la localización de estructuras geológicas. El método geofísico mide, en la superficie de la tierra, las anomalías que se presentan en las propiedades físicas, las cuales debe interpretar en términos de geología profunda. La experiencia ha demostrado que la mayoría de las estructuras subterráneas pueden localizarse, siempre y cuando existan diferencias identificables en sus propiedades físicas. Las propiedades principales que exhiben las rocas y formaciones comunes son: magnetismo, densidad, elasticidad y conductividad eléctrica. Esto define cuatro métodos geofísicos

principales: magnético, gravimétrico, sísmico y eléctrico; mismos que describiremos con más detalle posteriormente.

La localización de aguas subterráneas involucra el intento de localizar zonas favorables para su presencia. Trae consigo la configuración de ciertas formaciones que pueden ser o no buenos acuíferos, las cuales se pueden presentar en los sinclinales, fosas y áreas de depresión general. Para ello se puede aplicar cualquiera de los métodos mencionados; pero si el objetivo perseguido es determinar la profundidad y condiciones de un acuífero dado, la elección del método que conviene es más limitada.

Investigar el agua subterránea, desde la superficie de la tierra es difícil, aún en el mejor de los casos y no siempre se obtienen resultados satisfactorios; sin embargo, éstos métodos resultan mucho más económicos que las investigaciones directas profundas, las cuales requieren perforaciones y muestreos cuidadosos. Lógicamente, ninguno de los métodos geofísicos puede dar resultados definitivos por sí mismos, pues la correcta interpretación de los datos, es fundamental.

Métodos de resistividad eléctrica.

Es de los métodos más efectivos para la localización de acuíferos. Se miden, con este método, cambios en la resistividad eléctrica de diferentes capas a profundidad variando medidas sólo en la superficie. Para esto se induce un campo eléctrico encajando en el suelo dos electrodos conectados a una fuente de corriente; dicho campo toma la forma mostrada en la figura 2.1 en un medio seminfinito homogéneo. Se mide luego la diferencia de voltaje entre otro par de electrodos, de la que se deduce la resistividad del suelo.

Si se llama "A" y "B" a los electrodos que inducen el campo eléctrico y "M" y "N" a lo que se conectan a un medidor de caída de potencial y estos tienen un arreglo cualquiera en planta, como se muestra en la figura 2.2, la resistividad específica (la resistencia eléctrica de un conductor cilíndrico del medio estudiado, con área unitaria y volumen unitario), del medio homogéneo está dado por:

$$\rho = \frac{2\pi V/I}{(1/AM) - (1/BN)} \quad \text{----- (1)}$$

donde:

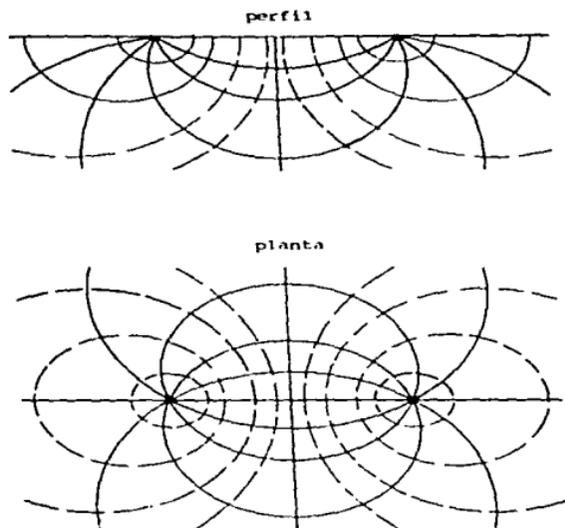


FIG. 2.1 Campo eléctrico inducido por dos electrodos

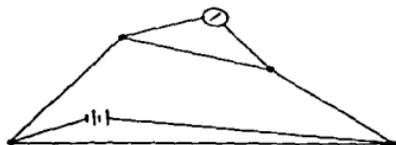


FIG. 2.2 Arreglo aritmético de electrodos (planta)

donde:

V = Diferencia de voltaje medida entre "M" y "N"

I = Corriente eléctrica aplicada entre "A" y "B"

Cuando el medio no es homogéneo, como en la mayoría de los casos, la expresión (1) da una resistividad aparente, cuya variación con las distancias entre electrodos permite determinar las heterogeneidades del medio.

Entre más se separan los electrodos de corriente más amplitud alcanza el campo eléctrico y se obtiene el efecto de mayores profundidades sobre la resistividad.

Para facilitar la interpretación de las medidas de resistividad, se utilizan normalmente arreglos colineales y simétricos de los electrodos; los más usados son los arreglos Wenner y Schlumberger. En el primero, los cuatro electrodos son equidistantes sobre una línea, estando los de medición de voltaje al centro; en el segundo, la distancia entre los electrodos de medición es mucho menor que la que separa los de corriente, permaneciendo simétricos respecto a un punto central.

Aplicando la expresión (1) se obtienen las resistividades aparentes para los dos casos:

a) Wenner

$$\rho = 2\pi a^2 V / I \quad \text{-----(2)}$$

donde:

a = Distancia entre electrodos.

b) Schlumberger

$$\rho = \pi \Delta V (b^2 - a^2) / (4a I) \quad \text{-----(3)}$$

donde:

a = Distancia entre electrodos de medición

b = Distancia entre electrodos de corriente.

Para la interpretación de estas mediciones, cada valor de resistividad con arreglo simétrico, se asocia con un punto bajo el suelo situado en el plano vertical que pasa por la línea de medición, al centro de los electrodos de corriente y a una profundidad igual a la mitad de la separación entre los mismos. Es claro que la medición no es con mucho la resistividad en el punto, ya que aquella está afectada por la resistividad de todo el medio; ésta asociación es sólo un artificio para formar un perfil o un plano continuo de resistividad cuyo contorno señale heterogeneidades del medio.

Variando la distancia entre electrodos, con centro en el mismo punto, se obtiene un sondeo vertical de resistividades aparentes; con varios sondeos verticales sobre la misma línea de medición se construye una sección o un plano de iso-resistividades aparentes.

Para obtener una idea sobre la forma de interpretar un sondeo, supongase un medio con dos capas con resistividades diferentes ρ_1 y ρ_2 , y espesores " h_1 " y " h_2 "; cuando la media distancia entre electrodos $d = (b-a)/2$ es menor que " h_1 ", la resistividad que se mide es muy cercana a ρ_1 ya que ρ_1 tiene poca influencia sobre el campo eléctrico; al acercarse " d " a " h_1 " y sobrepasarlo se obtienen valores intermedios ρ_1 y ρ_2 y, si " d " es grande con respecto a " h_1 ", la resistividad tiende a ρ_2 .

Se han encontrado soluciones teóricas que dan la resistividad aparente que se tendría para medios con varias capas de espesor y resistividad diferentes, con las que se han formado catálogos de curvas tipo. La interpretación del problema de dos capas es relativamente simple por medio del procedimiento de Hummel; cuando se detectan más de dos capas, se asimilan las capas superiores, ya determinadas a una sola capa equivalente con las fórmulas de Ebert y se vuelve a aplicar el procedimiento para dos capas. Por la naturaleza del método, es lógico que se pierda precisión con la profundidad; sin embargo, con los aparatos actuales se logran sondeos eléctricos efectivos hasta de más de 1.000 m.

Como cualquier otro método geofísico, para ser confiable en su interpretación, el método geoeléctrico debe estar apoyado en una o varias perforaciones de exploración en las que se conozca el perfil litológico y la posición del nivel piezométrico. Esto es especialmente importante en este método ya que sobre la resistividad de una formación influyen la salinidad del fluido que contiene, la porosidad y la comunicación entre poros, la presencia de minerales conductores como arcillas o metales y la temperatura.

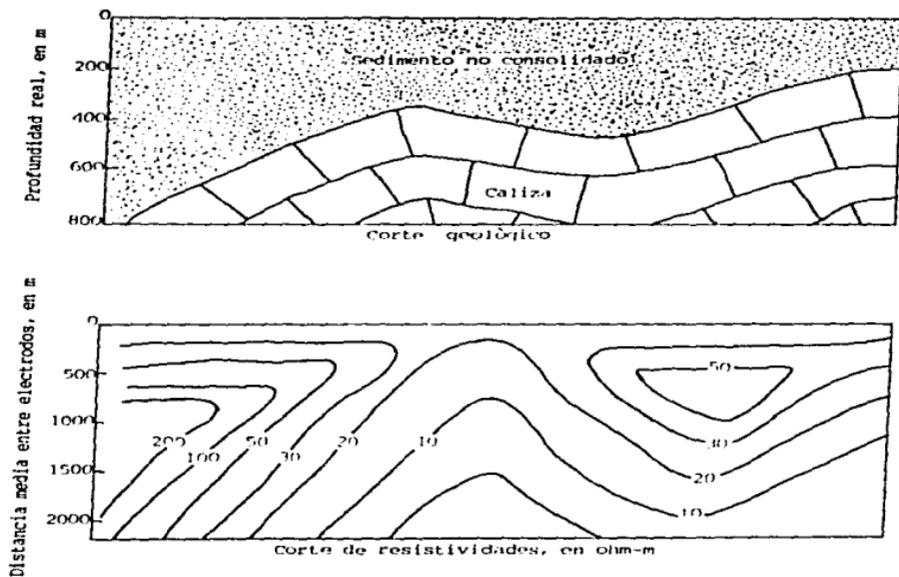


FIG. 2.3 Sección de resistividad

Método sísmico de refracción.

Al producirse una vibración artificial sobre la superficie del suelo, se propaga como una onda sísmica: la reflexión y la refracción de esta onda hasta la superficie al encontrarse con un medio de características elásticas diferentes a las del que partió, se utiliza para determinar la profundidad de capas del suelo.

El método más útil en la prospección del agua subterránea es el de refracción. Para determinar la profundidad de basamentos rocosos impermeables en valles aluviales el método de refracción es más preciso que el de resistividad y además es de fácil ejecución.

Este método se basa en el principio de que las ondas de deformación se propagan más rápidamente en medios más compactos o con un módulo de elasticidad más alto.

La onda se provoca en general con una pequeña explosión o con un martillo (onda sísmica). Se mide, entonces, el tiempo que pasa desde que se inicia la onda sísmica en un determinado lugar en la superficie del terreno hasta que es recibido por un detector (sismómetro o geófono) en otro punto de la superficie.

En la figura 2.4 se muestra gráficamente la ley de Snell de refracción en la frontera de dos medios en los que la onda sísmica se propaga con diferentes velocidades. Dicha ley expresa la proporcionalidad entre los senos de los ángulos de incidencia y las velocidades de propagación, por lo que habrá una dirección de incidencia para la cual la onda refractada viaja paralela a la superficie de contacto entre los dos medios; esta onda a su vez emitirá ondas en todas direcciones, una de las cuales se refractará nuevamente en el medio de menor velocidad y alcanzará la superficie en el punto donde se encuentra el sismómetro o geófono. Esta trayectoria es la mínima distancia para ondas refractadas entre el punto de excitación y el de medición y es la que interesa para la obtención de la velocidad de propagación en los dos medios. Mientras el punto de excitación esté cercano al geófono, la primera onda en alcanzarlo será la que viaje por el medio superficial con velocidad " V_1 "; al dibujar puntos en un plano x (distancia entre los dos puntos), y t (tiempo para recibir la primer onda), se definirá cerca del origen una recta con pendiente $1/V_1$, a medida que los puntos de emisión y recepción se alejan y como $v > V_1$, habrá una distancia crítica x_c después de la cual los puntos de la primer onda definirán una pendiente menor $1/V_2$. La profundidad del estrato refractor, obtenida de la gráfica se calcula como:

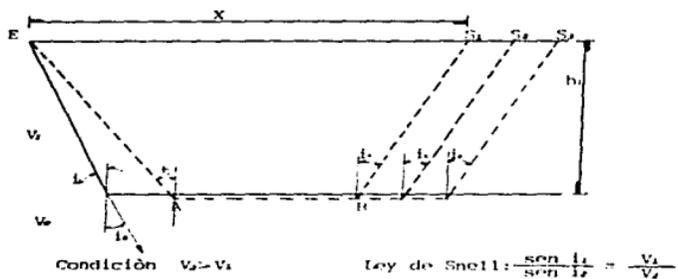
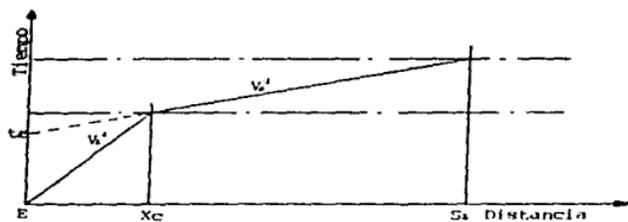


FIG. 2.4 Ley de Snell de la refracción

$$h = \frac{Xc}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

El método es aplicable también a capas inclinadas y a varias capas, siempre que las capas más profundas tengan mayor compacidad que las superiores.

En la figura 2.5, se muestra una gráfica de velocidades de propagación para diferentes tipos de rocas, secas y saturadas con agua; se aprecia ahí la influencia del agua contenida en los poros de los sedimentos no consolidados. Para rocas duras, la velocidad de propagación de las ondas de deformación decrece con la porosidad, estén o no saturadas; en el primer caso se estima la velocidad de propagación "V" como:

$$1/V = n/V_L + (1-n)/V_S$$

donde:

V_L = velocidad de ondas sísmicas en el líquido

V_S = velocidad de ondas sísmicas en el sólido sin poros

n = porosidad

El conocimiento del cambio de "V" con la saturación ha servido en algunos casos para configurar el nivel de saturación.

Perforaciones de exploración.

En general la geología de superficie no da toda la información necesaria sobre las condiciones geológicas en toda la profundidad del acuífero, por lo que se debe recurrir a la geofísica y a la perforación directa. La perforación puede servir para reunir información geológica por medio de muestras o de registros eléctricos. Debido a que la perforación tiene un costo elevado, es muy importante la supervisión de un geólogo durante la perforación. La selección del equipo de perforación depende, además de los factores económicos y geológicos, de la profundidad a la que se espera perforar, el tipo de perforación y los posibles métodos de prospección a usar. Cuando la perforación tiene como objetivo principal la exploración y el reconocimiento rápido de la geología de una región, los métodos

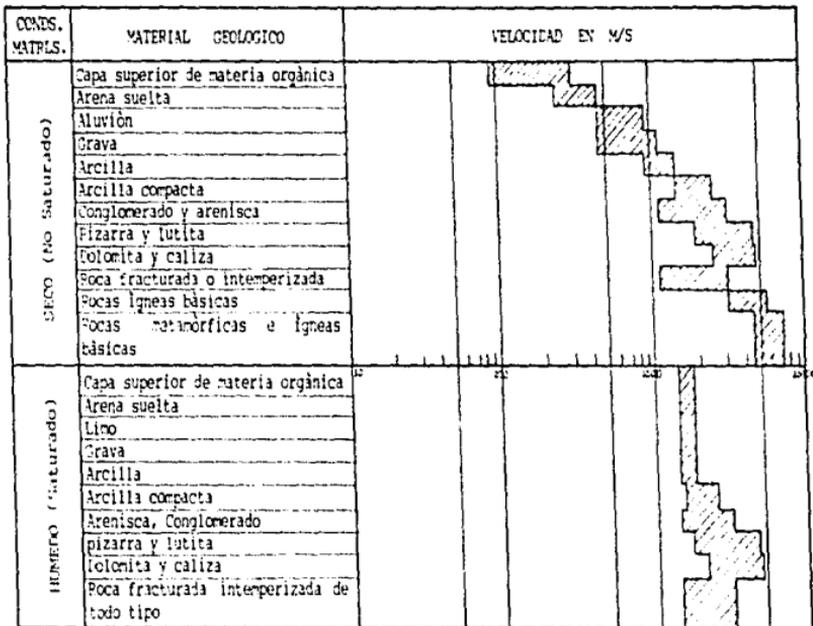


FIG. 2.5 Velocidades sísmicas de formaciones geológicas

rotatorios presentan, generalmente, las mayores ventajas; pero si durante la perforación deben hacerse estudios detallados de la calidad del agua y se desean preservar las condiciones ambientales, es preferible el método de percusión. Las sondas equipadas simultáneamente para percusión y rotación son, sin duda, las mejores pero su costo y mantenimiento son altos. De ambos métodos hablaremos más adelante y con mayor detalle.

La información que se obtiene con perforaciones de exploración puede clasificarse según la técnica que se emplee. Las dos técnicas usadas son la de registros geológicos y la de registros geofísicos.

Registros geológicos.

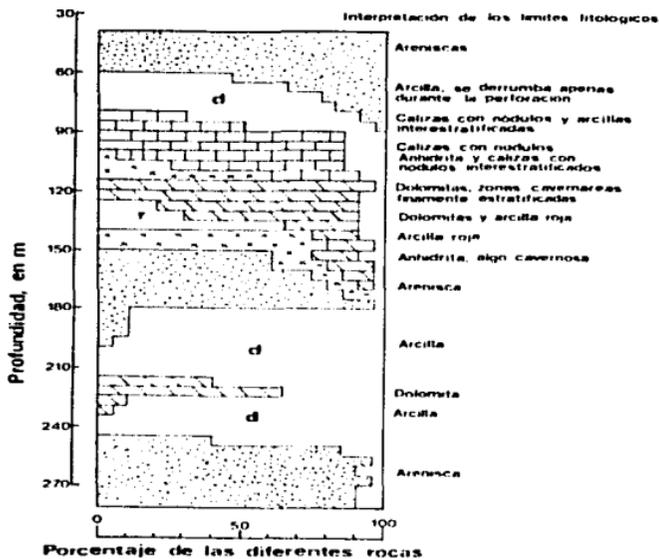
Durante la perforación se construyen gráficas llamadas registros geológicos que reportan las formaciones geológicas atravesadas basándose en el material extraído durante la perforación. Suelen reportarse también los avances de perforación, instalación y tipo de entubado, así como los incidentes durante la perforación. Un registro confiable es un auxiliar valioso tanto en la interpretación de la geología del acuífero como en el diseño final del pozo.

Cuando se perfora a rotación la interpretación de las muestras es más completa debido principalmente a que los detritus de la perforación son de tamaño pequeño y están mezclados con los lodos; esto dificulta su clasificación y por tanto la correlación litológica entre varios sondeos. Sin embargo, se pueden emplear algunas técnicas auxiliares como los estudios sobre: residuos insolubles, porcentaje de calcita, microfósiles, minerales pesados, porosidad, permeabilidad, mineralogía de las arcillas, etc. En la perforación a percusión, las muestras son más representativas pero esta técnica no siempre puede usarse.

Es importante que un geólogo supervise la elaboración del registro geológico y mantenga estrecha colaboración con el perforista, ya que variaciones en el avance de la perforación, vibraciones en equipo, etc., pueden ser indicadores de cambio en el tipo de roca o en su calidad.

Registros geofísicos.

Son de los registros más confiables y usados. De estos los que más se practican son los de medida de potencial instantáneo y los de resistividad eléctrica. Para este tipo de registros se requiere que la perforación no esté



LEYENDA



FIG. 2.6 Registro geológico.

ademada por lo que el método de perforación a rotación es el más adecuado en este caso. Si fuese necesario el adomado del pozo puede usarse el registro con rayos gamma.

a) Registro de potencial espontáneo.

Se obtiene midiendo la diferencia de potencial entre dos electrodos. Un electrodo se coloca fijo en la superficie (generalmente en un pequeño pozuelo lleno de lodo de perforación). El otro electrodo se introduce en el pozo lleno de lodo de perforación; al ir subiendo este electrodo se van registrando las diferencias de potencial medidas en un potenciómetro. Las diferencias de potencial pueden originarse por electroósmosis, efectos de estratificación de la roca, contacto entre las arcillas, etc., así como el efecto electrocinético de los fluidos que se mueven en la zona permeable del acuífero.

Al atravesar capas formadas por arcillas o lutitas y medir el potencial espontáneo se observa que éstas tienen aproximadamente el mismo potencial. Ésto es, aparecen como una recta vertical en el registro; a dicha línea se le llama línea base de las lutitas y a partir de ella se mide la deflexión de la curva, así como su separación de la línea base, relacionadas al medir en rocas diferentes. La curva de potencial espontáneo permite información relevante en cuanto al espesor efectivo de los diferentes estratos así como de su profundidad, la calidad del agua contenida en las rocas y la correlación entre las capas. Las inflexiones de la curva de potencial espontáneo permiten determinar los límites de las capas correspondientes con un error menor a medio metro.

Para determinar la salinidad del agua (como parámetro de la calidad del agua) a partir del registro de potencial espontáneo deberán seguirse los siguientes pasos:

- 1.- En un registro midase el potencial espontáneo, "SEP", a partir de las desviaciones de las líneas de base de las lutitas; si el tramo que interesa tiene espesor suficiente y existen varios estratos permeables que potencialmente pueden tener agua, se traza una línea base de las areniscas que una los puntos de máxima desviación con respecto a la línea base de las lutitas, ver fig. 2-8. El potencial espontáneo será la diferencia entre ambas líneas base. Si los pozos son poco profundos, conviene estudiar cada zona individualmente.
- 2.- Determinase la temperatura a la profundidad de interés ya sea midiendo o utilizando el gradiente geotérmico regional.

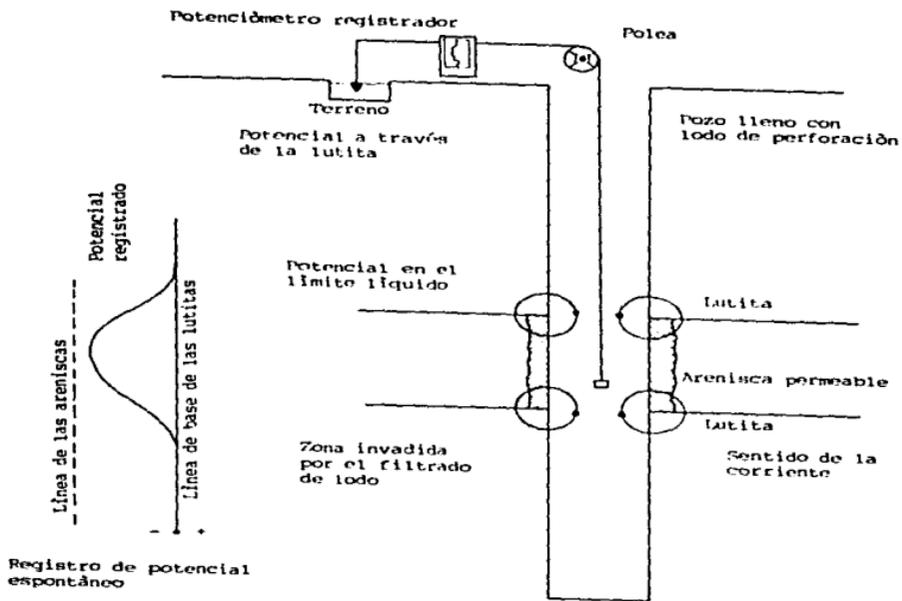


FIG. 2.7 Esquema de la medición del potencial espontáneo

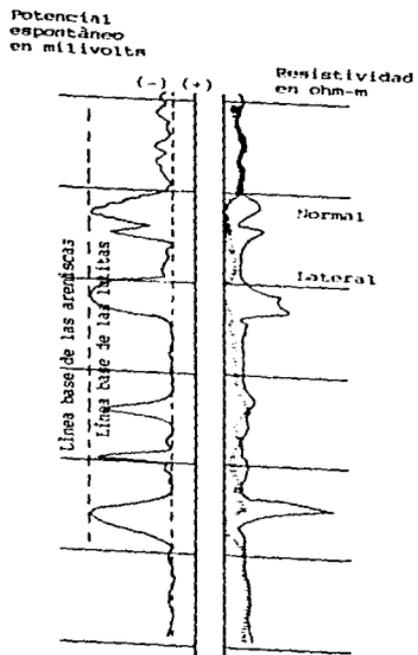


FIG. 2.8 Registro de potencial espontáneo y resistividad en un pozo que atraviesa areniscas y lutitas saturadas

3.- Determinece la resistividad de lodo filtrado, "Rmf", en el encabezado del registro; si no se tiene este valor, se obtiene con una buena aproximación multiplicando la resistividad del lodo no filtrado (que siempre está registrado) por el factor 0.8.

4.- Determinece la constante electroquímica "K" en función de la temperatura, ver la siguiente tabla:

Temperatura, en C	K, en milivoltios
0	-65
10	-67
20	-69
30	-72
40	-74
50	-77
60	-79
70	-81
80	-83

TABLA 2.1 Valores de la constante electroquímica K según Davis-Fe West.

5.- La resistividad del agua intersticial, "Rw", se obtiene despejandola de

$$EP = K \log_{10} (Rmf/Rw)$$

6.- Con "Rw" y la siguiente figura se obtiene la concentración de sal (NaCl).

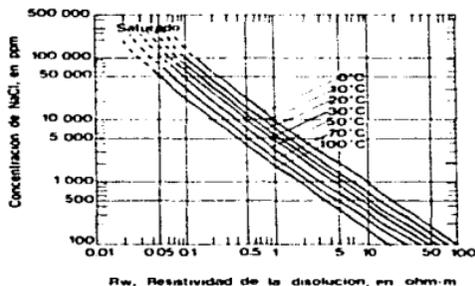


FIG. 2.9 Resistividad en función de la concentración de NaCl y de la temperatura.

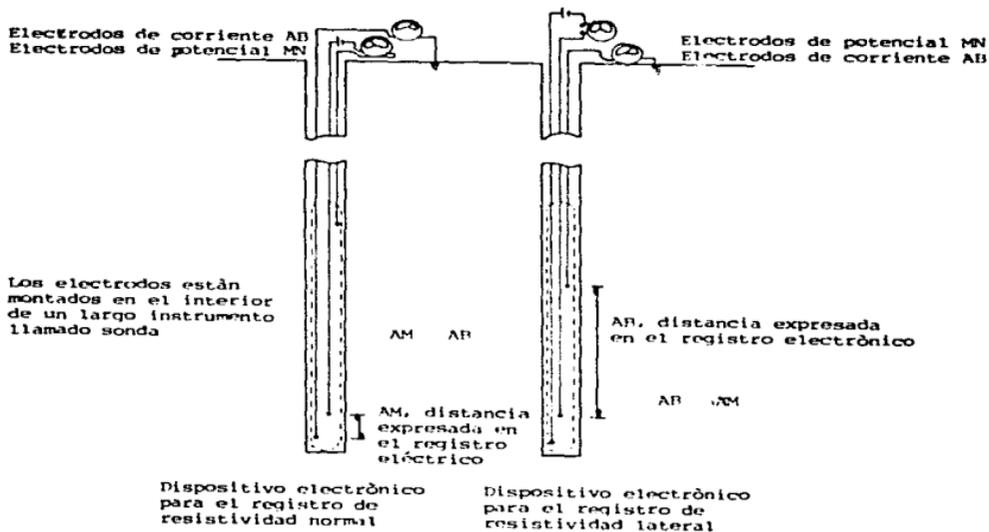


FIG. 2.10 Esquema de dispositivos para registros de resistividad, según Davis-Dewiest

La ecuación anterior es una aproximación permisible cuando la resistividad eléctrica de lodo es muy superior a la del agua de la formación. Si, además, el acuífero contiene arcillas que pueden reducir el potencial espontáneo, el resultado obtenido al utilizar la ecuación es de tipo cualitativo.

El método de potencial espontáneo se usa en conjunto con el de resistividad.

b) Registro de resistividad.

La resistividad del sistema fluido-roca saturada depende de tres factores fundamentales: la salinidad del fluido intersticial, la porosidad de la roca y la temperatura de la roca y el fluido. La mineralogía de la roca y la interconexión de los poros son factores menos relevantes.

Para hacer un registro de resistividad se introduce en el pozo un dispositivo llamado sonda. La sonda es un cable conductor cuyo extremo queda dentro de un cilindro metálico con orificios a ciertas distancias en los cuales se localizan los electrodos. Con los electrodos se forman distintas configuraciones con el objeto de medir la resistividad a diferentes distancias del eje del pozo.

En la figura 2.10 se muestran las dos configuraciones de electrodos más comunes, la sonda normal y la lateral. En la sonda normal el radio de investigación del pozo es de 0.5 a 2.0 m y en la lateral, de 0.1 a 10 m.

Este tipo de registros se utilizan para investigar la litología, facilitar la correlación entre los distintos tipos de roca y estimar la calidad del fluido intersticial en forma análoga a como se utilizan los registros de potencial espontáneo (ver figura 2.9). En general, las rocas ígneas tienen las resistividades más altas (por ejemplo, para el granito es del orden de 10^5 ohm-m), las metamórficas tienen valores intermedios (10^3 ohm-m para el gneis) y las rocas sedimentarias tienen la resistividad más baja, (del orden de 10^2 a 10^3 ohm-m). En las rocas sedimentarias la resistividad se determina más por la porosidad que por la conductividad intrínseca de la roca en sí. Por otro lado, los minerales arcillosos generalmente reducen la resistividad dado que los iones se agrupan en la superficie del suelo aumentando considerablemente el carácter conductor de los sedimentos.

Para tener una interpretación precisa de la litología del acuífero, así como de la localización de posibles mantos productores de agua, conviene siempre emplear simultáneamente los registros de potencial espontáneo y de resistividad.

c) Registros con rayos gamma.

El registro con rayos gamma es una medida relativa de la radiactividad natural en los estratos de la tierra. Existen diminutas cantidades de materiales radiactivos, universalmente distribuidos en una forma y otra. Se han registrado cantidades medibles en toda clase de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. En estas últimas, se ha podido establecer una escala de valores de la radiactividad natural, partiendo de numerosas experiencias de campo y laboratorio. La lignita y el carbón tienen muy poca radiactividad, mientras que la lutita y las arcillas bentoníticas y orgánicas, son las que mayor radiactividad presentan; los acuíferos tales como las arenas y las calizas, la tienen relativamente baja.

Atendiendo a estas características, es posible aprovechar las diferencias señaladas, para las diversas formaciones, en el estudio de la estratigrafía en una zona. Estos registros se llevan a cabo también en perforaciones, al igual que los registros anteriormente descritos.

Un registro de rayos gamma, debe interpretarse en términos geológicos y de estratigrafía para que sea útil; dado que la interpretación adecuada, identificará las diversas formaciones representadas en el registro y determinará sus características y dimensiones; tal interpretación involucra necesariamente una gran variedad de condiciones, tanto geológicas como de la perforación. El hecho de que estos factores varíen ampliamente, de perforación en perforación y de zona a zona, requiere que la teoría se apoye en una gran experiencia y en conocimientos científicos, para efectuar la interpretación más correcta; por lo tanto, un buen conocimiento de la estratigrafía local, es necesario para la interpretación geológica correcta de un registro de rayos gamma.

La primera ventaja del registro de rayos gamma sobre otro tipo de registros, es su posibilidad de captar información a través del ademe de acero en los pozos; esto permite un estudio estratigráfico de los pozos antiguos, construidos con anterioridad al desarrollo de los métodos de registro geofísico que actualmente se utiliza.

Desde un punto de vista geohidrológico, la utilidad de los registros de rayos gamma, reside en la posibilidad de definir las fronteras entre los diversos estratos, sin tener que hacer correcciones por la mayor o menor salinidad en el lodo de perforación.

Otros métodos.

Existen otros métodos de exploración, algunos de los cuales han sido aplicados con éxito en casos particulares de estudios geohidrológicos pero que, ya sea por su costo, su inaccesibilidad o sus limitaciones, no tienen tanta aceptación como los descritos, pero vale la pena en este trabajo mencionar algunos de dichos métodos por la ayuda adicional que puede obtenerse de ellos si están disponibles.

Fotografías aéreas de luz infrarroja, radar y ondas electromagnéticas.

La fotografía infrarroja es sensible a diferencias de capacidad calorífica y han permitido la detección de diques, flujos de agua subterránea cercanos a la superficie y descargas subterráneas de agua dulce al mar.

La fotografía de radar penetra la vegetación y detecta, como los rayos infrarrojos, la presencia de humedad a poca profundidad del suelo. Se usa en la determinación de la intensidad de lluvia.

Los métodos que utilizan ondas electromagnéticas de baja frecuencia tienen alta capacidad de penetración y al detectar cambios de conductividad eléctrica cumplen funciones similares a las del método de resistividad; al ser la obtención de la información más rápida que con ese método, los vuelos con imágenes electromagnéticas resultan promisorios en el futuro.

Método gravimétrico.

Involucra las medidas de las variaciones que ocurren en uno de los campos de fuerzas naturales de la tierra. El método está basado en la conocida ley de Newton de que cada partícula del universo induce una atracción sobre las demás partículas y que esa atracción es proporcional a la distancia que las separa.

La fuerza de gravedad, que obedece a dicha ley, se manifiesta en forma continua sobre la superficie terrestre, y su intensidad en un punto determinado, está afectada no solamente por la materia localizada en su proximidad, sino también por toda la masa terrestre y por el sistema solar. La exploración gravimétrica aprovecha la existencia de contrastes entre la densidad de las masas geológicas y los materiales que los rodean en dirección horizontal. Evidentemente, existen contrastes en la densidad en los horizontes individuales, a medida que se va hacia el centro de la tierra, y solamente se observan anomalías cuando un material con mayor o menor densidad se eleva o queda encajado dentro de la roca normal de la

región; si esto ocurre con un material de igual densidad, no se registra anomalía.

Este método detecta, precisamente, esas pequeñas anomalías de la atracción de la gravedad terrestre en la superficie de la tierra debidas a diferencias en la densidad de las rocas bajo la superficie. Estas diferencias son causadas por las fallas y plegamientos que yuxtaponen rocas de diferente densidad o al relleno aluvial de valles de origen erosivo o tectónico con densidad menor que las rocas que limitan el valle; sirve entonces para la detección de estos accidentes geológicos.

Por lo general, los resultados de las exploraciones gravimétricas se presentan en la forma de planos con curvas de igual anomalía gravimétrica. Los valores de tales anomalías ya están corregidos por los efectos de latitud, elevación y el de bouguer y, cuando es necesario, por los efectos de terreno y curvas terrestres. Así que el plano final representa la distribución superficial de la gravedad debida únicamente a las variaciones de densidad en las rocas sepultadas. Estas interpretaciones son puramente cualitativas y resulta más importante aún el buen conocimiento de la geología local y regional, dado que las anomalías pueden ser causadas por las variaciones de densidad en cualquier punto dentro de la sección geológica, incluyendo el basamento. La extensión y magnitud de las anomalías gravimétricas dependen de numerosos factores, entre los cuales se pueden citar la profundidad, dimensiones, forma y contraste de densidad que están involucrados; por lo tanto, lo abrupto de las anomalías está íntimamente ligado con los contrastes de densidad, y con la profundidad a la que tales contrastes se presentan.

Una interpretación cualitativa adecuada requiere datos de campo precisos, la remoción del gradiente regional así como otra fuente de disturbio, además de información adicional que permita limitar la profundidad de donde proviene una anomalía determinada.

Como el método gravimétrico es caro y las diferencias en el contenido de agua de las formaciones geológicas rara vez causan diferencias de densidad identificables en la superficie, su aplicación es muy restringida en los estudios geohidrológicos. Es posible que puedan identificarse algunas condiciones geológicas especiales, tales como depósitos aluviales potentes alrededor de áreas montañosas, cuerpos intrusivos que pueden constituir fronteras a los acuíferos y, desde luego, - obtener la probable morfología de la roca basal. Con todo, puede resultar muy útil en algunos casos.

Método sísmico de reflexión.

En el método de reflexión, utilizado con más frecuencia, principalmente en la industria petrolera, la energía sísmica que se ha reflejado en las formaciones profundas, se registra en la superficie mediante una serie de geófonos colocados en línea, cerca del punto en que se origina la energía. El impulso generado se mueve hasta alcanzar un reflector y regresa nuevamente a la superficie, donde es registrado por los detectores. El tiempo que emplea la onda en recorrer la distancia hasta el reflector y volver a la superficie, en el punto de tiro, es el tiempo de reflexión y la sucesión de impulsos recogidos por cada detector, constituye un reflejo y su registro se denomina sismograma.

En el sismograma quedan anotados los tiempos de reflexión y cuando se conoce la velocidad con que se propagan las ondas en el medio, resulta fácil calcular la profundidad de la superficie reflectora. Repitiéndose la operación en diversos puntos a lo largo de una línea, con detectores colocados a ambos lados del punto de tiro, se obtienen reflejos procedentes de porciones contiguas de la superficie reflectora y así se puede obtener un perfil continuo.

En la práctica, la interpretación dada de ser sencilla, pues existen diversos factores que la dificultan. La superficie no es un plano horizontal en la mayoría de los casos; las velocidades de transmisión de las ondas no son constantes; las estructuras sepultadas distan mucho de corresponder a una estratificación horizontal, etc. Sin embargo, un geofísico experimentado, puede deducir las condiciones estructurales profundas en un área, mediante el cálculo de profundidades y edades de las formaciones.

El método de reflexión proporciona datos más precisos que otros, independientemente de la profundidad, lo que no ocurre con los demás; tiene el inconveniente, al igual que el método sísmico de refracción, de que no puede obtenerse información cercana a la superficie.

Medición de temperatura del suelo.

Con la medición de la temperatura a poca profundidad del suelo (50 cm) se ha llegado a detectar anomalías de temperatura debidas a acuíferos someros y flujos de filtración de lagos y canales.

Trazadores.

En los últimos años se han utilizado con mucha profusión los trazadores, ya sea naturales, (hidrogeoquímica, isótopos naturales) o artificiales (isótopos radiactivos, esporas, fluorocloruros) que se inyectan al acuífero.

2.1.2. Cuantificación.

Como hemos podido ver, la prospección es una primera parte de los estudios geohidrológicos. Otra parte del estudio es el de la cuantificación del flujo (natural o inducido) y de la cantidad almacenada recuperable de agua subterránea. En esta parte se identifica la comunicación del acuífero con cuerpos de aguas superficiales, con los que tenga intercambio de agua, ya sea recibiendo o descargando, y se cuantifica este intercambio que es en general variable en el tiempo dependiendo de la época del año, de la magnitud del escurrimiento superficial de cada año y de otros factores. El acuífero puede tener también intercambio de agua con otras formaciones de menor permeabilidad que lo limiten, como macizos graníticos o estratos de arcilla y con otros acuíferos a través de aquellos; esto deberá también cuantificarse. Se debe estudiar el movimiento del agua dentro del acuífero como consecuencia de las solicitaciones externas a las que esté sujeto, como son los intercambios mencionados y la explotación por bombeo; se necesitará conocer la evolución y distribución de elevaciones piezométricas y de volúmenes de bombeados y la distribución de propiedades de la formación acuífera (su capacidad para transmitir, almacenar y ceder agua), y del agua misma (su temperatura y calidad); la calidad del agua se modifica tanto por los aportes de agua al acuífero como por su contacto con la formación rocosa con la que, por la lentitud del flujo, tiene intercambio iónico en procesos de adsorción y disolución de los elementos presentes.

De acuerdo con lo descrito, las disciplinas que intervienen en esta parte del estudio son: la hidrología superficial, la teoría del flujo de agua en medios permeables, la hidrogeoquímica y la bacteriología.

2.1.3. Predicción.

Finalmente tenemos la etapa de predicción en la que se cumple el objetivo de conocer el comportamiento del acuífero para cualquier forma de explotación que se proponga, esto es, frente a diferentes magnitudes y distribuciones espaciales y temporales del aprovechamiento sujetas a limitaciones físicas o económicas. Esta etapa se basa en los resultados de las anteriores con los que habrá que realizar cálculos para determinar los efectos de la explotación; estos cálculos se pueden sistematizar mediante la formación de modelos de simulación del acuífero que pueden ser físicos, analógicos o numéricos. Actualmente, es recomendable solamente la modelación numérica por lo que, además de la disciplinas ya mencionadas, ha cobrado importancia para los estudios geohidrológicos la teoría de métodos numéricos aplicados a la simulación del flujo y la dispersión de propiedades asociadas al agua en medios permeables.

CAPITULO III

3. DISEÑO DE POZOS

PROFUNDOS

CAPITULO III : DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS.

3.1. IMPORTANCIA DEL DISEÑO DEL POZO.

Generalmente el objetivo del diseño en ingeniería es conseguir la mejor combinación posible de rendimiento, vida útil y costo razonable. El diseñador de pozos, a menudo, encontrará que sus soluciones óptimas comprenden una serie de conciliaciones y que debe adoptar un enfoque flexible para cada problema. Entre esas conciliaciones está la necesidad de sacrificar rendimiento o eficiencia a fin de reducir costos.

Un buen comportamiento debe juzgarse por su eficiencia hidráulica, que será mayor en la medida que se pueda obtener un determinado caudal de producción con el menor abatimiento posible del nivel piezométrico dentro del pozo.

Por lo general, no se calcula la eficiencia hidráulica del pozo a pesar de su importancia como factor de costo de operación; cuando más se llega a determinar la eficiencia de los equipos de bombeo por parte de los fabricantes. Sin embargo, ante los incrementos de precios de la energía eléctrica o diesel, la eficiencia del pozo puede ser más importante que la eficiencia de la propia bomba.

Ahora bien, la eficiencia del pozo está en función de un buen diseño del mismo, que involucra en sus partes modulares la selección del material de la rejilla o cedazo y su abertura, así como el proyecto del filtro de arenas y gravas, tanto en su granulometría como en su dimensionamiento. Claro está que no basta un buen diseño del pozo, obviamente es necesario construirlo bien.

En la fig. 3.1 se muestra esquemáticamente un pozo perforado en un acuífero libre o freático, así como la distribución de presiones a lo largo de la sección transversal.

Si se bombea el pozo a caudal constante se inducirá un abatimiento gradual del nivel del agua dentro del mismo hasta que más o menos se estabilice, una vez transcurrido cierto tiempo, el nivel llamado dinámico o de bombeo. Mediante pozos de observación es factible determinar la distribución de presiones en el subsuelo, lo que genera las características del cono de abatimiento.

Dependiendo del diseño del pozo el abatimiento puede ser mayor o menor para un mismo caudal de extracción, lo que será un índice de su eficiencia; en otras

palabras, con un buen diseño se trata de hacer mínimo el abatimiento en el entorno del pozo.

Mediante las pruebas de bombeo se determinan las propiedades hidráulicas de los acuíferos, que entre otros casos permiten relacionar los abatimientos piezométricos con las distancias a los pozos.

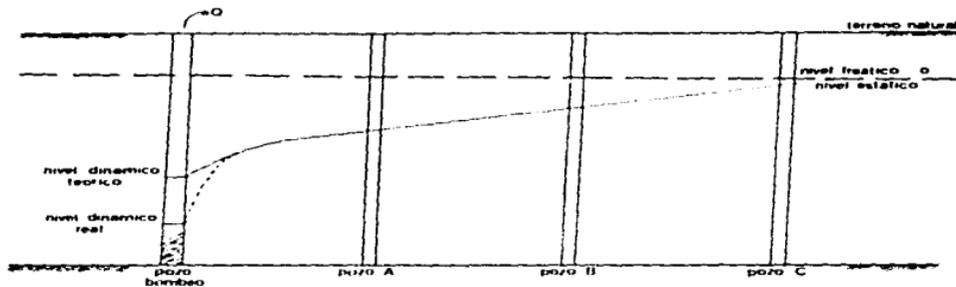


FIG. 3.1 Pozo perforado en un acuífero libre o frático.

Al realizar un buen diseño debemos asegurar, en lo posible, una larga vida útil. Esto se logra mediante una buena observación de las normas y especificaciones de proyecto, además de una buena selección de los materiales de construcción. Por ejemplo, la resistencia de la tubería de ademe, su resistencia a la corrosión cuando el agua subterránea presenta estas tendencias, o cuando se vislumbra la necesidad de sujetar al pozo a tratamientos posteriores mediante agentes ácidos por la formación de incrustaciones minerales o bacterianas. Esta selección de los materiales de construcción del pozo incluye también la composición de los granos del filtro de gravas y arenas: es decir, deben resistir los tratamientos ácidos por las razones antes señaladas, además de satisfacer especificaciones granulométricas de diseño.

Finalmente, mencionaremos la tercer condición que debe cubrir un buen diseño del pozo, o sea un costo razonable. No debe confundirse este concepto con una

opción barata, del menor costo posible, pues lo más seguro es que esta alternativa limitará considerablemente la vida útil del pozo impidiendo amortizar la inversión inicial.

3.2. NORMAS DE DISEÑO.

Para propósitos de diseño, los principios básicos se aplican tanto a pozos en materiales no consolidados como a pozos en materiales consolidados; por ello es necesario considerar al pozo como una sola estructura compuesta por dos partes principales: la parte superior llamada cámara de bombeo o sección cubierta y la parte inferior llamada zona de captación o sección de admisión.

Como su nombre lo indica la cámara de bombeo servirá para alojar con holgura al equipo de bombeo, y su dimensionamiento está regido por éste. Es un conducto vertical a través del cual fluye el agua desde la capa acuífera hasta la bomba o el tubo de descarga de un pozo de tipo artesiano surgente. Usualmente es de construcción impermeable y se extiende hacia abajo desde la superficie hasta la formación impermeable situada inmediatamente encima de una capa acuífera o a una profundidad segura bajo el nivel anticipado de bombeo de agua.

La zona de captación corresponde a los sitios donde se capta el agua de la capa acuífera hacia el pozo a través de los cedazos o rejillas.

3.2.1. Cámara de bombeo.

Diámetro y profundidad de la cámara de bombeo.

La selección del diámetro de la tubería del pozo se controla, generalmente, por el tipo y tamaño de la bomba que se espera instalar para el rendimiento potencial o deseado del pozo. El diámetro de la tubería que constituye la cámara de bombeo debe ser lo suficientemente amplio para instalar cómodamente a la bomba y permitirle un buen funcionamiento. Una vez que se ha fijado el caudal de extracción, el diámetro del ademe en la cámara de bombeo depende, a su vez, del diámetro de los tazones de la bomba más eficiente que sea capaz de producir el prefijado caudal de proyecto, así como del área hidráulica de la cámara de bombeo para garantizar la mejor eficiencia hidráulica.

Esta forma de seleccionar el diámetro de la cámara de bombeo, permite que:

- 1.- La bomba seleccionada (comunmente de turbina) con o sin motor sumergible, entre holgadamente.
- 2.- Absorba pequeñas torceduras o desviaciones de la cámara para que la columna de la bomba permanezca vertical.
- 3.- Reduzca las pérdidas por fricción.
- 4.- Se minimicen las pérdidas por el paso del agua alrededor de los tazones.

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

En pozos más grandes y más profundos, algunas veces es ventajoso, por razones económicas y de otro tipo, reducir el diámetro del revestimiento a niveles inferiores a la mayor profundidad de bombeo prevista. Esto se hace instalando, en forma de telescopio, una o más secciones de entubado de tamaño más pequeño a través de la superior. Esto ahorra el costo adicional de prolongar el entubado de diámetro mayor todo el trayecto hacia abajo hasta la capa acuífera, cuando un tamaño menor de tubería sería suficiente para alojar el flujo previsto sin excesiva pérdida de carga. Sin embargo, hay poca justificación para este tipo de diseño en pozos de 4" (10 cm) de diámetro o menos y no más de 100' (30 m) de profundidad.

En la tabla 3.1 se dan a escoger un diámetro óptimo y un diámetro mínimo. Aquí cabe hacer el comentario de que el diámetro recomendable a seleccionar sería el diámetro óptimo, ya que además de proporcionar un claro adecuado para la instalación de la bomba, la columna de succión quedará a plomo por sí misma y con los menores riesgos de rozar o golpear las paredes del ademe del pozo en caso de vibraciones, aún en los casos de ligeras desviaciones en la verticalidad del pozo.

Sólo en casos especiales, por ejemplo una bomba con una columna de succión más bien corta, se puede aceptar el diámetro mínimo sugerido en la tabla citada.

La profundidad de la cámara de bombeo se determina de acuerdo con el abatimiento esperado y en correspondencia con el caudal de proyecto. Esto resulta fácil y seguro si se tiene conocimiento de la transmisibilidad del acuífero, o cuando menos, de los caudales específicos de algunos pozos vecinos. En zonas sobre

PRODUCCION PREVISTA EN EL POZO		DIAMETRO NOMINAL DE LOS TAZONES DE LA BOMBA		DIAMETRO OPTIMO DEL ADEME DEL POZO		DIAMETRO MINIMO DEL ADEME DEL POZO	
l/seg.	g.p.m.	cm.	pulg.	cm.	pulg.	cm.	pulg.
menos de 0.63	menos de 100	10.0	4	15.0	6 DI	12.5	5 DI
4.7 a 11.0	75 a 175	12.5	5	20.0	8 DI	15.0	6 DI
9.4 a 25.2	150 a 400	15.0	6	25.0	10 DI	20.0	8 DI
22.0 a 41.0	350 a 650	20.0	8	30.0	12 DI	25.0	10 DI
37.8 a 56.7	600 a 900	25.0	10	35.0	14 DE	30.0	12 DI
53.6 a 82.0	850 a 1300	30.0	12	40.0	16 DE	35.0	14 DE
75.7 a 113.5	1200 a 1800	35.0	14	50.0	20 DE	40.0	16 DE
100.9 a 189.2	1600 a 3000	40.0	16	60.0	24 DE	50.0	20 DE

DI = Diámetro interior

DE = Diámetro exterior

TAPLA 3.1 Diámetros recomendables para pozos.

explotadas debe considerarse la velocidad del abatimiento piezométrico regional para dotar de una longitud extra a la cámara de bombeo, que permita agregar tramos a la columna de succión de la bomba y garantizar al pozo una larga vida útil.

En cuanto a los espesores de la tubería del ademe y tomando en cuenta que está sujeta a:

1.- Esfuerzos de columna durante y después de su instalación y esfuerzos de presión lateral ocasionados por formaciones inestables, en el desarrollo y durante la operación del pozo.

2.- La agresividad de las aguas subterráneas por su contenido de minerales.

3.- Tratamientos periódicos para eliminar la presencia de películas bacterianas.

Todos estos factores se reflejan en el espesor y en la clase del material de las tuberías de ademe.

Las tuberías lisas serán de acero grado "B" y los espesores se determinarán de acuerdo con las normas del "American Petroleum Institute" (A.P.I.) mediante la siguiente fórmula:

$$H = \frac{28.64 \times 10}{\left(\frac{D}{t}\right)\left(\frac{D}{t} - 1\right)}$$

donde:

D = Diámetro del ademe, en pulgadas.

t = Espesor del ademe, en pulgadas.

H = Longitud y profundidad del ademe, en metros.

Estos espesores se deben incrementar en 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ") en función del grado de corrosión de las aguas subterráneas y, en casos especiales, los espesores se modificarán y adaptarán a los que existen en el mercado. En la tabla 3.2 se muestran tanto los diámetros, espesores y profundidades establecidas comercialmente en el mercado.

Profundidad total del pozo.

La profundidad del pozo quedará definida y dependerá de los siguientes factores:

1.- De la profundidad a la que se encuentre la cima del último acuífero por

$\frac{D}{t}$	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1/8	270.11	112.76	57.36										
5/32	533.21	221.97	112.75	64.90									
3/16	931.32	386.64	196.97	112.75	70.68								
1/4	1255.83	931.32	470.74	270.11	169.07	112.75	78.91	57.36					
5/16		1548.68	931.32	533.21	333.23	221.97	155.21	112.75	84.47	64.90	50.95		
3/8			1630.29	931.32	581.12	386.64	270.11	196.07	146.90	112.75	88.46	70.68	57.36
7/16				1494.94	931.32	613.91	431.00	313.25	234.47	179.99	141.17	112.75	91.48
1/2					1473.10	931.32	649.43	470.74	352.03	270.11	211.75	169.07	137.13

TABLA 3.2 Profundidad máxima de colocación de ademe de acero
tomando en cuenta el diámetro y el espesor del mismo.

aprovechar si es que existen varios (ver fig. 3.2).

2.- La estructura y espesor de los estratos acuíferos, de acuerdo con el muestreo de la perforación exploratoria y el registro eléctrico, ya que el pozo atravesará dicho espesor si se justifica, para que se garantice un gasto específico alto y el mayor abatimiento disponible que permita incrementar la producción (ver fig. 3.3).

3.- De la calidad del agua, que en algunos casos limitará la profundidad y en otros la propiciará (ver fig. 3.4).

4.- También dependerá de la información que pueda recabarse de pozos cercanos si eso fuera posible, en concordancia con el caudal de proyecto.

3.2.2. Zona de captación.

Está compuesta básicamente de dos partes, la rejilla o tubería ranurada (tipo, longitud, abertura, diámetro, y velocidad de entrada de ésta) y el filtro de gravas y arenas graduadas.

Definida la profundidad del pozo quedará automáticamente fijada la profundidad de la zona de captación. El diámetro del ademe y las rejillas deben garantizar una buena eficiencia hidráulica, o sea, pérdidas por fricción bajas, cumpliendo con que la velocidad de conducción dentro de la tubería de ademe no sea mayor de 2 a 3 m/seg., y al mismo tiempo, que la velocidad de entrada al pozo a través de los cedazos o rejillas no sobrepase los 3 cm/seg.

Seguir estas dos normas, generalmente conduce a determinar, para la zona de captación, un diámetro del ademe y rejilla menor que el de la cámara de bombeo, lo cual presenta una opción digna de tomarse en cuenta para bajar los costos de la obra.

Si se acepta que la estructura de ademe debe constituir una unidad continua para evitar riesgos de arrastre de arenas dentro del pozo, la unión entre la cámara de bombeo y la zona de captación será necesariamente un elemento reductor compatible con ambos diámetros.

En acuíferos constituidos en formaciones de arenas finas, un proyecto de este tipo es más ventajoso que telescopiar o traslapar las tuberías de la cámara de bombeo y la de la zona de captación.

Sin embargo, éstas normas basadas en consideraciones hidráulicas pudieran no ser concluyentes para fijar el diámetro de la tubería en la zona de captación, tal como se verá más adelante, pues hay que tomar en cuenta no rebasar el espesor máximo recomendado para el filtro de gravas y arenas.

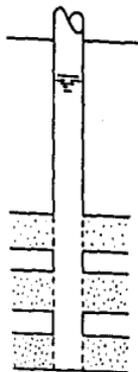


FIG. 3.2 Varios acuíferos

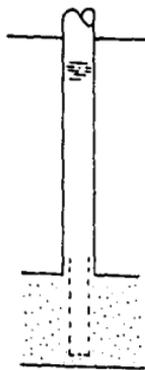


FIG. 3.3 (a)
Acuífero
confinado



FIG. 3.3 (b)
Acuífero
libre

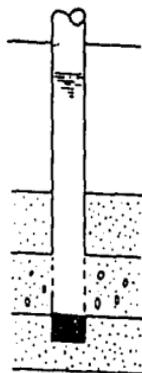


FIG. 3.4 Influencia de
la calidad del agua.

Tipo y construcción de la rejilla.

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

Rejilla de tipo ranura continua.

Este tipo de rejilla está hecha de alambre estirado en frío, de sección aproximadamente triangular, en forma de espiral alrededor de un conjunto circular de varillas longitudinales. El alambre se solda a las varillas en todos los puntos de contacto.

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

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

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

La rejilla de tipo ranura continua proporciona más área de admisión por unidad

unidad de superficie de rejilla o por unidad de longitud de rejilla, que ningún otro tipo conocido y, por lo tanto, su empleo puede reflejar un considerable ahorro.

Las aberturas de la ranura pueden variar fácilmente en tamaño, aún dentro de la misma sección de la rejilla, si las condiciones geológicas así lo requieren. Esto se hace simplemente modificando el espaciamiento en que se envuelven los alambres adyacentes. De esta manera una sola sección de rejilla puede hacerse con uno o más tamaños diferentes de abertura de ranura. La anchura de las aberturas de ranura pueden también mantenerse a tolerancias muy ajustadas, de 0.006 pulgadas (0.015 cm) y más grande. Las aberturas de las ranuras están designadas por números correspondientes a la anchura de la abertura en milésimas de pulgadas. De tal modo, una rejilla con una ranura del número 10 tiene abertura de 0.010 pulgadas (0.025 cm).

Rejilla tipo lumbrera o de persiana.

En este tipo de rejilla los fabricantes pueden disponer las aberturas en ángulos rectos o paralelos al eje de la rejilla. Las aberturas se practican en la pared de un tubo soldado por una operación de troquelado utilizando una matriz. La variedad de tamaños de abertura está limitada por los tamaños del juego de matrices usado por cada fabricante. Esta es una deficiencia de este tipo de rejilla comparada con la de ranura continua. Otra deficiencia importante es el porcentaje mucho menor de área abierta en las rejillas de tipo persiana.

Otro inconveniente es la tendencia de las aberturas a obstruirse durante el desarrollo de los pozos cuando el material de la capa acuífera contiene una proporción apreciable de arena. Por lo tanto, este tipo de rejilla se utiliza mejor en los pozos artificiales empacados con grava.

Rejilla con base de tubería.

Consiste en una chaqueta alrededor de un tubo de metal perforado. La chaqueta puede ser en forma de un alambre trapezoidal enrollado directamente alrededor de la tubería. También puede enrollarse el alambre en una serie de varillas longitudinales espaciadas a intervalos fijos alrededor de la circunferencia del tubo. Este último es un tipo más eficiente de rejilla ya que las varillas sostienen el alambre alejado de la superficie del tubo para reducir la obstrucción de las

aberturas de la rejilla. Una rejilla más fuerte puede obtenerse empleando una chaqueta de deslizamiento hecha de una unidad integral de rejilla de pozo soldada.

Usualmente, el área abierta total de los agujeros en el tubo es menor que la que existe entre el alambre de envoltura. Por lo tanto, son los agujeros del tubo los que controlan el rendimiento de la rejilla. El porcentaje del área abierta en el tubo es, generalmente, reducido y por lo tanto, este tipo de rejilla es relativamente ineficaz.

Muy frecuentemente se emplea este tipo de construcción a fin de evitar la fabricación de una rejilla hecha en su totalidad, con las costosas aleaciones no-corrosivas tales como el acero inoxidable, el bronce o el latón.

Las puntas deincar o puntas coladoras.

Son trozos cortos de rejilla de pozo que se han unido a longitudes sucesivas de tubo y se han hincado por medio de golpes repetidos hasta la posición deseada en una capa acuifera o en una formación que va a desmenuarse. Generalmente, una punta de acero forjado se encuentra unida al extremo inferior para facilitar la penetración en el terreno.

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

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

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

El tubo ranurado

El tubo ranurado se usa como sustituto para las rejillas de pozo, sobre todo para pozos pequeños. Las aberturas por ranuras en el tubo, usualmente se cortan con una sierra afilada, accionada eléctricamente, si es posible para mantener exactitud y regularidad en el tamaño. Sin embargo, se han utilizado otros métodos tales como el corte con soplete de oxiacetileno y por medio de un cincel y matriz, o un perforador de revestimiento.

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

El tubo ranurado de plástico está encontrando uso creciente en los pozos de diámetro pequeño en años recientes. Su peso ligero y facilidad de manejo lo hacen adecuado para zonas remotas, poco accesibles para vehículos motorizados. Este no es corrosivo y cuesta menos que el tubo de acero en tamaños de 4" de diámetro y más pequeños. Además, las ranuras se pueden hacer fácilmente en la posición con una sierra afilada dentro de los límites razonables de exactitud. Las ranuras cortadas en forma de espiral alrededor de la circunferencia del tubo dan como resultado un debilitamiento menor en el mismo y un espaciamiento más cerrado de las ranuras. Consecuentemente, el porcentaje de área abierta es más grande.

Longitud de la rejilla o celazo.

La selección de la longitud de la rejilla puede estar determinada por el espesor de la capa acuífera, de su disposición estratigráfica y del abatimiento disponible del nivel piezométrico.

Cabe mencionar que también se debe tomar en cuenta el tipo de acuífero. Por otra parte, debemos hacer notar que no es necesario que la rejilla cubra totalmente el espesor del acuífero para obtener la máxima producción del pozo.

Quando se deseó un abatimiento máximo para obtener mayor producción, la rejilla tendrá una longitud igual a un tercio del espesor del acuífero y corresponderá a un diseño óptimo.

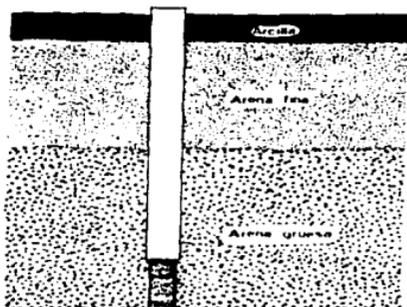
El papel desempeñado por las características de la capa acuífera en la selección de la longitud de la rejilla se demuestra mejor al presentar unos cuantos ejemplos. Si una capa gruesa de arena burda o grava yace bajo una de arena fina como se muestra en la fig. 3.5 A, la longitud de la rejilla debe ser, por lo menos, $1/3$ del espesor de la capa de arena gruesa. Para las situaciones mostradas en las figs. 3.5 B y 3.5 C, casi el total de la capa inferior de arena debe quedar cubierta por la rejilla. Si esto resulta inadecuado para obtener el rendimiento deseado entonces será necesario extender la rejilla un poco más hasta la capa siguiente de arena fina. Cuando una capa de arena gruesa descansa sobre una de arena fina, como en la fig. 3.5 D, normalmente debe ser suficiente colocar la rejilla en la capa de arena gruesa, siendo la longitud igual a, aproximadamente, la mitad del espesor de esa capa.

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

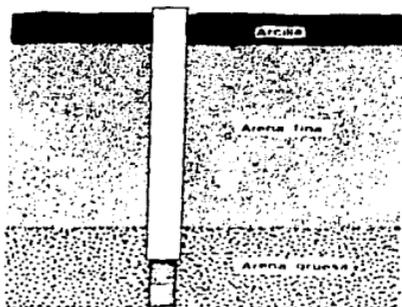
En el caso de acuíferos libres en formaciones heterogéneas.

Si la formación es heterogénea, la rejilla se colocará en los estratos más permeables o productivos. Cuando los estratos se encuentren a gran profundidad, se aplicará el mismo criterio que para los acuíferos confinados heterogéneos y cuando sean superficiales, el de los acuíferos libres homogéneos.

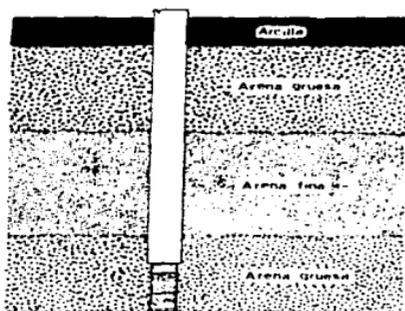
Es importante notar que en una capa acuífera gruesa, el rendimiento del pozo se aumenta mucho más eficientemente aumentando la longitud de la rejilla que incrementando proporcionalmente el diámetro de ésta. Por ejemplo, duplicar su diámetro solamente dará por resultado un aumento de 10 a 15 % en el rendimiento.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



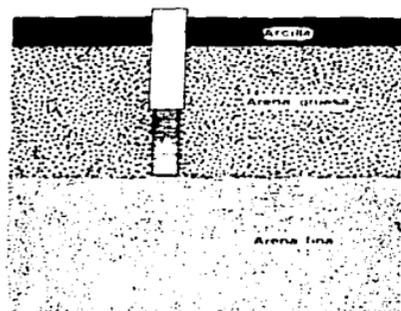
(A) La parte burda de la formación es gruesa



(B) La parte burda de la formación es delgada



(C) Capas alternadas de arena gruesa y fina



(D) Material grueso sobre arena fina

FIG. 3.5 Colocación recomendable de las rejillas para pozo en diversas formaciones estratificadas, de arena que contiene agua.

En el caso de acuíferos confinados en formaciones homogéneas

En acuíferos confinados el abatimiento de diseño corresponderá al desnivel entre el nivel piezométrico y un punto por arriba y próximo a la cima del acuífero.

Si la formación es homogénea, la longitud de la rejilla se seleccionará entre un 70 a un 80 % del espesor del acuífero, obteniéndose el 90 ó 95 % del máximo gasto específico disponible, para el mismo tipo de rejilla igual al espesor del acuífero. Para normar un criterio de los porcentajes que se deben aplicar en función del espesor de los acuíferos se establece lo siguiente:

- a) Para espesores menores de 10 metros, la rejilla tendrá una longitud igual al 70 % del espesor.
- b) Para espesores iguales o mayores a 10 metros, pero menores de 20 metros, la longitud de la rejilla corresponderá al 75 % del espesor.
- c) Para espesores iguales o mayores de 20 metros, la longitud del cedazo será igual al 80 % del espesor.
- d) Para espesores iguales o mayores de 40 metros la longitud del cedazo será igual a 50 % del espesor.

El cedazo o la rejilla se colocará en frente y al centro del acuífero.

En el caso de acuíferos confinados en formaciones heterogéneas.

Si la formación es heterogénea, el cedazo o la rejilla se colocará en él o los estratos más permeables o productivos y su longitud será igual al 90 ó 100 % de los estratos aprovechados.

En el caso de acuíferos libres en formaciones homogéneas.

En acuíferos libres, el abatimiento de diseño quedará definido por el desnivel disponible entre el nivel piezométrico y un punto por arriba y próximo al borde superior de la rejilla de pozo.

Si la formación es homogénea, tanto la teoría como la práctica han demostrado en un buen diseño, que la rejilla se localiza en la parte inferior del acuífero, con la longitud entre un tercio y un medio de su espesor.

Cuando se requiera mayor eficiencia para proporcionar un alto gasto específico, la rejilla tendrá una longitud igual a la mitad del espesor del acuífero.

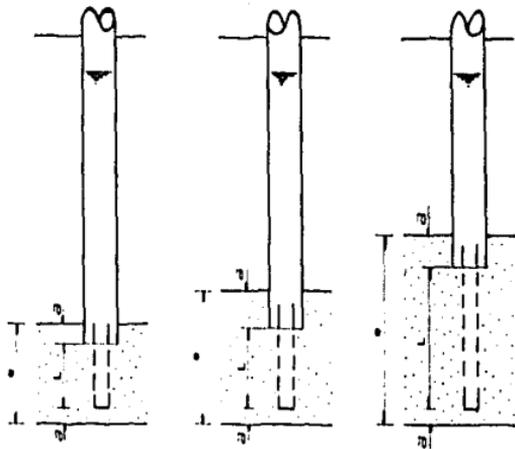


FIG. 3.6 Longitud de rejilla recomendable en acuíferos confinados homogéneos.



FIG. 3.7 Distribución de la rejilla.

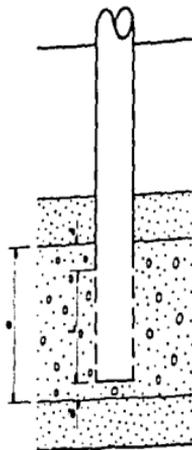


FIG. 3.8 Longitud de rejilla recomendable en acuíferos confinados heterogéneos.

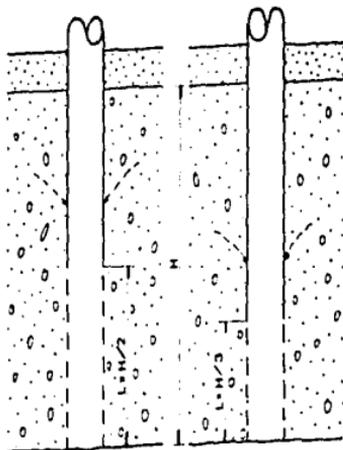


FIG. 3.9 Longitud de rejilla recomendable en acuíferos libres homogéneos.

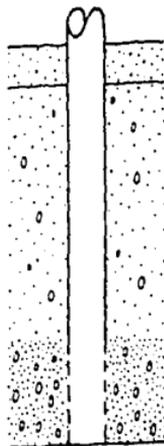


FIG. 3.10 Longitud de rejilla recomendable en acuíferos libres heterogéneos.

Abertura del cedazo o rejilla.

Las aberturas de las ranuras del cedazo se determinan de acuerdo con los análisis granulométricos de las muestras de las formaciones acuíferas, así como de la calidad del agua que éstas contengan. Puede hacerse una gráfica para cada una de las muestras y la envolvente de todas ellas normará la selección de la abertura, o bien se pueden juntar todas las muestras, mezclarlas muy bien y seleccionar por cuarteos la representativa, bastando con la correspondiente gráfica para determinar la abertura del cedazo.

Esta metodología permite definir dos tipos de acuíferos: los que se pueden desarrollar en forma natural; es decir, que forman su filtro mediante simple bombeo, y aquellos que requieren la construcción de un filtro artificial de gravas y arenas. Como veremos más adelante, el objeto del desarrollo del pozo es retirar el material más fino en la mayor cantidad posible, de una zona alrededor del pozo, para mejorar la capacidad específica (cantidad de agua suministrada por unidad de aspiración en un pozo) y la eficiencia del mismo. Más adelante hablaremos de los diversos métodos para desarrollar un pozo, por ahora es suficiente hacer notar que el desarrollo del pozo comprende la extracción del material más fino de la capa acuífera en las cercanías de un pozo y que esta operación tiene lugar a través de la rejilla y fuera del revestimiento.

Por lo tanto, el tamaño limitante del material que se retira determina el tamaño de las aberturas de la ranura de la rejilla. Para determinar este tamaño limitante, primero debe llevarse a cabo un análisis del tamaño de la partícula del material de la capa acuífera. Aproximadamente una tasa de material seco y bien mezclado de la capa acuífera se pasa a través de un juego normal de tamices y se anota el peso de las fracciones retenidas en cada uno. Estos pesos se expresan como porcentajes del peso total y se traza una gráfica del porcentaje acumulativo de la muestra retenido en una malla determinada y en los demás tamices superiores, en relación con el tamaño del tamiz dado expresado en milésimas de pulgada. Se dibuja una curva continua a través de los puntos de la gráfica. Esta curva muestra en una ojeada qué cantidad del material es más pequeño o más grande que un tamaño dado de partícula.

Por ejemplo, la curva que a continuación se muestra indica que el 90 % de la muestra consiste en granos de arena mayores de 10 milésimas de pulgada o que el 10 % es más pequeño que este tamaño. Expresado en otra forma, podemos decir que el 90 % de la arena es de 10 milésimas de pulgada.

Tamaño de abertura del tamiz	Pesos acumulativos retenidos	Porcentaje acumulativo retenido
0.046"	65 gramos	17 %
0.033"	106 gramos	28 %
0.023"	179 gramos	47 %
0.016"	266 gramos	70 %
0.012"	312 gramos	82 %
0.008"	357 gramos	94 %
Bandaja	380 gramos	100 %

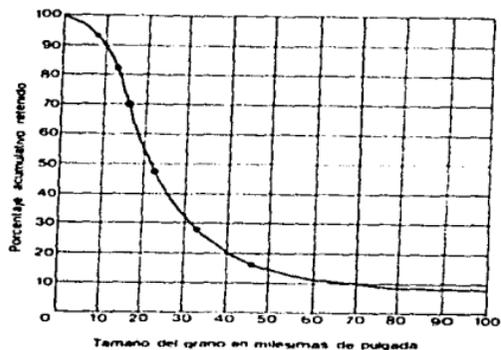


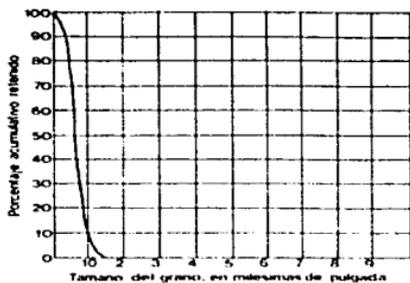
FIG. 3.11 La curva típica de análisis por tamiz muestra la distribución por tamaños del grano en porcentaje por peso.

Como podemos observar, este caso se refiere al uso y forma de localización de la curva para determinar la uniformidad en el tamaño del material y la clasificación de éste en tipos tales como arenas finas, arenas gruesas y gravas. Por ejemplo, una curva ampliamente extendida, casi vertical, indica un tipo uniforme de material. Si esta curva ocupa el lado izquierdo de la gráfica (fig. 3.12 A) en la región de los tamaños pequeños de tamiz, entonces representa una arena fina uniforme. Por otra parte, una curva ampliamente extendida a través de la gráfica, como en la fig. 3.12 B indica una mezcla de arena y grava que contiene muy poca arena fina. Una capa acuífera de ese material tendrá una permeabilidad más alta y debe ser mejor productora de agua que la que contiene arena fina de la fig. 3.12 A.

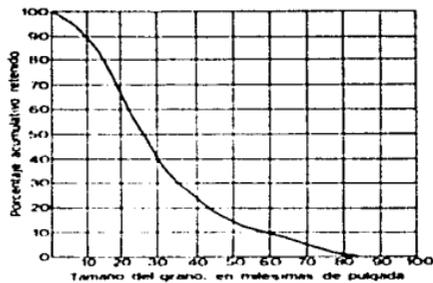
Examinando atentamente la fig. 3.12 B se observa que, extrayendo todo el material más fino del tamaño de 40 $\%$, quedaría solamente material grueso de 0.050 pulgadas en la formación. Este material relativamente grueso tendría espacios de poros grandes a través de los cuales el flujo sería más o menos libre. Un pozo construido en un material de capa acuífera de este tipo, con una rejilla que posea aberturas de ranura de 0.050 pulgadas, o una rejilla de número 50, tendría una eficiencia alta después de un desarrollo apropiado para retirar el material fino.

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

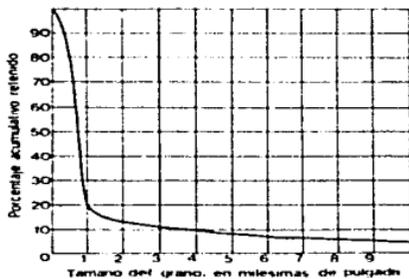
La selección de un tamaño de ranura de 30 $\%$ significa que el 70 $\%$ de la formación en la proximidad del pozo se retirará en el proceso de desarrollo. Igualmente, el 60 $\%$ de la formación se removerá con una abertura de ranura del tamaño de 40 $\%$. Seleccionando el tamaño de 30 $\%$ contra el de 50 $\%$ significa que se



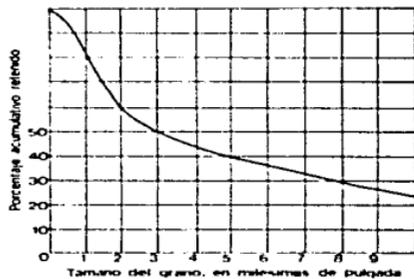
A. Arena fina, uniforme, que suministra agua a velocidades limitadas.



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



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



D. Mezcla de arena y grava con buena permeabilidad.

FIG. 3.12 Curvas típicas de análisis por tamiz para arenas y gravas que contienen agua.

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

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

- 1.- La rejilla con el tamaño de ranura diseñada para el material más fino debe extenderse por lo menos 2 pies (61 cm) en el material grueso.
- 2.- El tamaño de la ranura de la rejilla diseñada para el material grueso nunca debe ser mayor que el doble del tamaño de ranura para el material más fino de la capa superior.

Estas reglas están encaminadas a reducir la posibilidad de que el pozo continuamente extraiga arena procedente de la capa fina superior. También debe recordarse que las profundidades para los cambios de la formación no siempre se miden con exactitud y a veces no es posible colocar las rejillas a los niveles exactos. Entonces, la observación de estas reglas asume mayor importancia.

A continuación describiremos algunas reglas, de acuerdo a la formación y el tipo de material retenido, para establecer la abertura de la ranura de la rejilla.

- 1.- En formaciones homogéneas de arenas finas y gruesas, la abertura de la ranura de la rejilla se fijará para el tamaño del material que retenga el 30 % del acumulado, si el agua es excesivamente incrustante; el 40 % si es ligeramente corrosiva; el 50 % si es extremadamente corrosiva y el 40 ó 50 % si es ligeramente incrustante o el acuífero es delgado y limita con formaciones de materiales finos no consolidados o si el tiempo que dure el desarrollo es limitado.
- 2.- En formaciones homogéneas de arena y grava gruesa, una abertura correcta puede corresponder al 35 % del material retenido acumulado.
- 3.- En formaciones homogéneas de arenas finas y uniformes, en general se justifica el diseño de pozos con desarrollo artificial. Sin embargo, en algunos casos y

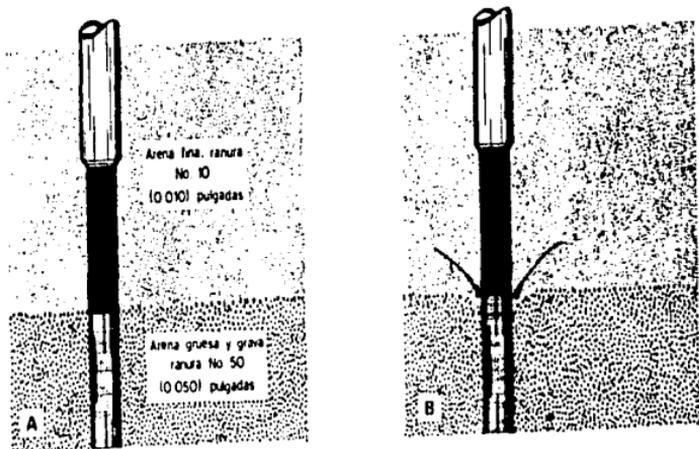


FIG. 3.13 La secuencia ilustra la posibilidad de entrada de la arena fina en la parte superior de la sección inferior de la rejilla, después del desarrollo del pozo si las aberturas más grandes de esta sección inferior de la rejilla se extienden hasta alcanzar la capa de material grueso.

cuando el proyecto lo requiera, se puede seleccionar una abertura entre el 40 ó 50 % del material retenido acumulado.

4.- En formaciones heterogéneas, la abertura de la ranura de la rejilla para pozos se seleccionará aplicando el criterio de las formaciones homogéneas. En el caso de que una formación de material fino se encuentre suprayaciende a una de material grueso, la rejilla con abertura para material fino penetrará un metro en la formación de material grueso y la abertura correspondiente a la formación de material grueso, será menor o igual a dos veces la del material fino, y

5.- Finalmente, si el diseño requiere la colocación de un estabilizador adecuado, entonces la abertura será menor que dos veces el tamaño del material retenido, para las aberturas antes mencionadas, esto es:

$$AR \leq 2 \text{ TMR}$$

donde: AR = Abertura de la ranura de la rejilla.

TMR = Tamaño del material retenido.

Diámetro del cedazo o rejilla.

El diámetro del cedazo depende de su área abierta por la que entra el agua al pozo. El área abierta es una característica de cada tipo de cedazo y es un valor que proporciona el fabricante por metro lineal, dependiendo del diámetro. Además, es el único factor que puede variar en función de la velocidad de entrada del agua a través de las ranuras, ya que la longitud y la abertura del cedazo o rejilla dependen respectivamente del espesor y granulometría del material que constituye el acuífero.

Una buena práctica de diseño recomienda que la velocidad de arrastre dentro del ademe no debe exceder de 2 a 3 m/seg. y, por otro lado, que la velocidad de entrada a través del cedazo debe ser menor o igual a 3 cm/seg para minimizar:

- a) Las pérdidas por fricción a través de las ranuras.
- b) La probabilidad de arrastre de arenas finas.
- c) El efecto de corrosión y de incrustación de las aguas.

La velocidad de entrada se determina dividiendo el rendimiento esperado o deseado, entre el área total de las aberturas de la rejilla en un tramo de la misma, esto es:

$$V = \frac{Q}{(a L)}$$

donde:

V = Velocidad de entrada, (dm/seg.)

Q = Rendimiento o gasto esperado, (l.p.s.)

a = Area total de las aberturas de la rejilla, (dm²)

L = Longitud del tramo en estudio. (m)

Aunque esta fórmula es considerada en unidades del sistema métrico decimal, cabe señalar que los fabricantes proporcionan tablas que indican el área abierta de rejilla para cada tamaño de diámetro y para diferentes anchuras de abertura de ranura en unidades del sistema inglés. Para fines de cálculo se facilita más usando la fórmula tal cual, pero para hacer una comparación de resultados con las tablas, únicamente habrá que realizar la equivalencia correspondiente. La tabla siguiente es un ejemplo de una de ellas:

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

Nota: TS significa rejilla de pozo de tamaño telescópico.
PS significa rejilla de pozo tamaño de tubería.

TABLA 3.3 Áreas de admisión para anchuras seleccionadas de aberturas de ranura (pulgadas cuadradas por pie lineal de rejilla).

Por medio de esta tabla se ve que una ranura del número 40, de 3 pulgadas de diámetro, telescópico, contiene 42 pulgadas de área abierta por pie de longitud de la rejilla. Por lo tanto, una sección de 10 pies de esa rejilla contendrá 420 pulgadas cuadradas de área abierta total.

El diseño estándar para la velocidad de entrada se escoge de tal manera que las pérdidas por fricción en las aberturas de la rejilla serán despreciables y el grado de incrustación y corrosión será mínimo. Aunque las pruebas de laboratorio y la experiencia práctica han demostrado que estos objetivos se alcanzan si la velocidad de entrada es la que hemos mencionado con anterioridad, es decir, menor o igual a 3 cm/seg., debemos hacer un paréntesis y mencionar lo que Walton propone como una velocidad óptima de entrada a la rejilla tomando en cuenta la permeabilidad de la capa acuífera en estudio. Estos valores se muestran en la siguiente tabla:

Permeabilidad de acuífero cm/seg	Velocidad óptima cm/seg
mayor de 0.28	6.0
0.28	5.5
0.23	5.0
0.19	4.5
0.14	4.0
0.12	3.5
0.09	3.0
0.07	2.5
0.05	2.0
0.02	1.5
menor de 0.02	1.0

TABLA 3.4 Velocidad óptima de entrada a través de la rejilla.

Propone, además, la siguiente fórmula para calcular la longitud de la rejilla:

$$L = 1000 \frac{Q}{A V}$$

donde :

- A = Área efectiva de la rejilla, definida como el 50 % del área total abierta en cm .
- Q = Gasto de diseño en l.p.s.
- V = Velocidad de entrada según la tabla anterior en cm/seg.

Los dos criterios anteriores coinciden para permeabilidades altas pero cuando la permeabilidad del acuífero es baja, el criterio de Walton es más conservador.

Selección del material del cedazo.

La selección de los materiales que entran en la construcción de un pozo es un aspecto muy importante del diseño mismo. Un pozo construido con materiales de poca o ninguna resistencia a la corrosión puede ser destruido hasta quedar inservible, por un agua altamente corrosiva, a los pocos meses de su terminación. Una selección inadecuada de los materiales puede ocasionar también el derrumbe del pozo debido a una resistencia inapropiada. Los factores anteriores tienen influencia considerable en lo que hemos dado a llamar la vida útil del pozo. Además de estos, la selección de los materiales también afecta considerablemente el costo del pozo. Los metales resistentes a la corrosión, por ejemplo, son mucho más costosos que el acero ordinario. La selección de un metal adecuado o el empleo de un espesor más grande del mismo metal para llenar los requerimientos de resistencia, redunda invariablemente en costos más elevados. Por lo tanto, el diseñador debe tener mucho cuidado en la selección de los materiales para un pozo.

Existen tres aspectos que gobiernan la selección del material del cedazo: la calidad del agua subterránea, el requerimiento de resistencia del cedazo y el costo.

Calidad del agua.

La calidad del agua en este contexto se refiere primordialmente al contenido mineral y sus características ácidas y su correspondiente tendencia a la corrosión, o bien a su alcalinidad y, por consiguiente, a su tendencia a formar incrustaciones de tipo mineral. Ciertas aguas causan corrosión e incrustación al mismo tiempo. De igual modo se refiere al contenido de altas concentraciones de hierro o manganeso que pudieran procrear colonias de bacterias que también originan incrustaciones plásticas.

La corrosión ataca principalmente a la rejilla, ya que es un proceso que destruye los metales, ensanchando sus aberturas hasta que finalmente deja pasar las arenas de la formación.

Aunque en la rejilla el ataque puede ser más crítico, no debemos desdeñar los efectos de la corrosión sobre el revestimiento o entubado. Usualmente, las aguas corrosivas son ácidas y pueden contener concentraciones relativamente altas de oxígeno disuelto que, a menudo, es necesario para la existencia y el aumento del grado de corrosión. Concentraciones altas de dióxido de carbono, sólidos totales disueltos y sulfuro de hidrógeno son otras indicaciones de un agua que puede ser corrosiva.

Por este motivo y para darle una larga vida útil al pozo se debe escoger un metal resistente a la corrosión. En nuestro medio no existen prácticamente alternativas para escoger, pues aunque hay en el mercado tubería de plástico a la que ciertamente no le afecta este fenómeno, sus limitaciones en cuanto a diámetro y resistencia son tantas que por lo general se prefiere el metal, y en este campo no hay más que escoger el acero al bajo carbono.

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

Los índices de una potencial corrosión del agua son: bajo valor del pH, es decir, menos de 7; oxígeno disuelto en concentraciones mayores de 2 ppm; presencia de sulfuro de hidrógeno aún en concentraciones menores de 1 ppm; dióxido de carbono en más de 50 ppm y concentraciones mayores de 500 ppm de cloruros.

Por supuesto que si se combina cualquiera de estos agentes corrosivos el potencial aumenta, y desde luego sus efectos.

La incrustación, a diferencia de la corrosión, no destruye el metal, pero provoca el depósito de sales minerales sobre él, es decir, sobre el cedazo y en los poros del filtro exterior y aún en los de la formación acuífera, obstaculizando gradualmente la entrada del agua al pozo y, por consiguiente, la reducción en el rendimiento del mismo.

Las aguas incrustantes son, usualmente, alcalinas, o sea lo opuesto a las aguas corrosivas, las cuales son ácidas. Algunos índices de esta tendencia del agua son: valores del pH mayores de 7.5 y concentraciones mayores de 300 ppm de dureza de carbonatos. En consecuencia, la forma de proporcionar una larga vida útil al pozo es seleccionando un metal del cedazo resistente a los aditivos químicos que se usan normalmente en el tratamiento de pozos, a base de ácidos, para disolver este tipo de incrustaciones.

Otro tipo de taponamiento en los cedazos y filtro circundante al pozo es el que se forma como resultado del ciclo biológico de la bacteria del hierro. Esta incrustación es de resistencia plástica y también puede estar asociada con depositaciones minerales (hidróxidos). Es seguro que proliferan dichos organismos cuando el agua subterránea acusa concentraciones de hierro mayores a 2 ppm, o

Contenidos de manganeso que exceden 1 ppm junto con un pH alto.

Ante estas circunstancias también es recomendable proyectar un metal resistente al ademe, por los tratamientos posteriores a que puede sujetarse el pozo.

Requerimientos de resistencia del cedazo o rejilla.

Los requerimientos de resistencia son importantes tanto en el entubado como en las rejillas, pero, generalmente, en mayor grado en estas últimas. Las dos fuerzas que debe resistir la rejilla y que se consideran más importantes, son la carga de columna durante su colocación en el pozo y la presión que le haría sufrir un colapso. Cuando una rejilla larga soporta un peso considerable de tubo por encima de ella, la rejilla actúa como una columna esbelta. Cuando la presión de los materiales y el socavamiento de éstos aplastan a la rejilla, ésta debe disponer de adecuada resistencia para soportarlo.

La resistencia de la rejilla a ambas fuerzas es directamente proporcional al módulo de elasticidad del material empleado en su fabricación. Se deduce de lo anterior que si la rejilla se hace de acero inoxidable cuyo módulo de elasticidad es de 210 toneladas métricas por centímetro cuadrado, tiene el doble de la resistencia de otra que haya sido fabricada de alguna aleación de cobre cuyo módulo de elasticidad es de 150 toneladas métricas por centímetro cuadrado, teniendo ambas las mismas características estructurales de sus miembros verticales y horizontales.

Cuando se consideran solamente los requisitos estructurales de resistencia, una rejilla debe fabricarse de acero inoxidable en lugar de bronce Everdur. En aquellos casos en que la calidad del agua es tal que se prefiere el bronce Everdur, los requisitos de resistencia pueden satisfacerse, si así se necesita, utilizando mayor número o tamaño de miembros verticales para lograr una mayor resistencia de columna y elementos horizontales más gruesos para obtener una mayor resistencia al colapso.

No es buena práctica sobrediseñar y proveer resistencia excesiva innecesaria, puesto que ello reduce el área abierta de la rejilla. El propósito de ésta es el de permitir al agua que entre al pozo con la menor pérdida posible de fricción. La rejilla debe tener resistencia adecuada para soportar las fuerzas a las cuales va a estar sometida y la máxima área abierta posible sin que esa resistencia se vea en ningún momento afectada.

La rejilla y las envolturas de resistencia adecuada pueden hacerse con

cualquiera de los metales y aleaciones usados comúnmente en la construcción de pozos. Usualmente, los fabricantes especifican las condiciones en que sus tubos pueden emplearse satisfactoriamente.

En la siguiente tabla se suministra una guía para escoger el tipo de metal o aleación de acuerdo a la resistencia a la corrosión.

METAL ALEACION	COMPOSICION NOMINAL	APLICACIONES SUGERIDAS
Monel	70 % Níquel 30 % Cobre	Alto cloruro de sodio combinado con oxígeno disuelto, como en el agua de mar. No se necesita por lo general agua subterránea potable.
Acero inoxidable	74 % Acero 18 % Cromo 8 % Níquel	Sulfuro de hidrógeno, Oxígeno disuelto, Dióxido de carbono, Bacteria ferrosa. Excelente resistencia.
Bronce Everdur	96 % Cobre 3 % Silicio 1 % Manganeso	Alta dureza total. Alto cloruro de sodio en ausencia de oxígeno disuelto. Alto contenido de hierro. Extremadamente resistente a los tratamientos con ácido.
Bronce rojo al silicio	83 % Cobre 16 % Zinc 1 % Silicio	Usado para las mismas condiciones que el bronce Everdur, pero inferior y no tan resistente. Se utiliza en aguas no muy activas.
Hierro ARMCO	99.84 % Hierro puro (doblemente galvanizado).	No es resistente a la corrosión, pero actúa satisfactoriamente en ciertas áreas. Se utiliza en pozos para riego, en donde las aguas son relativamente neutras.
Acero	50 % Hierro 30 % Carbono 20 % Manganeso (con doble galvanización).	No es resistente a la corrosión. Por lo general se usa en pozos no permanentes. Tales como los de prueba, o pozos para desecación. En algunos lugares puede alcanzar una vida útil satisfactoria, especialmente si las aguas no son corrosivas ni incrustantes.

TABLA 3.5 Metales de las rejillas de pozos y sus aplicaciones.

Costos.

Con frecuencia, las consideraciones de costo pueden ser el factor decisivo en

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

Filtros de gravas y arenas.

Cuando la formación acuífera está constituida en arenas finas más o menos homogéneas, la curva granulométrica se caracteriza por un coeficiente de uniformidad bajo, y es necesario construir filtros artificiales para retener las partículas finas de la formación.

Si la abertura de ranura que se seleccione como si fuera el caso de un pozo con desarrollo natural, fuera igual o menor de 0.25 mm (0.010"), debe constituirse dicho filtro artificial. En caso contrario, el pozo puede desarrollarse en forma natural, mediante simple bombeo.

Estabilizador de la formación en el caso de desarrollo natural.

Cuando el pozo se va a desarrollar en forma natural, el espacio anular entre el adorno y la perforación puede rellenarse con cualquier material por grueso que sea. Este relleno de material recibe el nombre de estabilizador y tiene como objetivo, como ya se mencionó, el de llenar el espacio anular alrededor de la rejilla (quizá 2" (5 cm) o más de anchura) por lo menos parcialmente, para evitar que los materiales de sedimento y arcilla situados encima de la capa acuífera formen cuevas o se derrumben cuando se inicie el trabajo de desarrollo. Independientemente de su función, el estabilizador de la formación debe ser un material granular limpio y ligeramente más grueso que el material natural del acuífero, para que durante el desarrollo se intente al más grueso del propio acuífero, y se incremente la transmisibilidad en la zona que rodea a la rejilla.

La única condición es que sea más permeable que la formación misma, distinguiéndose del filtro artificial porque sus constituyentes son una mezcla de granos sin control granulométrico, aunque es recomendable por varios motivos que tenga una graduación parecida a la de la formación.

A manera de guía, en la tabla siguiente se dan los espesores que puede tener el estabilizador.

PROFUNDIDADES (m)	ESPESORES	
	(cm)	(pulgadas)
De 0 a 75	5.08	2"
De 0 a 150	7.62	3"
Mayor de 150	10.16	4"

TABLA 3.6 Espesores del estabilizador.

Diseño de filtros artificiales de gravas y arenas.

El pozo construido con un filtro artificial de grava difiere del que se ha desarrollado en forma natural, en que la zona inmediata al pozo y que rodea a éste, se ha hecho más permeable por la remoción del material de la formación y su sustitución por un material más grueso, artificialmente gradado. En el pozo naturalmente desarrollado, el material fino de la formación que rodea a la rejilla se elimina mediante el desarrollo, creando así una zona más permeable.

En este tipo de pozos, se ha demostrado que la abertura de las ranuras de la rejilla se pueden escoger de modo que retengan alrededor del 40 % del material de la formación natural y que dejen pasar un 60 % del mismo, a través de las aberturas, durante el proceso de desarrollo. En el pozo dotado de un filtro artificial la grava artificialmente gradada se escoge de modo que ésta retenga prácticamente todo el material de la formación; la rejilla que luego se elije debe tener un tamaño tal que a su vez retenga la grava.

El pozo construido con un filtro artificial de grava cuesta por lo general más que el que se desarrolla naturalmente, pero en algunos casos, la construcción del filtro resulta más económica. Ciertas condiciones geológicas inducen al uso del filtro artificial de grava y en estos casos resulta imperativo usar este tipo de diseño, no importa su costo.

Las siguientes, son algunas condiciones que tienden a ir en favor de la construcción con filtro artificial de grava:

Arena fina uniforme. En este tipo de formación, debe considerarse el uso de un filtro de grava, puesto que así puede utilizarse un tamaño mayor de abertura en las ranuras de la rejilla. Consecuentemente, el área abierta de la misma, resultará

mayor. Las características de las rejillas de pequeño tamaño de aberturas es la de una área abierta menor. Si la abertura de ranura que se seleccione en el caso de un pozo con desarrollo natural, es menor que 0.010 de pulgada (ranura No. 10 ó 0.254 mm), debe considerarse la alternativa de utilizar un filtro de grava. Es posible aceptar cierta desviación de este límite, dependiendo del contenido mineral del agua. Si el agua es extremadamente incrustante, se puede usar un límite de 0.015 ó 0.020 pulgadas (0.38 ó 0.51 mm).

Acuífero artesiano de gran espesor. En este tipo de acuífero en el que se requiere una gran longitud de rejilla y en el cual la bomba ha de colocarse por sobre el intervalo entrejillado del pozo, se puede situar centrándola en el agujero, una rejilla de menor diámetro y el espacio anular llenarse con grava. Lo anterior es preferible a usar una rejilla más corta de un diámetro parecido al del agujero.

Arenisca cementada sin cohesión. Muchos excelente acuíferos de arenisca se hallan pobremente cementados. Si un pozo se construye, dejando abierto el agujero dentro de estos acuíferos, se desprenden de las paredes algunas partículas de lo que da por resultado un pozo que arroja arena.

Dado que la mayor parte de las areniscas son de granulometría fina, puede que se necesite usar rejillas con aberturas de 0.005 pulgadas (0.127 mm) o aún menores, para enfrentar esas formaciones en esos pozos desarrollados naturalmente (con base en un 50 % de retención). En tales formaciones, por lo tanto, el mejor diseño consiste en proveer un filtro de grava artificial o una envoltura de arena de modo que se puedan usar mayores aberturas de rejilla.

Otra de las razones para dotar de filtro artificial de grava a un pozo perforado en un acuífero de arenisca, es la de que el material de la formación casi no ofrece apoyo lateral a la rejilla. Durante el proceso de desarrollo, la formación no se adhiere ni se recuesta a la rejilla, como sucede en las formaciones consolidadas. Una vez colocada la rejilla en el agujero, algunos espacios vacíos permanecen en el anillo comprendido entre la rejilla y la pared del agujero. Esto deja abierta la posibilidad de que una sección de la formación pueda derrumbarse y caer sobre la rejilla en cualquier momento, dañándola. El material suelto y granular embebido entre la rejilla y la pared del agujero se acomoda en todas las irregularidades de éste. En esta forma, soporta a las paredes del agujero y al mismo tiempo brinda apoyo lateral a la rejilla.

Formaciones extensamente laminadas. Algunos acuíferos consisten de capas alternas de material fino, mediano y grueso. Por tal razón resulta difícil, amenudo, determinar con precisión la posición y el espesor de cada estrato

individual y escoger la longitud apropiada de cada intervalo de rejilla de aberturas múltiples correspondiente a cada estratificación. Por lo general, resulta mejor en un caso tal, reducir la posibilidad de cometer un error, diseñando el pozo con un filtro artificial de grava.

La gradación del filtro de grava debe requerirse por el estrato más fino de material en el intervalo productor. Un filtro de grava que se escoja con este criterio, no va a limitar el flujo proveniente de los estratos de material más grueso, puesto que la permeabilidad del filtro será de varias veces la permeabilidad de éste. Puesto que el filtro de grava es más uniforme y limpio que el estrato más grueso del acuífero, el resultado que se obtiene es el de una mayor permeabilidad.

Los pasos lógicos que se requiere seguir en el diseño de un filtro artificial de grava, son los siguientes:

1.- Deben construirse las curvas granulométricas de todos los estratos que componen el acuífero. Se determina el estrato formado por la arena más fina y se escoge la gradación del filtro con base en el análisis granulométrico de este material. La fig. 3.14 muestra la gradación de dos muestras de un material acuífero característico que constituye un acuífero de 9 metros de espesor. El material más fino se halla situado entre los 22.5 y los 27 metros de profundidad. En este ejemplo, el diseño del filtro de grava se basará en la granulometría de este estrato. Algunas veces constituye una buena práctica el desear aquellos intervalos desfavorables del acuífero y utilizar tubo ciego en aquellos tramos comprendidos entre las secciones de rejilla que se hayan colocado frente a las mejores partes del acuífero.

2.- Debe multiplicarse el tamaño de arena correspondiente al 70 % de retención, por un factor que va desde 4 hasta 6 (útese un factor comprendido entre 5 y 9, cuando la arena de la formación tiene una gradación altamente no uniforme e incluye limo). Útese un factor de 4 como multiplicador, si la formación es fina y uniforme; útese 6, si ésta es más gruesa y no uniforme. Una vez hecho esto, sitúese el resultado numérico de esta multiplicación en el gráfico sobre la línea horizontal correspondiente al 70 % de retención de la grava. En la fig. 3.14, 0.005 de pulgada (0.127 mm) es el tamaño que corresponde al 70 % de retención de la arena del intervalo entre 22.5 y 27 metros de profundidad. Si se usa 5 como factor de multiplicación, tendremos que $5 \times 0.005 = 0.025$ pulgadas (0.635 mm) que sería el tamaño correspondiente al 70 % de retención de la grava. Este punto constituye el primero de la curva que va a representar la gradación del material del filtro

artificial de grava.

3.- A través del punto inicial de la curva del filtro de grava, debe dibujarse una curva suave que represente a un material cuyo coeficiente de uniformidad sea de 2.5 o menos. Este paso debe efectuarse por tanteos. En la figura, la curva que aparece como línea llena tiene un coeficiente de uniformidad de alrededor de 1.75. Esta curva bien podría haberse trazado en forma algo diferente, como lo indica la línea interrumpida, la cual tiene un coeficiente de 2.47. Es más aconsejable trazar la curva del filtro de grava de modo que resulte tan uniforme como sea posible (bajo coeficiente de uniformidad). Por lo tanto, el material indicado por la curva de línea llena es preferible al indicado por la curva de línea interrumpida.

FILTRO DE GRAVA	
MALLA	% RETENIDO
0.065"	0 - 8
0.046"	10 - 26
0.031"	17 - 54
0.023"	72 - 88
0.016"	90 - 100
Tamaño efectivo = 0.029"	
Coef. de uniformidad = 1.75	

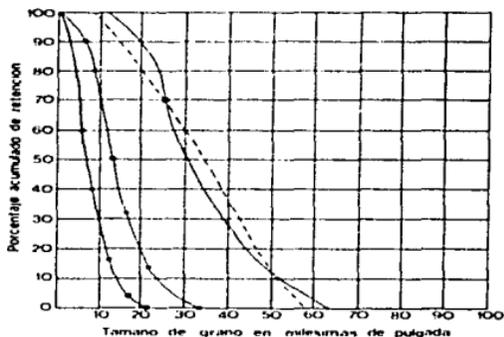


FIG. 3.14 Curvas granulométricas de arena acuífera y curva correspondiente al material adecuadamente seleccionado del filtro de grava.

4.- Prepárense a continuación las especificaciones del material del filtro de grava, escogiendo primero unos 4 ó 5 tamaños de criba que abarquen la amplitud de la curva y luego establézcase un rango permisible del porcentaje retenido en cada una de las cribas escogidas. Este rango permisible puede ser de unos 8 puntos de porcentaje por encima y por debajo del porcentaje de retención dado por cualquier punto de la curva. En nuestro ejemplo, la criba de mayor numeración debería corresponder a una abertura de 0.065 pulgadas (1.65 mm). La curva indica un cero por ciento de retención para esta criba, de modo pues, que un 8 por ciento viene a ser el máximo permitido en la especificación, para este tamaño de grano. El siguiente tamaño menor de abertura, que sigue en la serie más común de cribas, es de 0.046 pulgadas (1.17 mm). La curva tal como se encuentra trazada, muestra que el 18 por ciento sería retenido en esta criba; para obtener entonces el rango permisible, se suma y se resta un 8 por ciento. De esta manera, para el caso de la criba de 0.046 pulgadas (1.17 mm), el rango varía entre 10 y 26 por ciento. El procedimiento se repite hasta que a cada criba previamente escogida se le ha asignado un rango permisible.

En la fig. 3.14 se muestran 5 tamaños de aberturas de criba que cubren la gradación que se desea del material del filtro,ándole a la persona que suministra la grava un rango aceptable para cada uno de estos puntos, resulta posible para aquélla producir el material que se requiere, a un costo razonable. Al diseñar material para filtros de grava, el diseñador debe tener en cuenta las fuentes locales de abastecimiento de arena filtrante, usada en filtros rápidos de tratamiento de agua. Las firmas que producen estos materiales mantienen grandes existencias de arenas limpias y uniformemente gradadas y gravas que fácilmente se ajustan a los requisitos de los filtros artificiales de grava para pozos.

5.- Como último paso, selecciónese un tamaño de abertura de rejilla que sea capaz de retener un 90 por ciento o más, del material del filtro. En nuestro ejemplo, el tamaño correcto de la abertura de ranura, sería de 0.020 pulgadas (0.508 mm).

Si el diseñador del pozo sigue cuidadosamente los pasos anteriores, podrá evitar que los pozos arrojen arena, ya que el diseño se basa en una relación apropiada entre el tamaño de grano de la formación y el del filtro de grava. Un filtro que tenga tal relación de tamaños al compararlo con la formación, proveerá una retención mecánica de ésta y evitará que la arena se desplace hacia la envoltura de grava y hacia el pozo mismo.

Los materiales del filtro de grava deberán estar limpios y contener granos bien redondeados que sean lisos y uniformes. Estas características aumentan la

permeabilidad y la porosidad del material del filtro. En un material uniforme tiene lugar una menor separación hidráulica de las partículas, cuando éste se está colocando o dejando que se asiente a una profundidad considerable dentro del agua.

Los materiales para filtro consistentes en su mayor parte de partículas silíceas más que calcáreas son preferibles. El límite permisible de contenido de materiales calcáreos, es de un 5 por ciento. Esto es importante por la posibilidad de que el pozo necesite más adelante algún tratamiento con ácido. La mayor parte del ácido se desperdiciaría en disolver las partículas calcáreas, más que en eliminar las deposiciones incrustantes de calcio o de hierro. Son también inconvenientes aquellas partículas de lutita y de anhídrita y yeso.

Espesor del filtro de grava.

Puesto que la teoría de diseño de la gradación de los filtros de grava se basa en la retención mecánica de las partículas de la formación, lo único que se necesitaría es un espesor de filtro de solamente dos o tres tamaños de grano, para que el filtro retuviese y controlase la arena de la formación. Para asegurarse de que toda la envoltura de grava rodea a la rejilla, se necesita, por lo tanto, un espesor de unos 8 centímetros, que se considera práctico para su instalación en sitio.

En la mayoría de los casos el límite máximo para el espesor de un filtro debe ser de unos 20 centímetros. Una envoltura de mayor espesor no aumenta en grado apreciable el rendimiento del pozo, y el espesor, en sí mismo, no hace nada para reducir la posibilidad de invasión de arena, ya que el factor regulador es la relación entre el tamaño del grano del material del filtro y el del material de la formación. Si el espesor del filtro de grava es muy grande, el desarrollo final del pozo puede resultar sumamente difícil.

3.2.3. Protección sanitaria.

Con anterioridad hemos mencionado que las aguas del subsuelo generalmente son de buena calidad sanitaria y seguras para beber. Por lo tanto, el diseño de un pozo debe encaminarse a la extracción de la capa de alta calidad sin contaminarla ni volverla en modo alguno inapropiada para el consumo humano. Debido a que una perforación comunica en mayor o menor grado a los estratos del subsuelo, puede originarse una contaminación dentro del pozo. Por lo general, una contaminación

proviene del drenaje o de escurrimientos superficiales que afectan mayormente a los acuíferos someros. También puede demeritarse la calidad del agua subterránea al mezclarse con agua degradada por condiciones geológicas especiales provenientes de otros estratos del subsuelo. La penetración de una formación acuífera por un pozo abre dos conductos principales a la posible contaminación del agua subterránea. Estos son el extremo superior abierto del entubado y el espacio anular entre dicho entubado y el agujero. Precisamente el diseñador debe preocuparse de prevenir la contaminación a través de estos dos conductos.

Terminal superior.

EL entubado del pozo debe extenderse por lo menos, 30 cm (1 pie) sobre el nivel general de la superficie circundante. Debe estar rodeado, en la superficie del suelo, por una losa de concreto de 10 cm (4") de espesor que se extienda por lo menos 60 cm (2 pies) en todas direcciones. La superficie superior de esta losa y sus alrededores inmediatos deben inclinarse ligeramente para drenar el agua del pozo. También es aconsejable colocar un drenaje alrededor del borde exterior de la losa y extenderlo hasta un punto de descarga a cierta distancia del pozo. Debe proveerse un sello sanitario para el pozo, en la parte superior de éste, para evitar la entrada de agua contaminada u otro material inconveniente directamente dentro del pozo.

Terminal inferior del entubado.

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

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

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

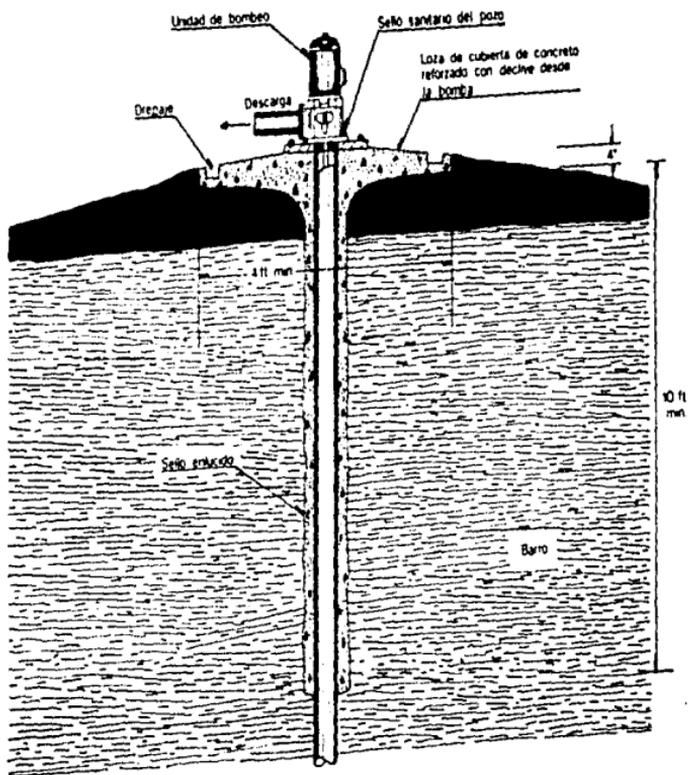


FIG. 3.15 Protección sanitaria de la terminal superior del pozo.

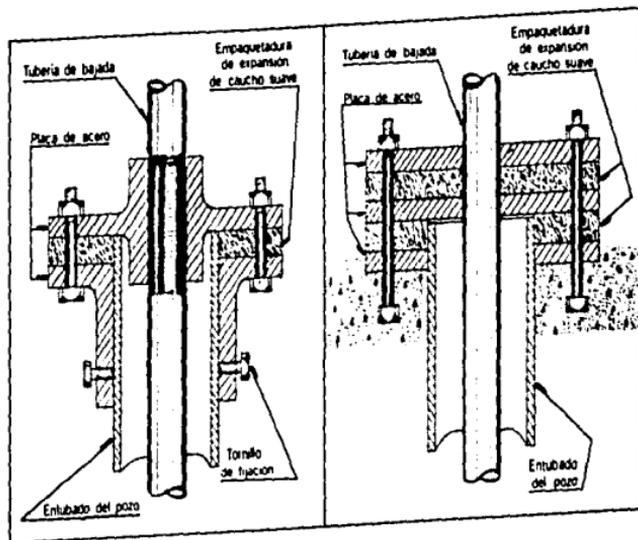


FIG. 3.16 Sellos de pozo sanitario.

Enlucido y sellado del pozo.

La primera de las situaciones obliga al proyectista a sellar los primeros metros del pozo, colocando tramos de tubería lisa de mayor diámetro llamado contra ademe y cementando la porción anular entre la perforación y el contra ademe. Su profundidad debe alcanzar hasta algún estrato impermeable del subsuelo que confine al acuífero, o hasta una profundidad segura por debajo del nivel de bombeo previsto. En acuíferos constituidos en rocas fracturadas o calcáreas, la protección sanitaria puede ser algo imposible de lograr debido a las altas permeabilidades; en estos casos lo mejor es tratar de evitar la contaminación misma.

El contra ademe también tiene otra función, sirve para apoyar el ademe definitivo del pozo, el cual nunca debe descansar en el fondo. La tubería de ademe resulta una columna con una relación de esbeltez muy precaria, flambándose con facilidad si se apoya en el fondo y perdiendo verticalidad; luego entonces, debe suspenderse del contra ademe en tanto se forma el filtro de arenas y gravas o el llamado estabilizador de la formación.

Cuando la contaminación proviene de estratos del subsuelo, también es conveniente sellar estos mantos, lo que requiere de técnicas especiales para sellar y cementar.

El tapón de fondo debe integrarse a la tubería del ademe, basta con soldar una pieza circular en el extremo de la tubería.

La cementación del contra ademe es el relleno, con lechada de cemento y quizás algo de arcillas, del espacio anular. Este espacio anular está en función de la profundidad de la cementación, pero generalmente basta una holgura de 7.5 cm (3").

La pasta apropiada debe guardar una relación de 22 a 27 litros de agua por cada bolsa de cemento de 50 kg. Se pueden agregar arcillas bentónicas en proporciones que van de 1.5 a 2.7 kg por bolsa de cemento, en cuyo caso deberán usarse unos 30 litros de agua para hacer la lechada.

La pasta debe colocarse en forma ininterrumpida, bien sea por gravedad usando tuberías de cementación, o por presión a través del contra ademe.

A N E X O A

AREAS DE ADMISION DE CEDAZOS DE RANURA HELICOIDAL JOHNSON UOP

Diámetro del Cedazo (pulg.)	Áreas de admisión (m ²) por metro lineal de cedazo						
	Ranura No. 10	Ranura No. 20	Ranura No. 40	Ranura No. 60	Ranura No. 80	Ranura No. 100	Ranura No. 150
3	0.0212	0.0402	0.0677	0.0859	0.0910	0.1164	0.1376
4	0.0296	0.0550	0.0931	0.1207	0.1228	0.1566	0.1863
5	0.0351	0.0698	0.1164	0.1524	0.1545	0.1990	0.2371
6	0.0444	0.0825	0.1376	0.1799	0.1842	0.2350	0.2794
8	0.0593	0.1080	0.1842	0.2392	0.2455	0.2773	0.3387
10	0.0762	0.1376	0.2328	0.3027	0.3112	0.3514	0.4297
12	0.0889	0.1650	0.2752	0.3597	0.3653	0.3910	0.4720
14 DE	0.0904	0.1503	0.2604	0.3450	0.3747	0.4191	0.5113
15 DE	0.0826	0.1607	0.2794	0.3704	0.4022	0.4593	0.5673
16 DE	0.0741	0.1461	0.2604	0.3472	0.3620	0.4191	0.5292
18 DE	0.0626	0.1651	0.2942	0.3937	0.4085	0.4742	0.5991
20 DE	0.0995	0.1863	0.3392	0.4424	0.4615	0.5334	0.6731
24 DE	0.0974	0.1842	0.3345	0.4593	0.5631	0.6199	0.8234
26 DE	0.1037	0.1926	0.3514	0.4605	0.5885	0.6795	0.8594
30 DE	0.1207	0.2286	0.4064	0.5673	0.6964	0.8023	1.0161
36 DE	0.1376	0.2625	0.4742	0.6499	0.7959	0.9137	1.1642

El costo de los Tubos Rejilla es más alto, pero en la mayoría de los casos, la diferencia en la longitud requerida en relación al antiguo tubo ranurado compensa esa diferencia inicial, y la sobrepasa con los resultados tan favorables al usarse los Tubos Rejilla FILMONT.

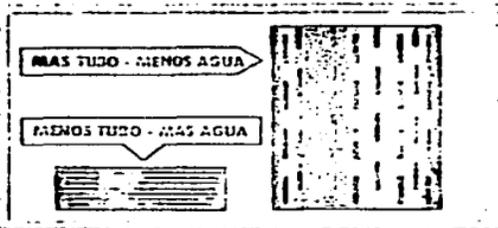


TABLA DE DIMENSIONES Y AREA ABIERTA

AREAS DE INFILTRACION POR METRO LINEAL DE LOS DIFERENTES TUBOS REJILLA FILMONT

Diámetro del Tubo	Espesor	Perforación 20		Perforación 30		Perforación 40		Perforación 50		Perforación 60		Perforación 80	
		Perfor. ²	Area ²										
1 1/2"	1/8"	60	140	60	137	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	1/4"	48	112	117	260	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	3/8"	36	84	75	165	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	1/2"	24	56	50	110	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	5/8"	12	28	25	55	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	3/4"	6	14	12	27	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	7/8"	3	7	6	13	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	1"	2	4	4	9	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	1 1/8"	1	2	2	4	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	1 1/4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	1 1/2"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	1 3/4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	2"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	2 1/4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	2 1/2"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	2 3/4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	3"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	3 1/4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	3 1/2"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	3 3/4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	4 1/4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	4 1/2"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	4 3/4"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260
1 1/2"	5"	1	2	1	2	137	300	137	260	137	260	137	260

USTED OBTIENE mayor seguridad en su inversión, mejores resultados y más eficiencia en general al utilizar los TUBOS REJILLA FILMONT.

Con todo gusto le daremos toda la información adicional que requiera al planear su perforación.

Escriba, hablemos o visite a nuestro Distribuidor.

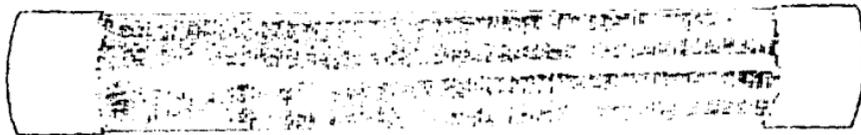
CIA. DE FILTROS PARA POZOS MONTENREY, S.A.

AV. 74-53-06 y 74-53-07 TEL. 472-4178

DISTRIBUIDORES EN EL MEXICO

CAMBIO DE DOMICILIO
 ANTIQUA CARRETERA A COMA SM 65
 MONTENREY, S. A. APARTADO POSTAL 4278
 TELEFONOS 52-61 06 Y 52 67-52

DISTRIBUIDOR:



EN MAYOR AREA DE TUBO
MENOR AREA DE INFILTRACION



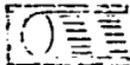
EN MENOR AREA DE TUBO
MAYOR AREA DE INFILTRACION



TIPO DE CEDAZO	Segun ranuras o abertura			254	226	203	181	169	156
				ABERTURA en mm.					
Segun	DIAMETRO en mm			05	10	15	20	25	30
Alambres	NOMINAL	EXTERIOR	INTERIOR	AREA DE INFILTRACION POR ml EN cm ² (ARRIBA)					
PESO DEL CEDAZO EN kg POR ml (ABAJO)									
F-35	203	219	197	434 187	1487 16.9	2065 15.8	2427 14.9	2778 14.3	3075 13.7
F-4A	254	273	251	1054 22.3	1870 20.7	2521 19.4	3051 18.3	3493 17.5	3866 16.8
F-52	305	324	302	1257 25.5	2230 23.7	3007 22.2	3639 20.9	4166 25.1	4610 20.0
F-56	356	356	334	1384 29.3	2455 27.2	3310 25.3	4006 24.1	4586 23.0	5076 22.1
F-66	406	406	384	1587 33.4	2815 31.0	3796 29.0	4594 27.6	5259 26.1	5820 25.3
F-7C	457	437	435	1790 38.5	3176 35.8	4282 33.6	5187 31.8	5932 30.3	6585 29.4

TUBACERO, S.A.

TUBERIA RANURADA
PARA ADENE



TUBERA PARA SERIE CANCHA MAGNADA LONGITUDINALMENTE TIPO III

DIAMETRO POR DENTRO	ESPESOR	PESO						VOLUMEN				AREA DE CONTACTO ALMO SEGUN AMPLIACION DE 250mm				
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
168 8 5/8	4.78	188	12.57	12.70	12.80	12.90	13.00	13.17	4.87	17.73			7.3	155	2.7	250
		250	15.55	14.63	16.31	24.48	6.26	21.19								
		270	18.45	27.15	13.31	27.21	18.12	26.92								
210 8 5/8	4.78	198	16.43	26.45	16.33	21.32	16.17	23.00	11.03	51.43	4.8	207	11.8	270	15.3	312
		250	21.05	32.24	21.50	31.07	21.22	31.000								
		270	23.96	35.65	23.80	35.12	23.10	31.8								
273 10 3/4	4.78	198	20.00	30.66	20.12	30.17	20.22	31.0	11.11	61.71	11.8	249	14.1	309	18.8	398
		250	27.24	40.53	29.07	40.28	26.71	35.24								
		270	30.30	44.08	31.10	44.50	29.22	41.20								
324 12 3/4	4.78	188	24.51	36.11	24.17	36.21	24.00	27.13	11.63	48.00	12.7	290	16.1	380	22.0	492
		250	32.44	48.28	37.04	47.07	31.56	47.13								
		270	36.37	54.12	33.39	53.47	32.71	53.14								
350 14	4.78	188	26.87	39.08	26.68	39.71	26.33	39.19	12.16	58.28	16.7	323	23.0	422	26.6	564
		250	35.57	52.01	35.67	53.09	34.95	51.82								
		270	44.18	65.75	43.83	65.30	43.81	64.44								
400 16	4.78	188	30.79	45.82	30.59	45.52	30.19	44.93	12.85	65.11	16.6	351	27.3	472	32.8	630
		250	40.77	60.67	40.50	60.27	39.90	59.49								
		270	50.68	75.42	50.34	74.91	49.00	73.34								
457 18	4.78	188	34.69	51.63	34.11	51.10	34.00	50.05	14.05	72.00	20.4	400	28.7	521	37.0	612
		250	45.08	68.43	44.00	67.20	43.19	67.12								
		270	57.18	85.09	55.80	84.53	54.00	82.46								
508 20	5.58	219	44.88	66.76	44.45	66.21	43.00	65.45	25.00	82.25	23.5	470	36.2	599	47.6	700
		250	51.12	78.07	50.77	75.56	50.12	74.52								
		270	63.58	94.62	63.16	93.90	62.32	92.26								

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura: Longitud 6 metros, área: Para las tuberías con cualquier tipo de conexión
 ranura 15 cms. arriba (15' Pulg.) 263 cms. arriba

FUERZA PARA ABRIR ZANCA HORIZONAL LONGITUDINALMENTE TIPO IV

DIAMETRO mm. pulg.	ESPESOR mm. pulg.	TIPO						DE ZANCA						GRABADO EN TABLERA DE GRABACION DE SURA						
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
219 8 5/8	4 78 188	16 12	20 79	15 55	23 74	15 71	29 11	25 09	81,79	15,2	23 1	18,9	400	25 1	531					
	6 35 250	21 27	21 66	21 04	11 37	11 61	30 62													
	7 94 277	23 19	14 96	23 28	11 59	21 76	31 76													
273 10 3/4	4 78 188	20 19	30 34	16 96	29 21	19 50	31 1	31 25	102,81	19,6	415	23 6	490	31 1	561					
	6 35 250	26 69	31 71	26 41	19 29	21 95	31 1													
	7 94 277	29 08	41 11	29 30	41 09	29 42	31 29													
329 12 1/4	4 78 188	24 08	35 79	21 80	35 42	22 11	31 1	24 04	78,86	22 5	477	27 1	574	36 0	703					
	6 35 250	31 57	47 30	24 83	40 96	30 10	35 92													
	7 94 277	35 67	53 29	30 30	52 12	34 58	41 16													
396 14	4 78 188	26 35	39 21	26 05	41 78	27 1	31 9	28 22	92 57	26 5	500	31 8	674	42 3	829					
	6 35 250	34 88	51 49	31 19	51 31	37 25	41 22													
	7 94 312	40 32	64 47	42 86	69 15	41 91	62 27													
465 18	4 78 188	30 10	44 04	29 47	41 79	29 19	43 44	32 39	109 20	30 1	514	36 6	734	48 61	1029					
	6 35 250	39 64	59 51	40 11	51 28	37 11	49 53													
	7 94 312	44 64	73 27	49 09	70 05	48 03	71 42													
492 19	4 78 188	31 20	46 34	31 11	43 13	31 11	45 11	34 58	120 41	31 3	526	41 3	771	54 86	1161					
	6 35 250	41 01	57 08	41 11	48 21	41 59	51 61													
	7 94 312	47 01	71 23	51 13	62 26	54 14	80 12													
508 20	4 78 188	31 9	47 10	31 10	45 9	31 9	47 9	40 75	123 11	38 2	531	40 0	774	61 1	1294					
	6 35 250	41 08	54 12	40 12	51 20	40 45	52 10													
	7 94 312	47 29	62 49	51 10	61 69	50 26	81 57													

Distancia de la boca del tubo a la primera zanca = 10 pies apesca = 1611 Pies. apesca =
 Longitud = 6 metros apesca = 120 pies apesca =
 Para detalles, ver el dibujo de construcción en el tratamiento de cuentas.

TUBERIA CORR. ABMS CAMBADA TIPO COLINA VI

DIAMETRO		ESPESOR		PESO		No DE RANURAS POR		AREA DE PROTECCION SEGUN ANCHO DE RANURA								
mm	IPS	mm	IPS	Super	Interior	mm	mm	mm	2 1/2"	mm	4 7/8"	mm	6 3/8"	mm		
								mm		mm		mm		mm		
219	8 5/8	4.78	128	16.84	25.23	29.26	96	3.5	74	5.8	122	8.6	141			
		6.35	250	22.38	33.31											
		7.94	277	24.70	36.79											
273	10 3/4	4.78	168	21.21	31.58	19.51	64	3.60	76	5.9	125	9.3	137			
		6.35	250	28.04	41.77											
		7.94	279	31.20	46.47											
324	12 3/4	4.78	184	25.22	37.57	40.75	133.71	10.8	229	17.1	361	24.0	370			
		6.35	250	33.38	49.77											
		7.94	281	37.47	55.74											
368	14	4.78	189	27.73	41.30	30.31	99.42	12.4	262	18.6	372	25.11	381			
		6.35	250	36.71	54.68											
		7.94	312	45.61	67.94											
408	16	4.78	194	31.75	47.29	38.87	126.86	14.7	311	22.8	423	31.6	447			
		6.35	250	42.05	62.63											
		7.94	312	52.27	77.88											
457	18	4.78	188	35.76	53.26	40.75	133.71	14.5	307	22.7	440	31.6	449			
		6.35	250	47.39	70.50											
		7.94	312	58.04	87.79											
508	20	5.56	219	40.31	68.97	44.94	147.43	15.7	333	24.9	527	34.4	520			
		6.35	250	52.73	78.54											
		7.94	312	65.60	97.71											

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura: 15 cms. aprox. (6" máx.)

longitud: 6 metros aprox. (20 pies aprox.)

Para longitudes especiales favor de consultar con el departamento de ventas.

CAPITULO IV

**4. CONSTRUCCION Y
EQUIPAMIENTO DE
POZOS PROFUNDOS**

CAPITULO IV : CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE POZOS PROFUNDOS.

Las condiciones geológicas siempre nos impondrán dos tipos de construcciones. Un pozo que penetre hasta un acuífero constituido por roca consolidada consiste básicamente de una porción adomada, que usualmente se extiende a través de los materiales sueltos sobreyacentes, y de un agujero abierto en la roca inferior. Un pozo que intercepte un acuífero de arena debe necesariamente dotarse de un ademe en el intervalo correspondiente a los materiales sueltos y de una rejilla en el tramo correspondiente al acuífero.

Es conveniente concebir la construcción de un pozo en términos de cuatro diferentes etapas. Estas incluyen la perforación; la instalación del ademe y de la rejilla; el sellado, cuando éste último se necesite para protección sanitaria, y el desarrollo, para obtener un funcionamiento libre de arena a un rendimiento máximo. Cuando se impone el uso de un filtro artificial de grava, su colocación se considera parte de la instalación de la rejilla.

Dos o más de estas etapas pueden realizarse simultáneamente, dependiendo del método de perforación que se emplee. Cuando se perfora por el método de percusión, en formaciones no consolidadas por ejemplo, el ademe se va instalando conforme prosigue la perforación. Cuando se está hincando una puntera, la apertura del agujero, la instalación del ademe y la colocación de la rejilla se realizan al mismo tiempo.

4.1. METODOS DE PERFORACION.

El término métodos de perforación de pozos es muy amplio, ya que incluye todos los métodos encaminados a practicar agujeros en el suelo con el propósito de construir un pozo. Dentro de estos se incluyen algunos tales como el de barrenar e impulsar, los cuales no son métodos de perforación de pozos en sentido puro.

Los métodos de perforación de pozos para extracción de aguas subterráneas -objetivo que perseguimos con éste trabajo-, más usados en la práctica ingenieril son el de PERCUSION o pulseta y el ROTATORIO. Además, son los procedimientos más económicos tomando en cuenta los grandes diámetros de perforación que se requieren.

Para cada caso o clase de formación, alguno de los dos métodos de perforación será el más adecuado, no sólo desde el punto de vista constructivo y de la economía en la inversión inicial, sino que además se deberán tener en cuenta muchas otras consideraciones, como son: la técnica de los trabajos y su garantía de obtener los resultados óptimos; rapidez de las maniobras en beneficio de los buenos resultados en los trabajos; frutos que rinde cada tipo de perforación; y, por último, la economía que se obtendrá durante la operación del pozo una vez terminado.

4.1.1. Método de percusión o pulseta.

La costumbre ha designado como máquinas de percusión a las perforadoras, también llamadas pulsetas, las cuales realizan la perforación del pozo mediante barretones o brocas y otras herramientas auxiliares accionadas desde la perforadora por medio de un cable de acero, cuyo movimiento recíprocante, ascendente-descendente, lo sigue a pulso el operador, a efecto de sensibilizar las vibraciones del cable y saber que ocurre en el fondo del pozo, de ahí el nombre de pulseta.

En otras palabras, el método utiliza el principio de la caída libre de una broca o barrenos pesados aplicando golpes contra el fondo de un agujero y penetrando, de esta manera, en el suelo. El barrenos fractura o desmorona la roca dura y la convierte en pequeños fragmentos. Cuando se está perforando en materiales suaves y no consolidados, el barrenos afloja el material. En ambos casos la acción de vaivén de las herramientas entremezcla con agua las partículas fracturadas y desprendidas, formando así un lodo. El agua necesaria para formar éste es arrastrada al agujero cuando no se encuentra presente en la formación que se está penetrando.

El lodo resultante debe ser retirado del agujero de tiempo en tiempo mediante una bomba de arena o de una cuchara. Cuando se acumula mucha columna de lodo, ésta amortigua la caída de las herramientas y retarda la velocidad de penetración. Tal circunstancia es la que determina con cuánta frecuencia deberá extraerse el lodo.

Estas perforadoras, de uso universal y soberanas de ámbitos apartados, fueron las pioneras de la perforación. Hoy en día, ni las más perfeccionadas de otros tipos las han hecho obsoletas, pero sí desplazado a regiones aisladas y difíciles, por lo que siguen siendo la vanguardia de esta industria.

Sus precios de adquisición son muy inferiores, construidas con extraordinaria robustez, económicas en su operación y mantenimiento, pero generan rendimientos muy bajos.

Componentes básicos.

Los elementos fundamentales que intervienen en la perforación por este método, son los siguientes:

- a) La columna o sarta de perforación, (que incluye broca, barrena y percusor).
- b) El cable (que imprime a la columna de perforación el movimiento de vaivén dado por el balancín de la máquina de perforación).
- c) La máquina de perforación o fuente motriz (que proporciona al cable, con un balancín, el movimiento).

Todos estos elementos están montados en un bastidor que lleva una grúa o mástil de peso adecuado para el uso de una línea de herramientas de perforación. La fig. 4.1 muestra un prototipo de una máquina a percusión o pulsata.

Una sarta completa de herramientas de perforación se halla constituida por cuatro elementos. Estos son: el barreno o punta de la broca, la barra de peso de la broca, las tijeras o percusores de perforación y el encastre o portacable giratorio. El barreno en forma de cincel, se usa para aflojar los materiales de roca no consolidada y, al oscilar, los mezcla con un lodo que se extrae posteriormente por medio de achicadores. Cuando se perfora en formaciones secas, debe agregarse agua para formar el lodo. El paso del agua sobre la broca permite el movimiento del lodo relativo a ella y, por lo tanto, facilita el movimiento oscilante de caída libre de la broca. El vastago o barra, situado inmediatamente sobre la punta, imprime un peso adicional al barreno, agrega longitud a la línea de herramientas y ayuda a mantener un agujero recto cuando se perfora en roca dura.

Los percusores o tijeras son un par de barras de acero, unidas que pueden moverse entre sí en una dirección vertical. Cuando se está perforando en aquellos materiales en los que el barreno está propenso a quedar aprisionado, se utilizan las tijeras para aflojar las herramientas. Esta es la única función que desempeñan.

Cuando ha quedado trabado, el barreno puede liberarse fácilmente mediante un golpeteo de las tijeras dirigido hacia arriba, en tanto que si se aplicara una tensión sostenida, ello haría que el cable fallara o se rompiera. La carrera o desplazamiento de las tijeras es de 6 a 9 pulgadas (15 a 23 cm).

El encastre o portacable giratorio establece la conexión de las herramientas con el cable. Está construido de tal manera que proporciona una ligera rotación en el sentido de las manecillas del reloj a las herramientas de perforación en relación con el cable. Esta rotación de las herramientas asegura la perforación de un agujero redondo. Otra función del encastre de la cuerda es proporcionar, con su

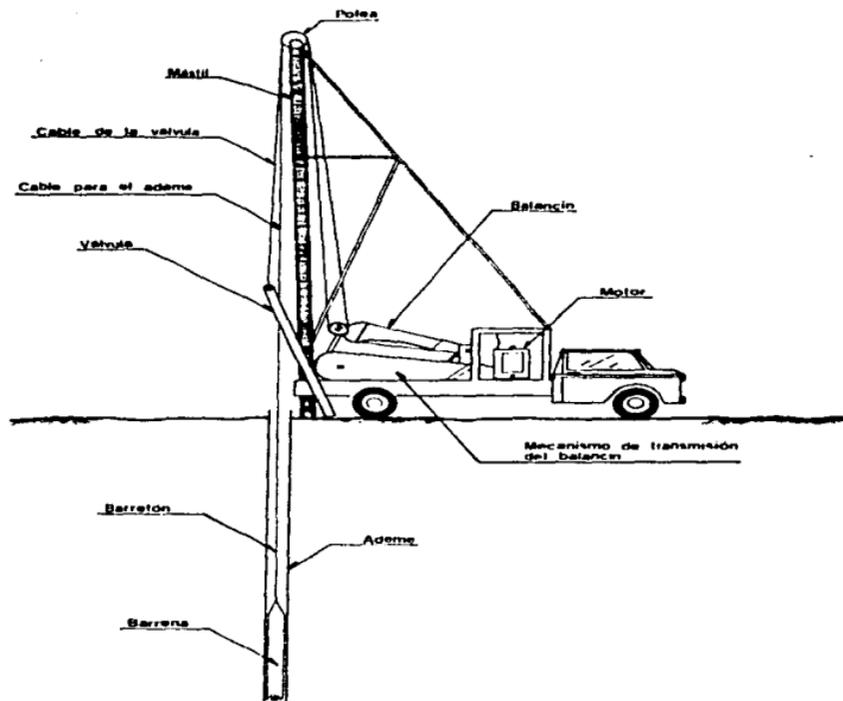


FIG. 4.1 Esquema del equipo de perforación por percusión.

peso, parte de la energía de los golpes ascendentes de los percutores.

Los elementos de la carta de herramientas se acoplan entre sí mediante extremos roscados con diseños y dimensiones normales del American Petroleum Institute (API).

El diámetro del cable de alambre que soporta las herramientas de perforar, también llamado línea de perforar, varía entre 5/8 y 1 pulgada y su torcido es en sentido izquierdo. Se hace pasar sobre una polea de coronamiento que se halla situada en la cumbre del mástil o torre, de donde desciende hacia el cabrestante llegando al tambor principal de arrollado.

La cuchara está formada por un tramo de tubo con una válvula (del tipo plano o del tipo de dardo) de retención en el fondo. El asa del extremo superior de esta herramienta provee el medio para suspenderla de un cable que corrientemente se denomina línea de arena.

La bomba de arena es una cuchara dotada de un émbolo, el cual, al desplazarse hacia arriba, produce un vacío que abre la válvula y succiona la arena o el lodo que contiene los fragmentos, haciéndolos penetrar al tubo. El fondo de la bomba de arena consiste siempre en una válvula de diseño plano.

A grandes rasgos podemos mencionar que la broca en conjunto tiene cuatro funciones importantes que realizar: penetración, fracturamiento, rimado y mezclado; razón por la cual, las características de la formación geológica a perforar nos determinarán el tipo del filo de la punta que se va a utilizar, de tal manera que se logre conjugar el mayor rendimiento y una considerable disminución en los tiempos requeridos para revestir la broca antes de proseguir su trabajo.

Por ejemplo, cuando se perforan calizas, la función más importante es la penetración. Y en el caso de que presente un alto contenido de sílice se considerará, también, la función de rimado.

Una caliza dura y compacta cuyos estratos no están inclinados, puede ser perforada con una broca con un agudo ángulo de penetración (fig. 4.4), el perfil del filo puede ser ligeramente concavo; y si la formación no es abrasiva se utiliza un ángulo amplio de limpieza.

Si la caliza se encuentra fracturada, el ángulo de penetración debe ser incrementado haciendo la broca menos filosa, lo que hará que las áreas de rimado y los filos corten el plano inclinado del estrato y pueda proseguirse el agujero sin desviación. Si se desgasta rápidamente el calibre de la broca, es necesario reducir el ángulo de limpieza haciendo que la superficie de desgaste se incremente para recalibrar el agujero.

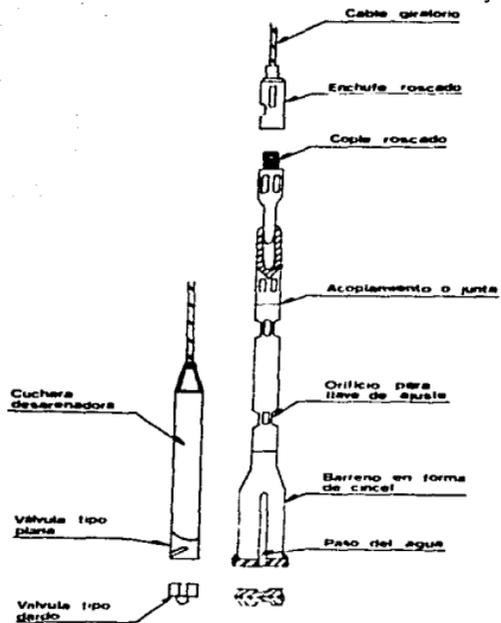


FIG. 4.2 Sarta de perforación utilizada en el método a percusión.

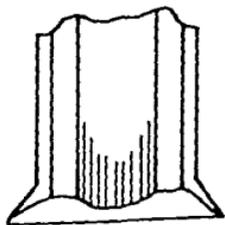


FIG. 4.3

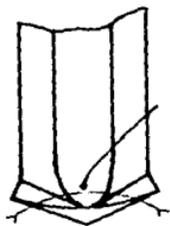


FIG. 4.4

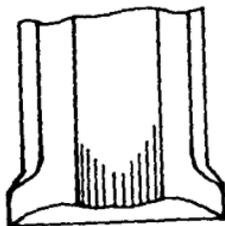


FIG. 4.5

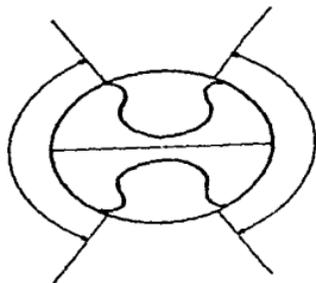


FIG. 4.6

FILOS DE BARRENAS

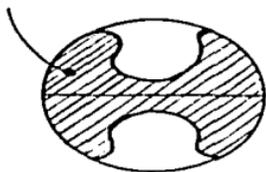


FIG. 4.7

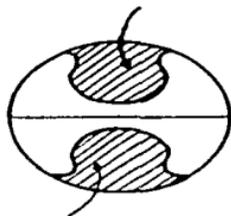


FIG. 4.8

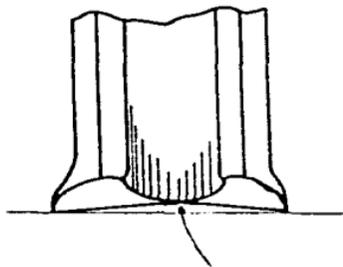


FIG. 4.9

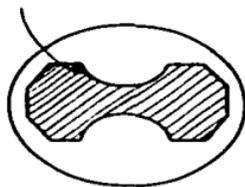


FIG. 4.10

FILOS DE BARRENAS

Cuando se atraviesan calizas suaves, se debe dar mayor atención a la función de fracturamiento y en caso de ser arcillosa, se debe tener cuidado con el mezclado. Una caliza suave, horizontal con fisuras y variación en su dureza, debe ser atacada con una broca que presente la mayor superficie de rimado y un ángulo de limpieza amplio (figs. 4.4, 4.6 y 4.7).

El ángulo de penetración debe ser plano pero la forma del filo debe ser cóncava ($\pm 6\%$).

Cuando la roca está fracturada, con estratos inclinados, se requiere que la broca presente un amplio ángulo de penetración (fig. 4.4), lo que le dará robustez al filo para resistir el impacto de las pesadas herramientas en la roca. Los filos de rimado deben de tenerse siempre calibrados y cuando mucho media pulgada menores que el filo de penetración; el contorno del filo debe ser ligeramente cóncavo. Lo más importante en este caso, es la superficie de desgaste que debe ser prácticamente vertical y la sección transversal del cuerpo de la broca, lo más larga y grande posible, para guiar las herramientas y prevenir cualquier desviación.

Cuando se perforan formaciones suaves, se debe dar especial atención a la función de mezclado, siendo necesario en muchos casos retardar la función de penetración, de tal forma que se aseguren los mejores resultados de la mezcla. Este tipo de formaciones, requieren de una broca totalmente diferente para realizar la función de mezclado; no es necesario que presente ángulo de penetración, se debe utilizar el mayor ángulo de limpieza (fig. 4.4) y la sección o medida de la broca debe ser pequeña; una gran área de trituración debe ser utilizada con el propósito de impedir que la herramienta se clave o se ataque.

El proceso de perforación.

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

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

Al iniciar sobre roca, la broca se coloca 2 pulgadas arriba del pozo, acelerando a media velocidad y conectando gradualmente el embrague hasta que la herramienta comience a levantarse y bajar por la acción del caballete, la velocidad se incrementa conforme las herramientas toman un movimiento uniforme y se va soltando la tensión hasta que el peso de las herramientas hace que el resorte del amortiguador de disco ubicado en la corona del mástil alcance a cerrarse, en estas condiciones, se prosigue soltando la barra conforme se va perforando y penetrando la formación.

El inicio del pozo se facilita cuando se excava un agujero de un metro de profundidad bajo la herramienta, para que sirva de guía.

Conforme se está perforando, en el fondo de la excavación se agrega un poco de agua hasta que se ha perforado entre 1 y 1.5 metros, donde se procede a extraer la broca, y limpiar los cortes hasta el fondo alcanzado.

Si el material no está mezclado con el agua formando una pasta ligera y por el contrario se tiene en el fondo un lodo muy espeso cuando se atraviesan materiales suaves, es una indicación de que se ha trabajado con la línea de perforación muy suelta, en cuyo caso agregando un poco de agua y con la broca colocada un poco arriba del fondo, se apita hasta que se logra una mezcla ligera, después de lo cual se agrega un poco más de agua antes de proseguir con la perforación. En caso de estar suave el material, si se trata de perforar con un lodo espeso en el fondo, las herramientas no girarán libremente y se podrá tener una pequeña desviación y el agujero no quedará debidamente calibrado y es posible hasta atascar las herramientas.

Al iniciar el agujero, la máquina no se trabaja a alta velocidad, se debe iniciar lentamente observando los extremos de la herramienta hasta que se alcance de 1 a 1.5 metros. Cuando el juego de caballete ya no saque las herramientas fuera del pozo, es posible incrementar la velocidad de la máquina.

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

Excepto al inicio del pozo, siempre deberá perforarse con el mayor número de golpes posibles a los que la herramienta trabaje libremente. Es un hecho que al reducir 1 a 2 golpes por minuto, puede reducirse el rendimiento entre un 10 a un 25 por ciento.

Para escoger la velocidad correcta de perforación el operador tiene un indicador de la velocidad que permite alcanzar la mayor eficiencia. Este indicador es la polea al final del balancín que imparte el movimiento a las herramientas de perforación. Cuando se inicia la perforación la polea permanece en una sola posición hasta que la velocidad se incrementa para sincronizarse con la caída de las herramientas, cuando el balancín está moviéndose con la suficiente velocidad para exceder un peso la fuerza de caída de las herramientas la polea empezará a deslizarse o a girar ligeramente en cada golpe de las herramientas. Este giro es notable si se observa la orilla de la polea donde puede verse el movimiento hacia adelante cada vez que el balancín da una embolada. Cuando se están perforando formaciones suaves, con la línea tensada, la rotación de la polea durante cada giro puede ser aproximadamente una pulgada y en su borde siempre existirá un pequeño giro o deslizamiento entre ella y el cable.

Cuando el agujero es seco y sin agua se podrá alcanzar mayor velocidad y número de golpes en el fondo, pero conforme la velocidad se incrementa y el agujero empieza a llenarse de agua, la velocidad más eficiente será menor. Por ejemplo, se puede empezar a 56 golpes por minuto sobre el nivel freático y llegar a 46 golpes por minuto o tal vez menos al profundizar bajo el agua. Sin embargo, siempre se observará en la polea el mismo giro cuando el caballero logra que la herramienta tenga una caída libre y sea recibida durante el rebote.

No se debe incrementar la velocidad de perforación más allá del punto donde la polea del caballero empieza a deslizarse (más de 2 cm). Hacerlo causa un desgaste excesivo del equipo de perforación y del cable, además de que se perderá la coordinación de recoger la herramienta al rebote, lo que producirá golpeteo y reducción de la eficiencia.

Generalmente, las pulsetas tienen un control automático que permite soltar cable conforme se va profundizando el pozo. Este control puede ser ajustado para tener una operación automática y obtener así el mayor rendimiento posible.

Cuando se trabaje continuamente con el cable tensionado el agujero será más redondo, estará más derecho y libre de protuberancias en las paredes, pero el rendimiento será mucho menor y el desgaste y uso de la máquina será más grande, debido a que una gran parte del esfuerzo de caída de las herramientas es sostenido por la máquina. Conforme cambian las condiciones del pozo, el operador debe observar el control automático y ajustar, aflojando la tensión hasta que el cable suelte y en esa posición ajustar un punto de la palanca de tensión con lo que probablemente se tendrán condiciones adecuadas. Cuando se trabaja en roca, es

necesario el ajuste con el vernier del tambor del freno.

Una vez trabajando libre y sin desvíos en el agujero, se debe buscar que la distancia del golpe que se dá con la herramienta, sea el más satisfactorio, dependiendo de la formación, así como el número de golpes por minuto que se estén aplicando.

La altura o peso del golpe es posible ajustarla en el caballete que cuenta con cuatro posiciones donde puede ser colocado el trazo de unión al excéntrico. Para lo anterior se puede usar la siguiente recomendación como una guía, pero sin olvidar que en cada caso la experiencia y observación del resultado obtenido en cada formación dará la combinación más adecuada.

PULSATEO GOLPES POR MINUTO	ALTURA DE CAÍDA O PESO DEL GOLPE, (cm.)
de 57 a 65	45.7
de 50 a 57	65.9
de 43 a 50	81.3
de 35 a 43	101.6

TABLA 4.1 Altura de caída recomendable para un pulsateo óptimo.

Entre más dura sea la formación, más corto deberá ser el golpe y viceversa pero en todos los casos el mejor resultado se obtendrá cuando la velocidad y la tensión del cable se coordinan perfectamente con la caída de la herramienta por gravedad, logrando así el más rápido golpe en el fondo del agujero y el regreso rápido de la herramienta para el próximo golpe.

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

No se debe suspender el pulsateo, sino hasta que se vaya a cucharear, cinco minutos antes de suspender el movimiento de perforación, se arroja un poco de agua (16 lts. aprox.) para adelantar la mezcla, de tal forma que la cuchara al cubetear, alcance a penetrar hasta el fondo y regrese totalmente llena, si no se hace lo anterior, probablemente se duplicará el tiempo de cuchareo.

La cantidad de agua que se agrega al pozo, y el periodo de tiempo para agregar más agua, tiene un gran efecto en el rendimiento. Demasiada agua tiende a arrastrar todo el material pesado hacia el fondo y la broca tendrá que remolerlo antes de

proseguir cortando nuevamente el fondo del pozo. La falta de suficiente agua dentro del agujero causa una consistencia muy espesa de todo que disminuye la velocidad de caída de las herramientas y retrasa la perforación. La observación cuidadosa del movimiento del cable mostrará cualquier retraso en la caída de la herramienta, en cuyo caso será oportuno agregar una pequeña cantidad de agua.

Después de cucharar y dejar limpio el pozo, generalmente queda de 30 a 50 cm. de mezcla, por lo que se deberá agregar medio bote de agua, cuidando de arrojarla hacia el centro del agujero con el fin de que no arrastre material suelto y pesado hacia el fondo, así mismo es necesario agregar pequeñas cantidades de agua cuando el todo se espesa y cuando se incrementa la profundidad.

El control del agua depende enteramente del operador y del interés en mantener una operación eficiente; un poco de atención que se tenga en el control del agua producirá más perforación con menos esfuerzo.

Cuando se perfora en formaciones muy fracturadas o que presentan buzamiento se tiende a seguir la parte más profunda del estrato y sobre todo cuando se pasa de un material suave a un material duro, lo que produce desviaciones en el agujero, lo cual se nota porque el cable comienza a golpetear. En algunos casos la desviación es pequeña y no se alcanza a sentir, pero la herramienta mostrará dificultad para girar y cuando es extraída para cucharar, se verá el desvío tenido en un solo lado del cuerpo, lo que indica la desviación al operador.

La causa más frecuente que produce agujeros desviados es la perforación con poca tensión. Cuando se están perforando formaciones difíciles, el tener tensionado el cable permitirá atravesarla sin mucha dificultad. A la más ligera indicación de falta de giro de la herramienta o de desviación se debe detener la perforación y proceder a corregir el agujero.

Algunas desviaciones o salientes pueden ser corregidas con una buena rima, en caso de no contar con rima, se deben hacer los cambios necesarios en la broca para que realice esta función. Cuando se está rimando, lo más importante es impedir la penetración rápida, lo que se logra llenando el agujero hasta el punto donde se detecta la desviación, esto se puede hacer con roca dura o un tapón de madera o un desviador metálico, cambiar el ángulo de penetración de la broca haciéndolo más plano puede retrasar demasiado el trabajo.

Cuando el agujero empieza a desviarse desde el principio, el acañamiento en la superficie de la tubería permite corregir la desviación.

Es conveniente revisar la sección de rimado de la broca cada vez que sea necesario, manteniendo sus partes en buenas condiciones. Es necesario recordar que

si un lado del cuerpo o una esquina de la broca se desgasta rápidamente, es una indicación de que la herramienta no está girando. Es necesario mantener todo el tiempo bien calibrada la broca con el fin de que el pozo tenga un diámetro uniforme.

Cuando las herramientas se atascan dentro del pozo, el primer paso que se debe realizar es colocar una marca en la línea de perforación, en tal forma que se pueda determinar si las herramientas se han movido. La marca debe ser delgada y puede hacerse con un lápiz sobre una cinta atada al cable, de tal forma que podamos conocer cuando se empieza a mover como resultado de un tirón o del golpeteo con la tijera. Cuando no se lleva el control con una marca, se puede llegar a abandonar un trabajo justamente cuando se empieza a mover la herramienta y a trabajar con éxito.

Para tratar de aflojar la herramienta atrapada, se usa la tijera de la sarta para dar golpes hacia arriba, pero también es posible utilizar un golpeador que se desliza sobre la línea de perforación, en cuyo caso hay que mantener tensionado el cable, ya que en caso de estar suelto, puede ser cortado por el golpeador.

Se puede presentar otro problema, como es el de la rotura del cable cuando se está trabajando, en este caso también es conveniente hacer las mediciones precisas de tal forma que podamos conocer las condiciones y profundidad donde está la herramienta dentro del pozo, para lo cual se deben conocer las medidas exactas de las herramientas conforme se van conectando a la sarta tomando nota del diámetro y longitud del soquet, diámetro y longitud del cuello del soquet, longitud y carrera de las tijeras, longitud y medidas del barretón y broca, así como los tipos de uniones que tiene cada herramienta.

Cuando se quedan las herramientas atrapadas dentro del pozo, una vez realizada la limpieza de cortes y otros obstáculos sobre la parte superior hasta el hombro de la broca y considerando que ya están libres para ser extraídas, pueden utilizarse soquets con cuñas de la medida adecuada para pescar en la parte superior de la herramienta. Generalmente la mejor forma de soltar las herramientas atrapadas por los caldos es mediante el uso del golpeador bajándolo hasta la parte superior del soquet y levantarlo para dejarlo caer entre 4 y 5 metros. Tan pronto como las herramientas comienzan a moverse, se deberá tener cuidado de continuar con el cable tensado todo el tiempo, sin aflojar.

Por último, el uso de las tijeras es útil cuando se perfora en roca, gravas o formaciones muy plásticas, ya que con las herramientas conectadas, fácilmente se pueden dar pequeños golpes sobre la herramienta que permiten soltar la broca cuando ésta se empieza a atascar o atorar en las diferentes formaciones sin tener que recurrir al uso del golpeador.

Ventajas y desventajas de este método.

La perforación por percusión tiene grandes ventajas al perforar en formaciones rocosas consolidadas puesto que puede prescindirse parcial o totalmente del ademe, también puede usarse en formaciones granulares o poco consolidadas pero, en este caso, el ademe deberá colocarse conforme se avanza en la perforación.

Algunas ventajas de este método son:

- a) El equipo de perforación es fácilmente transportable.
- b) Menor costo en la inversión inicial correspondiente al trabajo de perforación (costo de operación y energía consumida).
- c) Menores cuidados en la ejecución de los trabajos, así como equipo más fácil de ser operado por personal menos experimentado.
- d) Requiere poca agua.
- e) Es bastante efectivo en formaciones duras.
- f) Permite tener una idea bastante precisa de las formaciones que se van perforando.
- g) Se alteran poco la porosidad y permeabilidad de las formaciones que se van perforando.

Entre las desventajas se mencionan:

- 1.- Trabajos ejecutados muy lentamente.
- 2.- Baja velocidad de perforación en acirreos o formaciones no consolidadas.
- 3.- Se obtiene un muestreo litológico muy alterado y poco representativo de las formaciones cruzadas, lo cual fácilmente conduce a errores de apreciación.
- 4.- La falta de rigidez en la sarta de perforación dificulta el control de la verticalidad del pozo.
- 5.- Debido a la elasticidad del cable, el efecto cortante de las barrenas disminuye con la profundidad.
- 6.- Muy difícilmente se podrá proyectar una tubería de ademe que, combinada con un cedazo, cuyas ubicaciones en el pozo resulten óptimas, permitan aprovechar al máximo la potencialidad de los acuíferos perforados.
- 7.- Peligro de pérdida del ademe por inestabilidad en el material de las paredes del pozo.
- 8.- Generalmente en los acuíferos con altos contenidos de materiales de grano fino, es necesario conducir las operaciones de perforación y entubado del pozo simultáneamente, hincando los ademes para evitar los caídos y derrumbes de las paredes de la perforación; esta técnica obliga a realizar la ranuración de la

tubería una vez ya instalada en el pozo, empleando para ello cuchillas; operación que depende en gran medida de la habilidad del operador. En tanto mayor sea la finura en la granulometría de las formaciones perforadas, mayores serán las probabilidades de fracaso por errores de perforación.

9.- En aquellas formaciones que requieren un filtro de grava para controlar el arrastre de sólidos durante el bombeo, cuando se hinca la tubería es imposible colocar un filtro artificial, y la formación de un filtro natural por acomodamiento de fragmentos gruesos de las formaciones en torno a la tubería de cedazo, se realiza en forma eventual y está sujeta a los errores en que se haya incurrido en la colocación de las tuberías, por defectuosa apreciación de los cortes litológicos y las profundidades que les corresponden en la columna respectiva.

10.- Dificultad en la variación de diámetros de perforación.

11.- Es necesario suspender la perforación cada vez que se desea remover el material fragmentado.

Rendimiento con máquinas de percusión.

Sus rendimientos son notoriamente erráticos, tanto porque se abusa de ellas en lo que respecta a su vida económica, como por ser aplicados a los trabajos y formaciones más adversos.

En la tabla 4.2 se consignan rendimientos promedio de perforación que corresponden a jornadas o turnos de 12 horas de trabajo continuo, los que son valores efectivos para condiciones que podemos calificar como normales; esto es, promedio, hasta profundidades de 100 m. y a un nivel de confianza de 80 por ciento.

4.1.2. Método rotatorio.

Este método consiste en la perforación de suelos aluviones y una gran diversidad de rocas, mediante la acción rotatoria de un trépano y la utilización de diferentes fluidos o lodos de perforación para remover y desalojar los fragmentos de corte de la formación y mantener limpio el fondo. El fluido se hace circular continuamente conforme el trépano penetra en los materiales de la formación.

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

Material	Diámetro	
	6"	12"
Arenas acuíferas	12	9
Grava	18	13
Lutita pegajosa	12	8
Lutita arenosa	22	16
Arcilla pegajosa	12	8
Arcilla arenosa	25	18
Boleo y cantos rodados	6	5
Arenisca dura	15	12
Prechas	6	5
Agglomerados	6	5
Arenisca suave	27	22
Conglomerados	9	7
Esquistos y pizarra	27	23
Calizas sanas	15	12
Dolomitas sanas	9	7
Granito	6	4.5
Rocas metamórficas	10	8
Basalto masivo	5	3
Basalto fracturado	3	2
Riolita y andesita	6	4

TABLA 4.2 Rendimientos efectivos de perforación (en metros) con máquinas de percusión tipo "pulseta", por turno de 12 hrs.

Antes de llegar a los diferentes diámetros terminales, generalmente se realiza una exploración en el sitio del pozo a un diámetro relativamente pequeño; entre 21.6 cm (8 1/2") y 31.1 cm (12 1/4"), hasta alcanzar la profundidad deseada.

Con la información obtenida durante la perforación (pérdidas de fluido, nivel del agua) es posible hacer las consideraciones necesarias y decidir sobre el diseño, la ampliación y terminación del pozo, con los correspondientes ademes ciegos, cedazos, empaques de grava, cementaciones, etc.

En caso de tener que ampliar el pozo se utilizarán ampliadores para materiales suaves, medios o duros que permitan alcanzar el diámetro solicitado en una o en varias etapas, hasta las profundidades del diseño. Una vez ampliado el pozo al diámetro solicitado se procede a colocar el ademe ciego y los cedazos, para posteriormente colocar un filtro de grava-arena con la granulometría adecuada a la formación del acuífero atravesado.

Finalmente se prosigue con la limpieza, desarrollo y el aforo del pozo construido para conocer su comportamiento y sus curvas características.

Componentes principales.

Existe una gran variedad de equipos de perforación a rotación en tamaño y capacidad, pueden estar integrados sobre camiones o plataformas con diversos conjuntos y componentes.

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

Sus componentes principales son:

- a) El sistema de nivelación.
- b) Torre de perforación.
 - estructura y corona.
 - sistema de levante.
- c) Unidad de fuerza.
- d) Sistema de embrague.
- e) Transmisión (es).
- f) Caja de velocidades.
- g) Mesa rotatoria.
- h) Flecha de perforación.
- i) Cabeza giratoria.
- j) Malacates.
- k) Cables y polipastos.
- l) Bomba de lodos.
- m) Sistemas auxiliares.
- n) Compresor.

La perforadora es complementada con diversos equipos o conjuntos que pueden ser intercambiables y que en el caso de tener una capacidad menor a la de la torre pueden reducir la del equipo, pero en caso opuesto no podran incrementar la capacidad de la estructura básica.

Generalmente las velocidades que presentan los diferentes modelos de rotatorias van desde 0 a 120 R.P.M., hasta 0 a 240 R.P.M.

Existe un límite mínimo de rotación que está en función de la caja de velocidades y de la mínima que alcance en primera velocidad.

Existen algunas ocasiones en las que es necesario girar la herramienta con la mínima velocidad posible, por ejemplo en el caso del martillo, en el que es

conveniente girar la herramienta a velocidades entre 10 y 20 R.P.M.

Existen dos variantes de éste método y son: rotación con circulación directa y rotación con circulación inversa.

Rotación con circulación directa.

La acción rotatoria es debida a la aplicación de un peso suficiente en el fondo del pozo para romper la estructura del material a perforar mediante la utilización de la barraux auxiliada por el movimiento de rotación, transmitido éste por la sarta de perforación que es manejado desde la superficie por una flecha y una masa giratoria o un cabezal de rotación todo sostenido a través de cables por malacates o por sistemas de transmisión a base de cadenas o una combinación de ambos.

Al girar la broca o trépano, que está colocado en el extremo inferior de un tubo hueco llamado sarta de tubería, corta el material conforme penetra en la formación y una vez realizada ésta operación se limpia el fondo del pozo y desalojan los cortes mediante la circulación del fluido o lodo de perforación.

El fluido o lodo de perforación es bombeado a través de la tubería y expulsado por unos pequeños agujeros en la boquilla de la broca a altas velocidades golpeando el fondo y las paredes del pozo ayudando a la broca en su acción erosiva. Dicho lodo fluye verticalmente hasta la superficie a través del espacio anular que se halla entre la tubería y las paredes de la formación, llevando consigo los fragmentos del material del fondo. Ya en la superficie del terreno se conduce hasta un foso de sedimentación y de ahí a otro de reserva. En éste, es almacenado de nuevo por la bomba una vez que su contenido de fragmentos se haya sedimentado.

El que se presenten problemas durante la perforación debe ser considerado en la planeación del pozo y existe la idea general de que los pozos más económicos, son aquellos que alcanzan su objetivo en el periodo más corto de tiempo. Sin embargo, en el caso de una operación determinada, el concepto de perforación rápida puede ser moderado por otros objetivos o por problemas de perforación encontrados durante la construcción. Por ejemplo, la perforación debe ser a una velocidad controlada cuando se atraviesan materiales muy suaves para impedir que la gran producción de corte provoque un taponamiento o incremento demerado el peso del lodo que retorna y se provoque un aumento de presión sobre la formación y una pérdida de circulación.

También cuando se cortan arcillas expansivas, puede prácticamente cerrarse el

anillo de retorno, provocando una obstrucción y probable atascamiento de la tubería, en caso de no permitir que fluyan libremente a la superficie antes de seguir profundizando. En la fig. 4.11 se muestra un esquema de este tipo de perforadora con rotación directa.

Como ya se mencionó anteriormente, los dos elementos clave en el método de perforación por rotación, son el trépano o broca y el fluido. Ambos resultan indispensables al cortar y mantener el agujero. Todos los componentes que constituyen la máquina de perforación por rotación, se diseñan para realizar simultáneamente estas dos funciones: operación del trépano y circulación del fluido de perforación.

En este sistema se utilizan dos tipos generales de trépanos: el de rodetes dentados, usualmente denominado trépano para roca, y el de arrastre, que comprende el de tipo de cola de pescado o el de tres aletas. Los trépanos de arrastre contienen aletas cortas, cada una de las cuales tiene un filo cortante forjado y que ha recibido un tratamiento endurecedor en la superficie. Unas boquillas o eyectores cortos dirigen chorros de fluido de perforar por debajo de las aletas para mantenerlas limpias y enfriarlas. Los trépanos de arrastre ejercen rápidamente su acción cortante en arcillas y arenas pero no funcionan bien en grava gruesa o en formaciones rocosas.

El trépano de rodetes dentados ejerce una acción cortante y de trituración, logrando cortar las formaciones duras con efectividad. Los rodetes o cortadores son dotados de dientes endurecidos de gran variedad de formas y separación.

Desde el interior del trépano y en la parte superior de cada rodete, se hace dirigir un chorro de fluido de perforación que lava las superficies que han sido cortadas. El trépano cónico contiene rodetes de forma cónica montados sobre ejes y cojinetes colocados a cierto ángulo con el eje del trépano. Otro diseño tiene cuatro rodetes o cortadores dos de los cuales están fijados a un ángulo y los otros dos normalmente, al eje vertical del trépano.

Por la aceptación que tiene, es evidente que el trépano tricono es el mejor que puede escogerse. La elección de los cortadores, y el número de longitud de los dientes, depende principalmente del tipo de formación que haya de penetrarse.

El trépano funciona en el extremo inferior de la barra o sarta de perforación, que esencialmente consiste de un eje tubular largo. La barra de perforación consta de tres partes: una o más barras de peso, justamente por encima del trépano; uno o más tramos de tubería de perforación y el vistago giratorio, llamado normalmente Kelly.

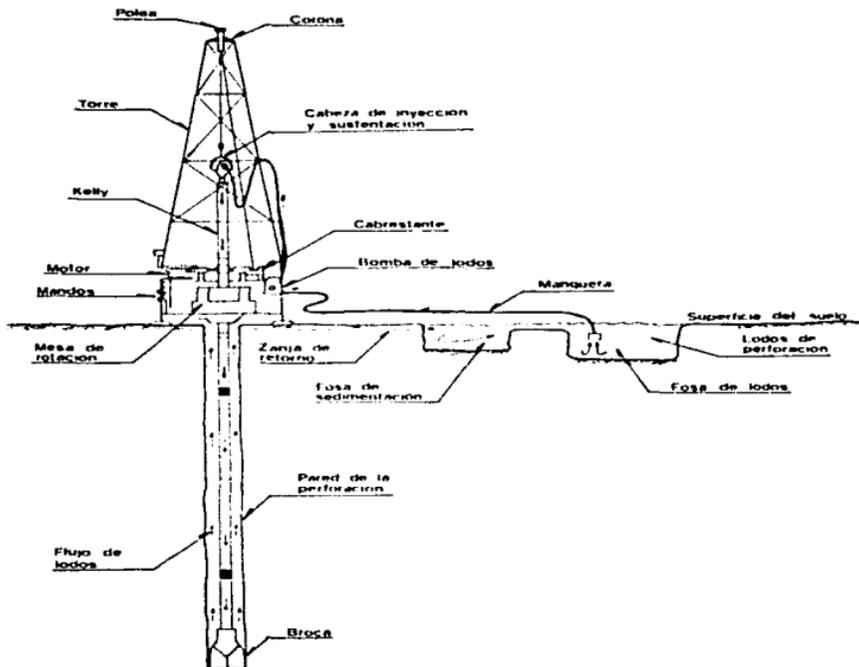


FIG. 4.11 Esquema del equipo de perforación por rotación con circulación directa.

Cada barra de peso es, en efecto, un tramo de tubería de perforación de pared gruesa. Esta concentración de peso, justamente por encima del trépano contribuye a mantener el agujero recto y vertical.

La tubería de perforación consiste de conductos sin costura, por lo general en tramos de 6 m. de longitud. Los tamaños de tubería de perforación varían de diámetro exterior, desde 60 mm hasta 114 mm. Es de suma importancia utilizar tubería de perforación del diámetro adecuado, puesto que la perforación de pozos de agua exige una razón de circulación del fluido relativamente alta, además de que se disminuyen las pérdidas por fricción y en consecuencia la potencia que demanda la bomba.

El vástago giratorio (Kelly), constituye la sección situada más alto de toda la columna de tubería de perforación. El vástago pasa por, y se fija, en la abertura de la mesa rotatoria. La forma exterior del vástago giratorio puede ser cuadrada, hexagonal o también cilíndrica, con ranuras o surcos longitudinales cortados en la pared exterior. Mientras gira, el vástago se desliza hacia abajo entre los cojinetes de guía para seguir el descenso del trépano conforme el agujero se hace más profundo.

La sarta completa de perforación se suspende de un eslabón giratorio que permite el paso del agua, el cual a su vez se halla suspendido del mástil o torre por medio de una polea viajera. Un resistente cojinete de empuje axial, instalado entre las dos partes del eslabón, soporta todo el peso permitiendo a la sarta de perforación que gire libremente.

Rotación con circulación inversa.

Los principios en que se basa éste método rotatorio de circulación inversa son los mismo que los del método anterior, sólo que en éste, como su nombre lo dice se invierte la circulación del fluido de perforación. El extremo de aspiración de la bomba, en lugar del de descarga, se conecta al vástago giratorio a través del eslabón superior, y de ahí a la tubería de perforación. Esta vez el fluido de perforación con su carga de fragmentos y cortaduras se desplaza hacia arriba por dentro de la tubería y es descargado por la bomba al foso de sedimentación.

El fluido retorna al agujero mediante flujo gravitacional. En esta forma se desplazará hacia abajo, a través del espacio anular que rodea a la tubería, hasta alcanzar el fondo del agujero, atrapando a su paso fragmentos y cortaduras que vuelven a entrar a la tubería de perforación por las aberturas existentes en el

trépano. Debido a que en éste sistema la circulación del fluido es lenta, la erosión de las paredes disminuye y en consecuencia es menor el arrastre de partículas. Un aumento en el área cuando se presentan caídos o derrumbes no disminuirá la velocidad de retorno, por lo que se seguirán acarreado los cortes con la misma eficiencia.

El fluido de perforación puede describirse como una agua lodosa o lodo de baja densidad. Rara vez se agregará al agua bentonita u otros aditivos, para formar un fluido más viscoso.

Con el fin de dar estabilidad a las paredes del agujero y prevenir socavaciones del mismo, el nivel de fluido debe mantenerse a ras del suelo en todo momento. La presión hidrostática de la columna de agua, además de la inercia con la que se desplaza hacia abajo, por fuera de las barras de perforación, mantienen estable la pared del agujero.

Hay cierta agua que se pierde al oprimir desde el agujero hacia las formaciones permeables que se están penetrando. Algunas de las partículas finas que se hallan en suspensión en el fluido, se infiltran a través de la pared del agujero, produciendo un delgado depósito lodoso que cierra parcialmente los poros y reduce la pérdida de agua. Sin embargo, cuando se está perforando en formaciones arenosas, se necesita disponer de una cantidad considerable de agua en todo momento.

La pérdida de agua puede aminorarse agregando arcilla al fluido, pero esto se trata de evitar a menos que sea imprescindible. En tales casos bastan unos 75 litros por minuto de agua agregada y, en ocasiones en que la perforación se realiza a través de acuíferos altamente permeables, puede que lleguen a necesitarse hasta 2,000 litros por minuto. La perforación de grava gruesa y seca es la que ofrece las mayores dificultades.

El foso de sedimentación y el de abastecimiento de agua deberán tener un volumen de por lo menos tres veces el del material que habrá de extraerse durante la perforación. El caudal de circulación de agua que comúnmente se emplea, es del orden de unos 1,900 litros por minuto.

Al inicio de la perforación es necesario colocar un conductor de 2 a 4 m. de profundidad para evitar la erosión de la boca del pozo y la pérdida del soporte superficial.

La velocidad angular de rotación disponible en la mesa rotatoria es entre 10 a 40 R.P.M., misma que se utiliza en función de la dureza o de la compacidad de la formación que se está perforando y del tamaño de las partículas que la forman.

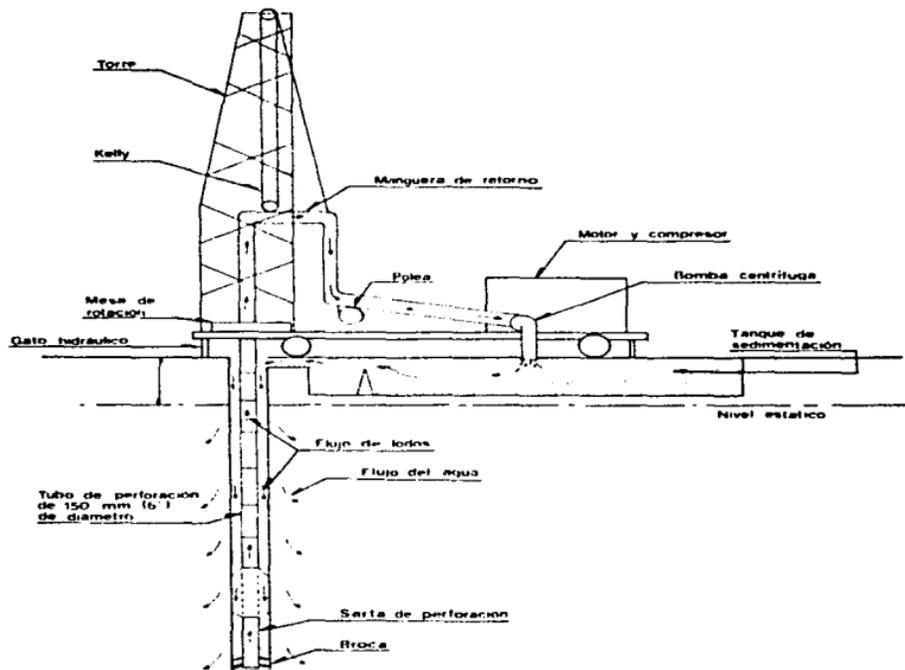


FIG. 4.12 Esquema del equipo de perforación por rotación con circulación inversa.

Gracias a la gran velocidad a la que circula el fluido por dentro de la tubería de perforación, los cortes son arrastrados hacia la superficie inmediatamente después de que son removidos con la barrena, por lo que se reduce la acción de remover el material cortado; esto incrementa la eficiencia y permite muy buenos avances de perforación en materiales suaves. Se llegan a tener promedios de rendimiento en ocasiones hasta de 10 metros por hora. Esto en materiales arenosos prácticamente sueltos, delgados y no consolidados.

Por lo general, se usan tubos de unos 15 cm. de diámetro de modo que aquellos cantos de hasta unos 12.5 cm. de diámetro pueden ser extraídos por dentro de la tubería. Cuando se presentan bolos mayores a este diámetro, generalmente se van acumulando en el fondo del agujero hasta que ya no es posible seguir perforando, en éste caso, se recomienda sacar la sarta y extraer los bolos con un cucharón tipo almeja operado con la línea de maniobras desde la superficie.

Cabe mencionar que los acoples que se utilizan para los tubos son del tipo de brida y que el diámetro de éstas es de unos 28 cm. de diámetro, razón por la cual el menor agujero que podría perforarse es prácticamente de unos 15 cm. de diámetro, apenas el necesario para proveer suficiente espacio anular a la altura de cada acople de brida. Con este sistema se pueden perforar agujeros de hasta 1.50 metros de diámetro.

La circulación inversa proporciona el método más económico para perforar en diámetros grandes, formaciones suaves y no consolidadas. Cuando las condiciones geológicas son favorables, el costo de perforación de un hoyo de 0.60 m. a 1.00 m. de diámetro es apenas ligeramente mayor que el de uno de 0.60 m.

En consecuencia, la mayor parte de los agujeros perforados por éste método son de unos 0.60 m. de diámetro o mayores, circunstancia tal que favorece el acabado de los pozos mediante la colocación de filtros artificiales de grava. Este es un caso en donde el diseño de un filtro artificial de grava depende en su mayor parte de los factores peculiares del método específico de perforación.

Ventajas y desventajas de éste método.

Algunas ventajas de los métodos rotatorios son:

- a) Alto rendimiento aún en grandes profundidades.
- b) Buen control de la verticalidad del pozo.
- c) Ahorro del costo del ademe, sobre todo si el pozo no es productivo.
- d) Si la circulación de fluidos es continua y a buena velocidad, se mantiene

limpio el pozo lo que ayuda a mantener el efecto cortante de las barrenas.

e) Gran rapidez de los trabajos, lo cual beneficia notablemente a las formaciones, ya que durante la perforación, la alteración de su estructura y textura es mínima, lo que se manifiesta en la productividad del pozo.

f) Posibilidad de variar el diámetro del pozo.

g) Se puede programar el tiempo requerido para la perforación.

h) Se obtiene un corte litológico mucho más representativo de las formaciones cruzadas, lo que permite:

- Realizar un correcto diseño en la entubación definitiva del pozo.

- Poder diseñar y colocar un filtro de grava artificial adecuado, en concordancia con la granulometría de las formaciones perforadas, garantizando un efectivo control del arrastre de sólidos en suspensión durante el bombeo del pozo, alargándose así la vida del correspondiente equipo de bombeo, y del propio pozo.

i) Si el pozo es correctamente construido, su rendimiento o productividad específica será mayor que el correspondiente, si el pozo fuera construido con métodos de percusión.

j) El equipo de bombeo necesario para la operación del pozo será más económico.

k) El ahorro en los costos de operación resarcirá con creces la inversión realizada durante la construcción.

Entre las desventajas se mencionan las siguientes:

1.- Mayor costo inicial en los trabajos de perforación y desarrollo del pozo.

2.- Se requiere en la construcción una técnica más cuidadosa y especializada, así como personal más capaz y entrenado que el necesario en los trabajos de percusión.

3.- Se requiere un suministro continuo de agua, aunque puede usarse aire o espumantes.

4.- Pérdida de fluido de perforación al atravesar formaciones muy permeables, lo que puede afectar los parámetros geohidrológicos del acuífero.

5.- Es necesario decidir rápidamente la terminación del pozo.

Rendimiento con máquinas rotatorias.

Los factores que afectan el rendimiento de perforación son:

1. Tipo de barrena (incluyendo el trépano).

2. Peso sobre la barrena.

3. Velocidad de rotación.

4. Limpieza del agujero.

5. Propiedad del lodo.

Por lo anterior es necesario en cada caso particular, balancear los diferentes aspectos que influyen en el rendimiento de la perforación para cada tipo de formación por atravesar. Es decir se debe utilizar la barrena adecuada para cada caso, darse una velocidad de rotación a la sarta que permita la mejor penetración de la broca, transmitir el peso necesario para sobre pasar la resistencia a la compresión de la formación que se está atravesando; complementando todo lo anterior, con la eficiente extracción de cortes a la superficie, mediante el uso del fluido y de un sistema de circulación debidamente balanceado, para lograr el mayor rendimiento de perforación del pozo sin provocar derrumbes de las paredes del pozo, taponamiento del acuífero con los lodos utilizados, ni desviaciones en su verticalidad mayores que las que normalmente es posible lograr al perforar determinadas zonas.

Durante los trabajos de perforación es necesario considerar el efecto del peso y la velocidad de rotación. El peso necesario para lograr la mayor eficiencia de penetración varía directamente con la resistencia a la compresión de la formación por atravesar, aunque existen algunos cambios en función de la estructura de la roca; por ejemplo, cuando se trata de estratos delgados se perfora más fácilmente. En algunos casos de materiales no consolidados como arenas, el peso será el necesario para penetrar; en el caso de gravas o bolos se deben fracturar en partículas más pequeñas para poder ser extraídas.

Las máquinas para perforación de pozos de agua que actualmente se utilizan, no tienen la capacidad adecuada para alcanzar las especificaciones de los fabricantes de brocas en cuanto al peso que deben transmitir a la formación, lo que provoca su desgaste por fricción en el calibre de la broca y una menor vida útil, esto tiene sus excepciones en perforaciones de pequeño diámetro (6.5 cm. (2½") y en perforaciones profundas como es el caso de los pozos construidos para abastecimiento de agua potable de la ciudad de Monterrey y algunos otros, donde es indispensable utilizar equipos tipo petrolero para alcanzar las profundidades necesarias si se tiene la capacidad adecuada para aplicar el peso necesario a la broca y alcanzar el rendimiento óptimo.

4.2. SUMINISTRO Y COLOCACION DE TUBERIA DE ADEME.

4.2.1. Concepto de ademe.

La mayoría de los pozos para alumbramiento de agua subterránea requieren ser ademados, con objeto de impedir derrumbes y caídas de las paredes de la formación, a más de que muy frecuentemente, es necesario protegerlos con un filtro de grava cuya finalidad será la de controlar los arrastres de sólidos en suspensión durante el bombeo. El ademe tiene, adicionalmente, la misión de formar una cámara de bombeo para el equipo con que se explotará el pozo. Por lo anterior, podemos decir que el ademe es la tubería que se coloca para revestir definitivamente al pozo.

4.2.2. Tipos de ademe.

Parte de esta tubería deberá estar perforada o ranurada en las zonas que se encuentren frente a las formaciones acuíferas que se van a explotar, con objeto de dar paso al interior del pozo al flujo que se establece durante el bombeo del mismo. La tubería de ademe que se encuentra perforada es conocida con los nombres de ranurada, cedazo o tubo filtro, según el tipo de perforación que se le haya practicado sobre la misma. Las tuberías no perforadas se conocen con los nombres de ciegas o lisas.

Tanto las tuberías ciegas como las ranuradas, quedarán sujetas a las presiones naturales del terreno, así como a la acción dinámica producida por el bombeo del pozo, razón por la cual deberán ser de suficiente resistencia para garantizar una larga vida a la estructura.

Ademe ciego.

Las funciones fundamentales del ademe ciego son sostener las paredes de la formación perforada en toda su profundidad y funcionar como un conducto hidráulico eficiente comunicando el acuífero con la superficie. También sirve para clausurar otros acuíferos que no se desean explotar en el mismo pozo o para evitar que acuíferos de mala calidad contaminen el que sí se desea explotar. Como se verá más adelante, estos objetivos se complementan con la cementación del espacio anular entre el ademe y la formación perforada.

En la mayoría de los casos en los pozos para extracción de agua se utilizan ademes construidos con tubos metálicos aunque se usan en menor escala tubos de fibrocemento, fibra de vidrio, PVC, etc. En general, la tubería de acero más apropiada para los diversos tipos de objetivos relacionados con la perforación de pozos, es aquella que se fabrica de acuerdo con las especificaciones del American Petroleum Institute (API) y su longitud está entre 6 y 9 m. Un tubo se une con el siguiente por medio de un niple roscado o con soldadura a tope.

La tubería de revestimiento API se fabrica de clases A y B; estas dos designaciones se refieren a las resistencias del material, a la tensión y a la fluencia.

Los tubos de clase A deben tener una resistencia a la tensión de por lo menos 3,360 Kg/cm², en tanto que la tubería clase B debe de ser de una resistencia a la tensión de 4,200 Kg/cm².

En la construcción de pozos debe evitarse el uso de dos tipos de tubería de distinto metal pues ello fomenta la corrosión. Cuando se tengan problemas de erosión y/o corrosión debido al tipo de agua bombeada, deberá recurrirse a aleaciones más resistentes y protecciones catódicas.

Independientemente de la elección que se haga del material de la tubería en función de la agresividad del agua, es preciso considerar el diámetro más adecuado y su espesor.

El diámetro mínimo para un ademe cierto está en función del tipo de ademe ranurado elegido y del diámetro de la bomba (que depende del caudal y de las características de la bomba). El API recomienda los diámetros mínimos mostrados en la tabla siguiente, tomados en función de la capacidad de bomba.

Diámetro de la perforación, en cm.	Diámetro del ademe, en cm.	Capacidad de bomba, en l.p.s.
61.0	50.8	Más de 100
50.8	40.6	Hasta 100
44.5	34.0	Hasta 60
31.2	24.5	Hasta 30
21.6	17.8	Hasta 15
15.9	12.7	Hasta 5
10.8	7.7	Menos de 5

TABLA 4.3 Diámetros mínimos de ademe, según el API.

El espesor de la pared del ademe depende de los esfuerzos a que la tubería estará sometida. Los esfuerzos más desfavorables son los debidos al empuje del terreno y a las cargas hidrostáticas por diferencias del nivel del agua entre el interior y el exterior del pozo. Al calcular el espesor mínimo se debe tomar en consideración la carga por aplastamiento.

Es práctica común construir ademes con diámetros decrecientes con la profundidad. Esto disminuye el costo tanto de la perforación del pozo como del ademe mismo. El traslape de las tuberías debe ser estanco, principalmente cuando se hayan perforado formaciones permeables. El cierre entre dos tuberías de diámetros diferentes, requiere una longitud de traslape de la cementación de 2 a 3 m., y un espacio entre ambas tuberías que permita introducir entre ellas la de inyección del cementante.

Ademe ranurado.

Es la parte del pozo por donde penetra el agua del acuífero a la tubería para ser bombeada a la superficie. El ademe ranurado debe tener las siguientes características:

- a) El tamaño de la abertura se diseña para evitar la obstrucción por arena y grava (ya sea del filtro o del acuífero).
- b) Proporciona la máxima área hidráulica, sin sacrificar la resistencia estructural del material del ademe.
- c) Distribución uniforme de las ranuras para que el flujo de agua hacia el pozo sea fácil y permitir un desarrollo adecuado, como se ve en la fig. 4.13.
- d) Construcción de un solo metal, resistente a la corrosión y a los ácidos usados para desincrustar el pozo.
- e) Forma adecuada que permita pérdidas de carga pequeñas y no provoque incrustaciones.
- f) Resistencia elevada al colapso y a la compresión.
- g) Ser razonablemente económico.

En general, se escoge el tamaño de la abertura del ademe ranurado para permitir que durante el desarrollo del pozo queden retenidos del 30 al 60 por ciento de los granos de un pozo sin filtro, más entre mayor es su uniformidad para evitar asentamientos. En la actualidad se fabrican ademes ranurados con distintas aberturas para adaptarse a la granulometría del acuífero.

Los tipos más comunes de ademe ranurado son los de ranura continua, de

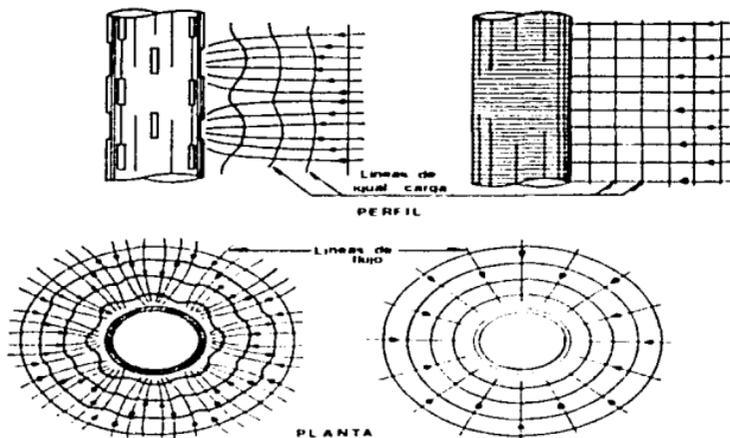


FIG. 4.13 Ademe ranurado y rejilla.

persiana, de puentecillon, con tubo base y de tubo perforado.

Los ademes de ranura continua se construyen con un alambre en espiral enrollado alrededor de un armazón de varillas longitudinales. Es de los ademes con mayor área hidráulica posible y con condiciones de flujo uniforme. Es también bastante resistente a los esfuerzos a que queda sometida durante y después de la instalación.

Las aberturas en el ademe de persiana consisten en hileras de persianas que se orientan en ángulo recto o paralelas al eje de la tubería. La forma de las aberturas no es muy favorable ya que existe la posibilidad de que se obstruya con material del acuífero durante el desarrollo del pozo.

Los parámetros importantes en el diseño del ademe ranurado son, la longitud, el tamaño y tipo de abertura de ranura, el metal así como el diámetro del ademe.

La longitud óptima depende del espesor y estratificación del acuífero y del posible descenso dinámico del nivel del agua. Debe tener la mayor longitud posible, pero evitando que el nivel dinámico deje en seco alguna zona.

La selección del tamaño de la ranura del ademe depende de la distribución granulométrica del material del acuífero; cuando su coeficiente de uniformidad (D_{60}/D_{10}) es mayor que 6 (material no uniforme) y el material que superyace al acuífero es firme, el tamaño de ranura se escoge para retener el 30 % del material del acuífero. Con el mismo coeficiente de uniformidad pero el material suprayacente blando, el tamaño de ranura se diseña para retener el 50 %. Si el material del acuífero es muy uniforme (coeficiente de uniformidad alrededor de 3) y el material suprayacente es firme, se diseña para retener el 40 % del material del acuífero; si el material suprayacente al acuífero es blando, el tamaño de ranura se diseña para retener el 60 %. Cuando se coloca filtro de grava la ranura se diseña para retener el 90 % de partículas del filtro.

La selección adecuada del material del ademe ranurado depende, como en el ademe ciego, de la composición química del agua, la presencia de limos bacterianos y la resistencia estructural de la rejilla.

El diámetro del ademe ranurado se determina teniendo en cuenta el área abierta necesaria para pasar el caudal de diseño sin provocar una velocidad de admisión excesiva. En general, el diámetro se fija después de seleccionar la longitud de la zona ranurada así como el área hidráulica. La velocidad de admisión es un factor crítico en la operación eficiente de un pozo; en general, se diseña el diámetro del ademe en forma tal que la velocidad de admisión por las ranuras sea igual o inferior a 3 cm/seg.

4.2.3. Colocación del ademe.

Una vez que las tuberías del ademe son suministradas al sitio en que se está perforando el pozo, su colocación se efectúa, como ya se mencionó, soldando eléctricamente a tope cada tramo subsecuente que se va colocando, generalmente en lingadas preparadas previamente.

Durante los diversos tiempos de poca o lenta actividad en la perforación, el ayudante soldador y el peón de maniobras, auxiliados por un cable elevador de la máquina, efectuarán la unión de tubería en lingadas, o tramos de 12 o más metros de longitud, según sea la capacidad de la torre de la perforadora.

Para soldadura eléctrica en placas de 5/16" de espesor, se tienen los siguientes valores:

Amperaje necesario: 140 teórico, 300 práctico.

Número de pasadas con el electrodo: 3.

Rendimiento con 100% de factor de trabajo: 14 pies/hr.

Consumo de soldadura: 0.38 lb/pie lineal soldado, incluyendo 10 % de desperdicios.

El anterior rendimiento lo afectamos de un coeficiente de 0.60 para así tener rendimientos reales.

$$14 \text{ pies/hr.} \times 0.395 \times 0.60 = 2.56 \text{ m/hr.}$$

Tiempo aproximado de preparación.

Movimiento de dos tramos de tubería y su presentación al tope para proceder al soldado, operación que será auxiliada por un cable elevador de máquina, 10 min.

Operación de soldar al tope con 3 pasadas de electrodo, tubería 12" de diámetro que consideraremos para el análisis, y mide en su periferia $12.75 \times 0.0254 \times 3.1416 = 1.02 \text{ m.}$; por lo que se tardará en soldar:

$$1.02 \text{ m.} / 2.56 \text{ m/hr} \times 60 \text{ min/hr} + 10 \text{ min} = 34 \text{ min.}$$

Tiempo aproximado de instalación.

Aseguramiento e izado de cada llingada de 12.10 m de longitud con el elevador de la máquina perforadora, colocación y alineamiento a tope con el extremo superior del tramo anterior, ya sujeto con mordazas a la mesa rotatoria de la máquina perforadora, etc., aprox. 5 min.

Operación de soldar a tope dando 3 pasadas con el electrodo: $1.02 \text{ m} / 2.56 \text{ m/hr} \times 60 \text{ min/hr} = 24 \text{ min.}$

Introducción cuidadosa de la tubería al agujero cilindro perforado, procurando evitar movimientos bruscos que originen caldos, y aseguramiento a la mesa rotatoria de la máquina, aprox. 4 min. Suma total 34 min.

En una longitud de 170 m de tubería de ademe, se tendrán 10 llingadas de 12.10 m de longitud por lo que se efectuarán 10 operaciones de colocación y 9 de soldadura; por tanto:

$$\text{Tiempo} = 10 \times 9 \text{ min} + 9 \times 24 \text{ min} = 306 \text{ min} = 5.10 \text{ hr}$$

4.2.4. Cementación del pozo y tubería de ademe.

En pozos destinados para fines de abastecimiento de agua potable y usos

domésticos, el principal objetivo de la cementación es la unión del ademe ciego con el material que forma la pared del pozo, con la finalidad de proteger los acuíferos contra la contaminación y polución derivadas de la percolación de aguas superficiales que se infiltran entre las grietas producidas en el terreno por el fallamiento de la perforación. Esto es más imperativo en formaciones superficiales permeables o de roca fracturada.

Puesto que la polución se limita a la parte superior del acuífero, la cementación deberá ser llevada hasta una profundidad de 3 a 6 m, mayor que el abatimiento esperado en el pozo durante su explotación; nivel dinámico.

Un segundo caso será cuando el acuífero esté confinado en su parte superior por alquino o algunos estratos de materiales impermeables, en cuyo caso la cementación deberá ser llevada hasta una profundidad del orden de 3 a 5 m, abajo del nivel superior del estrato impermeable.

Cuando durante el curso de los trabajos de perforación sean cruzados acuíferos de agua salada, o con contenido de materiales minerales u orgánicos no convenientes, las zonas del pozo frente a tales acuíferos deberán ser también cementadas, con el objeto de librar de contaminación los acuíferos de agua dulce. Por lo demás la cementación alarga la vida del pozo, protegiendo su ademe metálico contra la corrosión exterior, y eventualmente, contra la generada por el ataque de aguas salobres.

La lechada para la cementación comúnmente se prepara mezclando agua y cemento portland en la siguiente proporción, 19 a 22 lts. de agua para cada saco de 50 kg de cemento. Usualmente esta mezcla es suficientemente fluida para circular a través de los tubos esculcidos. Una mezcla que fluye mejor puede obtenerse agregando de 1 a 2 kilos de arcilla bentonítica por saco de cemento, en cuyo caso deberán usarse 24 lts. de agua.

La aplicación del cementante debe efectuarse en una operación continua antes que ocurra el fraguado inicial del cemento, independientemente del método empleado para la aplicación. La lechada debe introducirse en el fondo del agujero de manera que, al abrirse camino hacia el espacio circundante, lo llene completamente sin dejar ninguna brecha.

Los procedimientos más usuales de cementación son: el método de aplicación por gravedad, método de tubería interior en sus dos variantes y el método de tubería exterior o espacio anular.

Aplicación por gravedad.

En el método de aplicación por gravedad se llena el agujero con la mezcla desde la boca del pozo; si éste está lleno de agua o lodo, el cemento los desplaza. A continuación se introduce la tubería de ademe con el extremo inferior taponado con material fácilmente perforable (madera blanda por ejemplo), como se muestra en la fig. 4.14, y con guías para descender en el agujero, impulsando el lodo hacia arriba a través del espacio anular y al exterior para que llegue a la superficie. La tubería se puede llenar con agua o hacerse más pesada por otros medios para ayudarla a hundirse y desplazar el lodo. El tapón se rompe una vez que el cementante está seco. Este procedimiento se recomienda para pozos de menos de 50 m.

Inyección a presión por el interior de la tubería.

Se introduce la tubería de ademe en el pozo lleno de agua o lodo hasta dejarla a unos 30 o 40 cm del fondo. La lechada se aplica en el fondo del agujero a través de una tubería colocada en el extremo inferior del ademe. Con una bomba (que puede ser la misma usada para la circulación de lodos) se inyecta la lechada a través de la tapa desplazando de esta forma el agua y lodos contenidos en el agujero haciéndolos subir por el espacio anular entre el tubo y las paredes de la formación. Se continúa inyectando el cementante hasta completar el volumen estimado del anular y después se inyecta agua y lodo a presión para hacer subir al cementante hasta su lugar. Se debe conservar la presión hasta que el cemento haya endurecido y se retira la tapa del tubo para continuar la perforación.

La tubería para la lechada debe ser de un diámetro de 3/4" (2 cm), o mayor, y debe llenarse la tubería de ademe con agua para evitar que flote. El diámetro del agujero perforado debe ser, por lo menos, 2" (5 cm), mayor que el ademe.

Inyección a presión por el interior de la tubería, con tapón perdido.

Este método es muy semejante al anterior sólo que ahora se usan dos tipos. Se introduce la tubería como antes y primero se coloca un tapón de material fácilmente perforable encima de los lodos, y luego, se coloca la tapa fija en la parte superior de la tubería. El cementante inyectado desplaza al tapón que estaba sobre los lodos y éste a su vez desplaza los lodos, hasta que dicho tapón llega al fondo del pozo donde se deposita. Para continuar la perforación debe romperse el

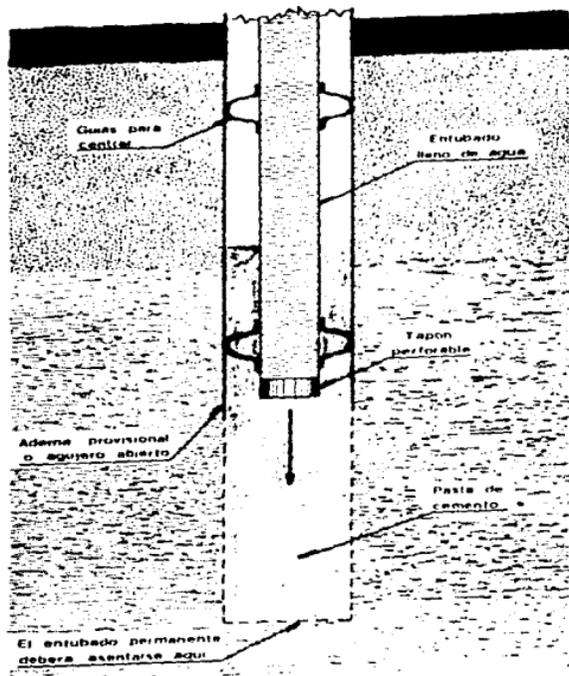


FIG. 4.14 Cimentación por el método de aplicación por gravedad.

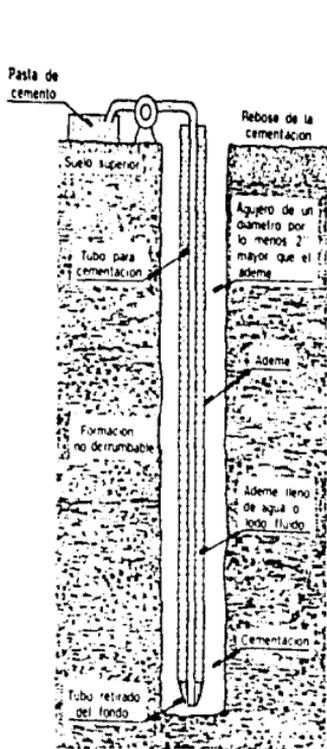


FIG. 4.15 Cementación por el método de inyección a presión por el interior de la tubería.

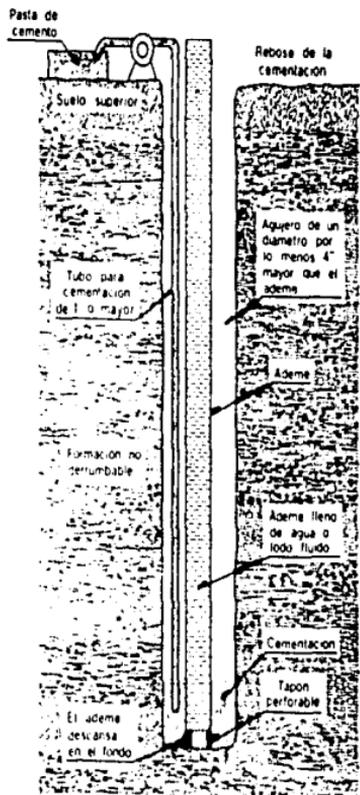


FIG. 4.16 Cementación por el método de inyección por tubería exterior o por el espacio anular.

tapón en el fondo del pozo por lo que éste debe ser también de un material fácilmente perforable.

Inyección por tubería exterior o por el espacio anular.

Se requiere un agujero de diámetro 4 a 6" (10 a 15 cm) mayor que la tubería de adobe. Esta debe centrarse en el agujero y dejarse descansar en su fondo. La tubería para la lechada, de tamaño similar al empleado en el método de tubería interior, se extiende inicialmente hasta el fondo del espacio anular y debe permanecer sumergida en el lodo durante las operaciones de instalación. Esta tubería debe separarse gradualmente al elevarse el lodo en el espacio anular. Si las operaciones de cementado se interrumpen por alguna razón, la tubería de la lechada debe retirarse por encima del cementado aplicado. Antes de bajarse la tubería nuevamente en el lodo debe emplearse lechada para desalojar el aire y el agua de la tubería. El adobe se puede tapar y lastrar con agua para evitar que flote.

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

4.3. Instalación de las rejillas del pozo.

La instalación de la rejilla constituye uno de los elementos esenciales de la completación de un pozo. Como se mencionó anteriormente, el acabado del pozo comprende todas aquellas etapas del trabajo, además de la perforación misma, que deben realizarse para poner al pozo en condiciones de uso. Las etapas tales como la cementación del adobe dentro del agujero, instalación de la rejilla, desarrollo y desinfección, son todas parte de la terminación del pozo.

Hay varios procedimientos para instalar las rejillas del pozo. Estos procedimientos varían con el diseño del pozo y con el método que se haya utilizado al perforarlo.

4.3.1. Método de retracción del ademe.

Este es el más seguro y sencillo de los sistemas empleados. Si bien se usa comúnmente en pozos perforados por el método de percusión por cable y herramienta, es igualmente aplicable en los que se perforan por rotación.

Los elementos básicos del método consisten en hacer descender la rejilla por dentro del ademe hasta la profundidad total del pozo, y luego, retraer el ademe en una distancia suficiente para que deje expuesta la rejilla en el intervalo productor del acuífero. Si se siguen las prácticas convenientes para evitar la excesiva fricción que puede desarrollarse, se eliminan la mayor parte de las dificultades que se presentan al halar el tubo, excepto cuando los materiales de la formación ejercen una fricción extraordinaria sobre la pared del mismo.

El tipo telescópico de rejilla de pozo, se desarrolló en un principio para facilitar la colocación en los pozos perforados por percusión. La rejilla se fabrica del tamaño exacto que permita introducirla por dentro de la tubería estándar del diámetro correspondiente, al igual que las secciones de un telescopio. Por ejemplo, una rejilla de un diámetro telescópico de 15 cm tiene el tamaño justo para ser introducida en un tubo estándar de 15 cm de diámetro; una de 40 cm de diámetro telescópico, está hecha para pasar a través de un tubo de 40 cm de diámetro exterior. Siempre se provee la luz suficiente para evitar que la rejilla se quede trabada, manteniendo al mismo tiempo el mayor diámetro posible.

El extremo superior de la rejilla se acondiciona con un empaque o collar de plomo. Una vez que la rejilla ha sido instalada, este empaque es expandido, para construir un sello a prueba de arena, entre el extremo superior de la rejilla y el interior del tubo de ademe.

Para sellar el fondo de la rejilla, se provee por lo general una placa resistente dotada de una asa. Utilizando el cable de la cuchara de perforación, al cual se fija un gancho plano, se hace descender la rejilla dentro del pozo, suspendiéndola del asa situada en el fondo.

Una vez que el ademe se ha llevado hasta la profundidad a la cual se va a colocar el fondo de la rejilla, deberá eliminarse la arena que haya entrado a la tubería. Luego se hace descender la rejilla por dentro del ademe hasta el fondo del pozo. Si la rejilla consta de dos o más tramos, se levanta primero el inferior mediante una cuerda, y se suspende por dentro del ademe, utilizando un par de abrazaderas. En seguida se levanta también el próximo tramo y se enroscas o se suelda al primero.

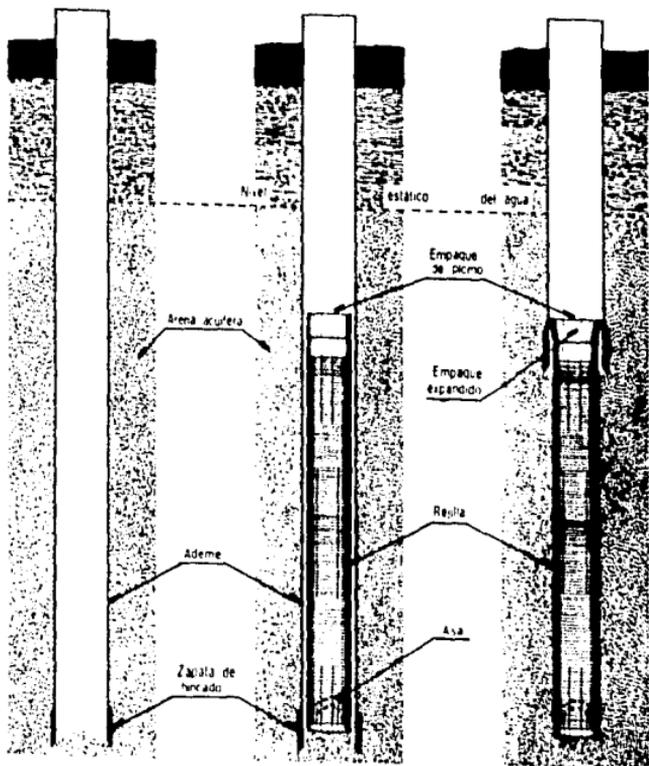


FIG. 4.17 Método de retracción del ademe.

Una vez que la rejilla se ha armado, se introduce el gancho en el asa de izar y se hace descender hasta el fondo del agujero. Se recomienda como una sana práctica, hacer descender una sarta de tubería pequeña en el fondo de la rejilla mientras se efectúa la retracción del ademe. Con ello se obtiene un mayor peso, que mantiene a la rejilla en el fondo y permite conocer su posición exacta durante la operación. Si el ademe se ha incinado por el método de percusión, entonces se puede tirar de él operando las herramientas de perforación o mediante un bloque golpeador. Puede que se necesiten gatos mecánicos o hidráulicos para proporcionar la fuerza necesaria para levantarlo. Si ello es necesario, deberá utilizarse un anillo de tracción con calzas o cuñas, el cual se fija al ademe.

Cuando el ademe ha sido retraído y toda la rejilla ha quedado expuesta en el acuífero, se hacen las mediciones finales. El empaque de plomo deberá quedar situado a unos 15 o 30 cm por encima del extremo inferior del ademe. Seguidamente, se expande el empaque para formar un sello hermético entre el extremo superior de la rejilla y el interior del ademe.

Cuando el pozo ha sido perforado por el sistema de rotación, una vez que se concluye la perforación, se hace descender la rejilla dentro del agujero, y se eliminan cuidadosamente todos los fragmentos y cortaduras que pudieran haber quedado en el fondo. Enseguida, se introduce la rejilla por el ademe hasta el fondo del agujero, retrayendo aquí, para dejarla expuesta, la principal diferencia en este tipo de perforación estriba en que el ademe debe suspenderse a nivel del terreno durante el desarrollo del pozo mediante el empleo de abrazaderas y cuñas. Como no existe fricción por fuera de la tubería, ésta no se mantendrá en posición por sí sola, hasta que el material de la formación se derrumba y la aprisione.

4.3.2. Método de agujero abierto.

Este método implica la instalación de la rejilla en un agujero abierto perforado debajo del ademe previamente instalado. Es aplicable a pozos perforados por rotación.

Primero, se perfora el agujero a la profundidad en que se va a colocar permanentemente el ademe. Este se hace descender y se efectúa la cementación conforme se requiera. Se usa entonces un barrenado de diámetro apenas suficiente para que pase por dentro del ademe y se perfora la formación productora del acuífero por debajo del ademe, permitiendo así la instalación de la rejilla que debe ser de tipo telescópico. Debe emplearse un lodo de perforación adecuado para impedir que el

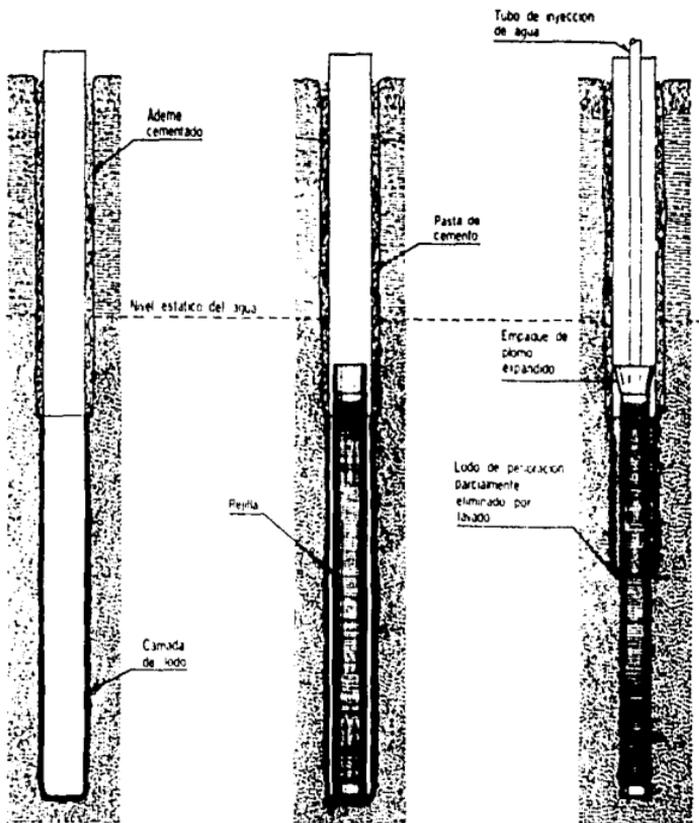


FIG. 4.18 Método de agujero abierto.

agua fluya desde la formación hacia el agujero, evitando derrumbamientos, y transportando los cortes hacia afuera. Mientras se perfora, se toman muestras de la formación, para determinar el tamaño apropiado de las aberturas de la rejilla.

A continuación, se hace descender la rejilla por dentro del ademe hasta que penetre en el agujero inferior; se elimina el fluido de perforación, se expande el empaque de plomo, y se empieza a desarrollar el pozo.

4.3.3. Método de achicamiento.

Ciertas condiciones hacen que sea inconveniente halar el ademe como lo exige el método de retracción, la excesiva fricción que desarrollan los materiales de la formación sobre la superficie del ademe demanda la aplicación de una fuerza muy grande; o los movimientos del ademe podrían alterar el sello sanitario colocado alrededor de éste. En tales casos puede utilizarse el método de achicamiento para colocar la rejilla. El primer paso consiste en perforar y, luego, instalar ademe hasta la profundidad a que éste debe quedar en posición permanente.

Cuando se perfora por el método de percusión, el ademe queda firmemente sostenido por la fricción de su superficie contra las formaciones en las cuales ha sido hincado. Cuando se perfora por el método rotatorio, el ademe se fija en su posición definitiva mediante una cementación o cualquier sellado que se efectúe en el agujero.

A continuación, se puede perforar un agujero piloto por debajo del extremo inferior del ademe y así obtener muestras de la formación acuífera que permitan establecer su espesor. El agujero piloto sirve también para verificar la presencia de cantos, quijarros u otros obstáculos.

Si se utiliza el método de percusión, la perforación del agujero piloto se lleva a cabo por dentro de un ademe de menor diámetro, introducido concéntricamente por el ademe permanente. Esta tubería se retira una vez que la perforación del agujero piloto ha sido concluida.

La rejilla de pozo, acondicionada en su extremo inferior con una zapata de extracción o con una manga abierta, se hace descender por dentro del ademe en forma telescópica. Si se usa una zapata de extracción o achicamiento con accesorios conectores especiales, la rejilla se suspende de una sarta de tubería denominada tubería de extracción.

El dispositivo completo se hace descender hasta la formación que se encuentra por debajo del ademe del pozo, mediante las herramientas de perforar y la zapata

extractora y por dentro de la rejilla o de la tubería de extracción, según sea el caso.

El objetivo que se persigue con el método de achicamiento, es el de desplazar y remover la arena que se encuentra por debajo de la rejilla, de modo que ésta se asiente conforme la arena es desplazada. El peso que proporciona la tubería de extracción ayuda a que la rejilla se asiente cuando el peso de ésta, por sí sola, es insuficiente.

Cuando la rejilla ha sido introducida hasta la profundidad que se desea, se deja caer por dentro de la tubería de extracción un tapón pesado de madera o de plomo, para que se asiente en el niple o manguito extra resistente colocado por encima de la zapata extractora. Enseguida se desconecta la sarta completa de tubería de extracción, dándole vuelta varias veces, a la derecha, para desacoplar la unión de rosca izquierda que se haya en el extremo superior del niple. Una vez que se ha retirado la tubería de extracción, se procede a expandir el empaque de plomo con la herramienta recaladora o apisonadora, y el pozo se encuentra listo para su desarrollo.

Cuando una rejilla se hace descender por el método de achicamiento, es aconsejable proseguir con el trabajo tan ininterrumpidamente como sea posible. Si hay que detener la labor durante cierto período de tiempo, la arena de la formación podría compactarse alrededor de la rejilla y causar tal fricción que impida posteriores movimientos descendentes de la rejilla.

Si se encuentra grava gruesa, resulta imposible del todo continuar con este procedimiento. Deberán entonces introducirse herramientas de perforación por dentro de la tubería de extracción para perforar por debajo del extremo inferior de la rejilla e ir aflojando el material grueso o desmoronando los guijarros.

Si las muestras de la formación que se obtengan de un pozo de investigación o de un pozo piloto indican que a la profundidad a la que se va a colocar la rejilla no existe arcilla firme o roca en donde pueda asentarse ésta, se recomienda proveer alguna tolerancia por cualquier colocación errónea.

4.3.4. Método de lavado o de chorro.

En éste método primero se coloca el ademe hasta la profundidad que se desea, tal como en el método anterior.

La rejilla se acondiciona con un fondo de cierre automático, al cual se conecta una sarta de tubería (usualmente tubería de perforación) la que a su vez se

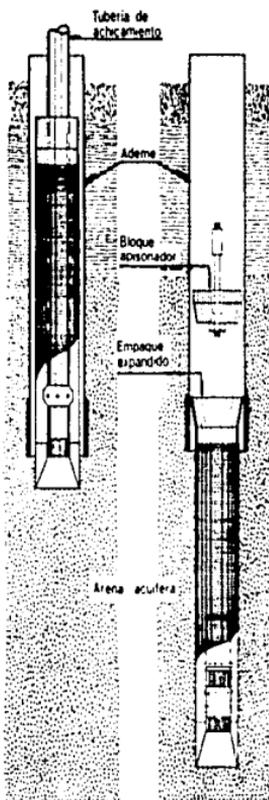


FIG. 4.19 Método de achicamiento.

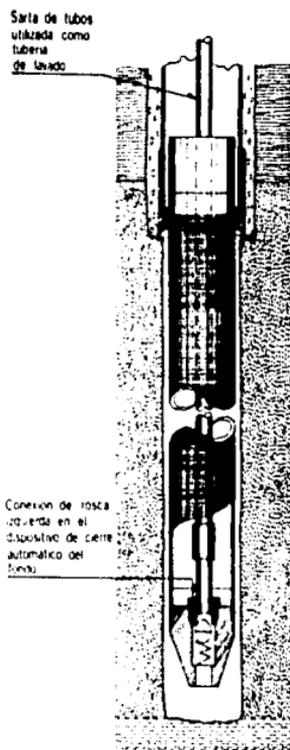


FIG. 4.20 Método de lavado.

usa como conducto de lavado. La rejilla se hace descender por dentro del ademe y se bombea entonces un intenso chorro de lodo de perforación de peso ligero, o agua, a través de la tubería de lavado. Se necesita una bomba que suministre una presión bastante alta, para producir un chorro de fluido de gran velocidad, que pase a través del cierre automático instalado en el fondo. La acción del chorro afloja la arena y permite que la rejilla se asiente. La arena es llevada hacia arriba en derredor de la rejilla y sale por dentro del ademe junto con el flujo de retorno del fluido. Las partículas de arena más gruesas que inevitablemente se acumulan en la rejilla, deben quitarse por lavado una vez que está en su posición final.

Cuando la rejilla descansa en el fondo, debe bombearse agua limpia a través del conducto de lavado y continuar con la circulación a velocidad más reducida, para eliminar cualquier costra de lodo que se hubiese formado en la pared de la rejilla durante la operación a chorro. Es esencial que la formación se derrumbe alrededor de la rejilla para que ésta quede aprisionada y pueda desenroscarse la tubería de lavado.

Cuando se trata de pozos pequeños con profundidades de hasta 120 m. se fija la rejilla directamente al ademe. En estos pozos la operación de lavado, aunque no absolutamente necesaria, se prefiere debido a las mismas razones por las cuales se emplea cuando se instalan rejillas en pozos más grandes.

En formaciones arenosas, la acción del chorro hará que la sarta de ademe y rejilla vaya penetrando dentro del acuífero. En estas condiciones, la rejilla puede emplazarse en la posición que se desea sin necesidad de haber perforado previamente, a base de lodo, un agujero dentro de esa parte de la formación. Como se necesita mantener una circulación estacionaria del fluido, el límite satisfactorio de penetración por este sistema resulta ser aproximadamente igual a la longitud de un tramo de tubería de ademe.

Una parte del agua inyectada, quizá un 5 por ciento de la cantidad que se está bombeando, se filtra por la periferia del fondo en la tubería de lavado y se escapa hacia afuera por las aberturas de la rejilla. Esto se hace adrede para evitar que la arena fina pase hacia la rejilla durante la operación. Si se mantiene un pequeño y continuo flujo de agua hacia afuera de las aberturas de la rejilla, se reduce la posibilidad de que la arena atasque la tubería de lavado que se halla por dentro de aquélla.

Cuando la rejilla ha descendido hasta la posición requerida, la tubería de lavado se retira del pozo. Conforme la tubería se va levantando, el acople de su extremo inferior arrastra consigo el sello anular superior, de manera que la

tubería y el sello son extraídos conjuntamente.

Una vez que la tubería de lavado ha sido retirada, el pozo puede ser desarrollado por pistoneo contra lavado u otro tipo de agitación.

4.4. SUMINISTRO Y COLOCACION DEL FILTRO DE GRAVA-ARENA.

En la mayor parte de las formaciones constituidas por materiales granulares, existe un porcentaje variable de granos finos, que durante el bombeo del pozo tienden a ser arrastrados hacia el interior del ademe, y, posteriormente, arrojados por la bomba. Si la cantidad de finos existentes en las vecindades del pozo es grande, y durante el bombeo se arrastran significativamente, tendrán consecuencias catastróficas, ya que en el mejor de los casos, el equipo de bombeo resultará destruido en sus partes más vitales por la abrasión derivada de los sólidos bombeados; pero lo más frecuente será que el pozo lleque a un total fracaso por rotura o aplastamiento, derivado de las formaciones vecinas, que pueden llegar a dejar atrapado el equipo de bombeo.

Para evitar estas funestas consecuencias, es necesario adoptar medidas encaminadas a impedir un immoderado arrastre de sólidos, las cuales pueden consistir en un codazo debidamente proyectado o la utilización de un filtro de grava colocado en el espacio anular que para el efecto se dejará entre las paredes de la formación y el ademe del pozo.

Hay casos en las mismas formaciones crean su filtro de grava natural, pero eso se presenta en forma eventual y en materiales en los que existe la granulometría adecuada.

Un pozo acondicionado con un filtro artificial de grava, difiere de otro que haya sido desarrollado naturalmente, en que en el primero se coloca una envoltura alrededor de la rejilla, formada por arena o grava de gradación especial, en un intervalo predeterminado. Este filtro sustituye a la zona hidráulicamente gradada y de alta permeabilidad que se forma con el procedimiento convencional de desarrollo. Ambos tipos de pozos, si se han construido adecuadamente son eficientes y estables.

4.4.1. Suministro del material para filtros.

Como quedó mencionado, el material que se requiere para formar los filtros protectores de los pozos (ya sea grava, arena o una combinación de ambas) es de una

granulometría muy limitada, y dentro de márgenes de tolerancia muy estrechos, lo cual origina que frecuentemente sea difícil encontrar bancos de préstamo en los que los desperdicios sean reducidos. Lo más común es que se tengan elevados desperdicios, lo cual aumentará considerablemente los costos por suministro.

4.4.2. Colocación del filtro.

Un aspecto importante de la colocación de los filtros es el referente al uso de un método que impida la separación de las partículas gruesas y finas que forman la mezcla gradada.

Un filtro de grava formado por material de gradación uniforme, es menos susceptible de segregarse severamente, que otro de material no uniforme y con amplio rango de tamaños de partículas. Las mezclas de arena y grava, con un coeficiente de uniformidad mayor que 2.5, resultan difíciles de colocar, sin que exista una separación inconveniente de sus partes fina y gruesa. Sabiendo que una partícula esférica de un diámetro dado desciende por dentro del agua a una velocidad cuatro veces mayor que otra partícula similar de la mitad del tamaño. Por ello, el material de un filtro de grava que tiene una gradación uniforme desde 1.58 hasta 3.16 mm, los granos de 3.16mm, descendiendo dentro del agua como elementos aislados, llegarían al fondo del pozo en la cuarta parte del tiempo que necesitarían los granos menores de 1.58 mm.

La colocación de la grava se hace mediante el uso de un tubo de conducción o un embudo. Para ello, se hace bajar una sarta de tubos de 5 cm o mayores, por dentro del espacio anular que se va a rellenar. En el punto en que se va a alimentar se coloca una tolva. Conjuntamente con la grava se abastece suficiente agua para contribuir a evitar el que la grava deje vacíos dentro del tubo.

La grava puede ser bombeada a través de la tubería conductora, en lugar de introducirse por gravedad mediante corriente de agua.

El embudo se va levantando conforme el nivel del material del filtro va envolviendo a la rejilla. La misma sarta de tubería sirve para palpar el nivel superior del material y para medir la profundidad que este ha alcanzado, conforme progresa el trabajo.

Cuando simplemente se arroja la grava al espacio anular desde la superficie, tiene lugar la separación de tamaños de las partículas finas y gruesas, conforme el material se va sedimentando en el agua o en el lodo.

Estas dificultades se pueden vencer invirtiendo la circulación del fluido

dentro del pozo, conforme se va depositando la grava en el espacio anular. Para aplicar este procedimiento, se debe agregar agua para mantener lleno el agujero, conforme el fluido es bombeado desde el interior del ademe. El agua arrastra la grava hasta el fondo, mientras fluye hacia abajo por el exterior del ademe. En tanto que la grava va llenando el espacio alrededor de la rejilla, el agua pasa a través de las aberturas de ésta y fluye hacia arriba hasta alcanzar la sección de la bomba, en el extremo superior del pozo.

Durante la operación, debe observarse cuidadosamente el manómetro, manteniendo constante el flujo de arena y agua. Tan pronto como el nivel del material ha rellenado el extremo superior de la rejilla principal, la presión aumentará un poco. A esto sigue un repentino aumento de presión cuando el material llega a rellenar hasta la altura de la corra rejilla indicadora.

En este momento, el operador debe interrumpir la alimentación de grava. Conociendo la razón de alimentación de grava y el volumen de agua contenido en el espacio anular, desde la superficie hasta el extremo superior de la rejilla indicadora, el operador sabe exactamente cuántos kilogramos de grava están aún cayendo con el agua en ese instante. Mediante estos datos, se puede calcular la elevación que ha alcanzado el nivel superior del filtro de grava o si el material ha sido arrastrado hasta el espacio que se haya alrededor de la tubería de extensión por encima de la rejilla indicadora.

4.5. DESARROLLO Y ESTIMULACION DE POZOS.

El desarrollo de un pozo comprende todas aquellas etapas de su complementación encaminadas a eliminar los materiales finos del acuífero y, como consecuencia, a limpiar, abrir o ensanchar los pasajes de la formación, de modo que el agua pueda entrar al pozo más libremente. El desarrollo constituye una labor esencial del verdadero acabado de un pozo de agua. Al ser desarrollado, éste alcanza su máxima capacidad, ya que se obtienen casi en su totalidad, tres ventajas, a saber:

1. El desarrollo repara cualquier daño u obstrucción que haya sufrido la formación como consecuencia derivada de los efectos de la perforación.
2. El desarrollo aumenta la porosidad y la permeabilidad de la formación natural en los alrededores del pozo.
3. El desarrollo estabiliza la formación granular en torno a la rejilla, de manera que el pozo descarga agua libre de arena.

Estos resultados se pueden obtener en los pozos perforados dentro de formaciones no consolidadas, si éstos se han enrejillado adecuadamente y se aplican correctamente los procedimientos de desarrollo. Las primeras dos ventajas pueden obtenerse también en aquellos pozos construidos en formaciones consolidadas, cuando los métodos utilizados resultan aplicables a este tipo de roca. El tercer punto no guarda relación con los pozos perforados en roca.

Un pozo acondicionado con una rejilla moderna, destinado a obtener agua de un acuífero arenoso, puede completarse de dos maneras: una mediante un desarrollo natural, con el que se logra que el procedimiento en sí utilice los mismos materiales del acuífero para formar una zona de alta permeabilidad en torno al pozo; y la otra es mediante un desarrollo con filtro artificial de grava. En un pozo desarrollado naturalmente, la completación consiste en la eliminación de sus partículas más finas de la formación acuífera, permitiéndoles entrar al pozo a través de las aberturas de la rejilla y ser luego extraídas por achicamiento o bombeo. El proceso de desarrollo debe continuarse hasta que cese el desplazamiento de los finos desde la formación y ésta se encuentre estabilizada, impidiendo así cualquier movimiento posterior de la arena. La remoción de las partículas más finas deja en su lugar una zona desarrollada naturalmente, constituida por arena o grava uniformemente gradada que rodea al pozo y tiene una alta porosidad y permeabilidad. En consecuencia, el agua puede desplazarse hacia el pozo a través de esta zona con una pérdida de carga casi despreciable.

Como hemos visto el desarrollo consiste en operar el pozo para extraer los restos de lodos y fragmentos de la perforación, estabilizar las arenas del acuífero y tratar de obtener el mayor caudal específico posible. En tanto que la estimulación consiste en producir cambios en el acuífero, ya sea por medios mecánicos, químicos u otros, para reducir la resistencia al flujo.

El desarrollo en materiales granulares no consolidados se hace para eliminar los materiales finos de la cercanía del pozo y facilitar la circulación del agua hacia el mismo en la zona donde las velocidades (y las pérdidas) son mayores. Para un buen desarrollo es necesario que las ranuras del ademe estén bien diseñadas. Durante el desarrollo se permite que pase del 40 al 70 % del material más fino de la formación; el material retenido formará entonces un filtro natural. En general, los pozos con filtro natural además de ser más económicos, suelen funcionar mejor que los pozos con filtro artificial en lo que respecta a duración y seguridad de operación. En materiales consolidados el objetivo del desarrollo es limpiar las grietas y fisuras del lodo, residuos de perforación y otros materiales que los

puedan obstruir, tales como arena e incluso cristalizaciones.

Muy a grandes rasgos podemos mencionar los pasos que, en conjunto, constituyen el proceso de desarrollo completo para pozos en materiales granulares:

1.- Inmediatamente después de terminar de instalar el pozo, se procederá a limpiar perfectamente el interior del mismo, extrayendo todos los materiales y lodos que hayan quedado procedentes de la perforación y maniobras de engravado y cementación.

Esta labor se ejecutará mediante cucharas cuando el equipo sea de percusión, o mediante circulación de agua limpia con la bomba de lodos cuando el equipo sea rotatorio y mediante sifoneo.

2.- A continuación y si el caso lo requiere, se efectuará un tratamiento a base de dispersores de arcillas, siguiendo la secuela que marque el instructivo del fabricante.

3.- Una vez terminado el tratamiento anterior, se procederá a "pistonear" el pozo, utilizando un pistón debidamente ajustado al diámetro por medio de empaques de hule o cuero a fin de realizar una agitación enérgica.

Más adelante se describen los diferentes métodos de desarrollo o agitación de pozos.

4.- Una vez terminada la limpieza del pozo, se dejará reposar durante varios días con el objeto de que el agente dispersor de arcillas complete su acción.

5.- A continuación se sujetará el pozo a un bombeo de desarrollo, utilizando un equipo con capacidad suficiente para extraer el caudal que en cada caso se indique.

6.- El bombeo se iniciará con el caudal menor de que sea capaz el equipo instalado y se irá incrementando gradualmente por etapas, hasta alcanzar el máximo caudal posible. Cada etapa durará hasta que el agua salga limpia, es decir, sin sólidos en suspensión, durante una hora, salvo la etapa de caudal máximo en que la duración será de dos horas.

En cada etapa, una vez que el agua salga limpia durante el tiempo especificado, se procederá a agitar el pozo provocando cambios bruscos interrumpiendo el bombeo y volviendo a efectuarlo con el mismo caudal, hasta que después de realizar esta maniobra un mínimo de cinco veces en ningún momento se presenten turbiedades, pudiendo entonces pasar a la siguiente etapa y con esa misma secuela hasta la última, cuyo caudal debe ser superior al caudal de operación que se proyecte.

Cabe repetir que todas estas operaciones deberán realizarse inmediatamente después de terminar la construcción del pozo, pues si se deja pasar el tiempo, la

invasión de lodos en los acuíferos y la tixotropía de la bentonita impiden su extracción adecuada, reduciendo el caudal y eficiencia de los pozos.

4.5.1. Métodos de desarrollo.

A continuación mencionaremos algunos métodos que los perforistas utilizan comúnmente para realizar el desarrollo de un pozo.

Agitación mecánica.

Una manera efectiva de agitar el agua dentro de un pozo, es la de desarrollar la formación acuífera mediante el desplazamiento hacia arriba y hacia abajo por dentro del ademe, de un émbolo, a la manera de un pistón dentro de un cilindro.

Muchos perforadores confían grande o totalmente en los émbolos para desarrollar los pozos con rejilla. Algunos otros creen que este dispositivo no es efectivo y que incluso, en algunos casos, puede ser perjudicial. No obstante, el bloque de pistones es la herramienta que más se usa para el desarrollo, especialmente por los perforadores a percusión.

Los bloques de agitación producen algunas veces efectos inconvenientes cuando el acuífero contiene venas de arcilla o bolas del mismo material. La acción del émbolo puede causar que la arcilla se adhiera a la superficie de la rejilla. Cuando esto ocurre, el rendimiento tiende a reducirse en lugar de aumentar. Se presenta también un pelleteo, y es el que la agitación por este método puede producir altas diferencias de presión que pueden ocasionar el colapso de la rejilla, si ésta se halla parcial o totalmente obstruida por arcilla o lodo.

Agitación con aire.

El aire comprimido puede utilizarse con eficacia como herramienta de desarrollo. Muchos son los perforadores que llevan a cabo con aire, todos sus trabajos de desarrollo. Para lograr lo anterior, se utiliza un inyector de aire con su tubería de inyección por dentro del tubo reductor o de bombeo, instalada dentro del pozo.

El equipo que se necesita para la aplicación de este procedimiento, es el siguiente:

- Un compresor de aire y su tanque, del tamaño apropiado.

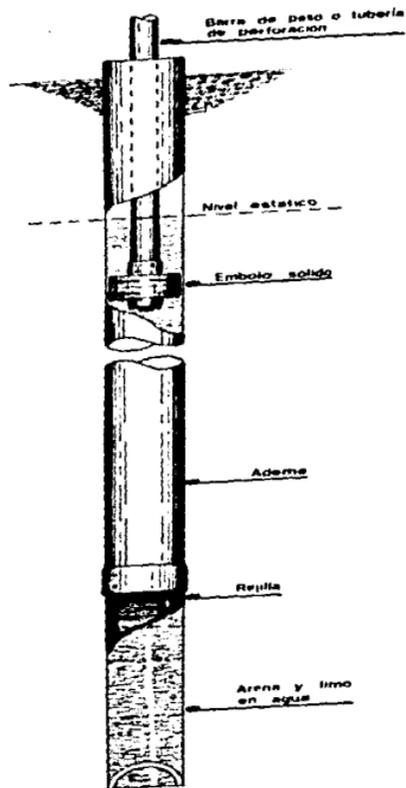


FIG. 4.21 Desarrollo por agitación mecánica.

- Tubería de bombeo y de aire dentro del pozo, con medios de levantar y hacer descender cada una independientemente.

- Una manguera de aire, flexible, de alta presión, que permita levantar y bajar la línea de aire dentro del pozo.

- Un manómetro y una válvula de alivio como precaución contra una sobrecarga accidental.

- Una válvula de apertura rápida a la salida del tanque, para regular el flujo de aire.

El compresor deberá estar en capacidad de desarrollar una presión no menor de 7 Kg/cm² y preferiblemente de 10 Kg/cm². Una regla empírica, aproximada pero útil, para determinar la capacidad apropiada del compresor, es la de disponer de unos 5.6 litros de aire libre, por cada litro de agua, de la descarga prevista de bombeo.

El desarrollo por aire comprimido produce óptimos resultados cuando la relación de sumergencia de la línea es de alrededor de un 60 %. Esto equivale a la proporción de línea de aire que se halla por debajo del nivel del agua cuando se está bombeando.

Para calcular la sumergencia, se divide la longitud de la línea de aire que se encuentra por debajo del agua, por su longitud total. Si, por ejemplo, la línea de aire tiene una longitud total de 60 m., y el nivel estático del agua se halla a 20 m. por debajo del terreno, la longitud sumergida es de 40 m. La relación de sumergencia estática será entonces de:

$$40/60 = 0.66 \text{ ó } 66 \%$$

Si la inyección de aire da comienzo y el nivel de agua desciende hasta 24 m., la longitud sumergida será esta vez de 36 m., y la relación de sumergencia dinámica resulta ser de:

$$36/60 = 0.60, \text{ ó sea, } 60 \%$$

Aún con una sumergencia tan baja como 30 %, un perforador diestro puede obtener resultados razonablemente buenos.

Al dar inicio al desarrollo, se hace descender, la tubería de aire unos 60 cm. por debajo del extremo inferior de la rejilla. La línea de aire se coloca de modo que su extremo inferior quede situado a unos 30 cm. o más, por encima del extremo inferior de la tubería de educción. Desquidamente, se inyecta aire a la línea correspondiente, y se bombea el pozo de la manera convencional del procedimiento, hasta que el agua parezca estar libre de arena. A continuación, se cierra la válvula instalada a la salida del tanque, permitiendo que la presión del aire

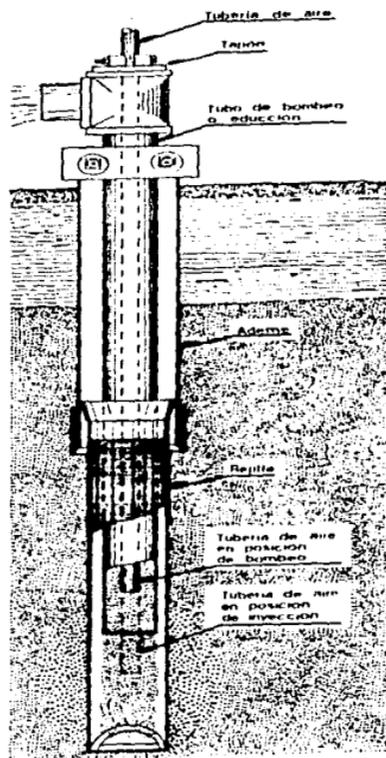


FIG. 4.22 Desarrollo por agitación con aire.

dentro de éste subs hasta 7 o 10.5 Kg./cm . Entretanto, se hace descender la tubería de aire de modo que su extremo inferior quede situado a unos 30 cm. o algo así, por debajo del extremo inferior de la tubería de descarga. Acto seguido se abre rápidamente la válvula, permitiendo así que el aire contenido en el tanque irrumpe rápidamente en el pozo. Esto tenderá a desplazar el agua hacia afuera, a través de las aberturas de la rejilla. Por lo general, una corta, pero enérgica carga de agua, rebosará al mismo tiempo o será lanzada fuera del ademe y de la tubería de bombeo, hacia la superficie del terreno. Si la tubería de aire es levantada por dentro del tubo de bombeo, una vez que la primera carga de aire es lanzada dentro del pozo, el eyector de aire bombeará de nuevo, invirtiendo el flujo y completando así el ciclo de agitación.

El pozo se bombea por inyección de aire durante un tiempo corto, lanzando una nueva carga de aire con la tubería situada por debajo de la tubería de reducción y levantando de nuevo la línea de aire, para que prosiga el bombeo. Estos ciclos de agitación se repiten hasta que el agua se halle relativamente libre de arena o de otras partículas finas. Cuando esto tiene lugar, el desarrollo está llegando a su término, en la región cercana al extremo inferior de la tubería de inyección.

Luego se levanta el conjunto hasta una posición situada a unos pocos metros más arriba, y se repiten las mismas operaciones. De esta manera, se logra desarrollar en intervalos consecutivos, toda la longitud de la rejilla. Finalmente, todo el conjunto para inyección de aire, se hace descender hasta su posición original cerca del fondo del agujero, y se opera cual si fuera una bomba, para eliminar cualquier cantidad de arena que se hubiese acumulado dentro de la rejilla.

Sobrebombeo.

Constituye el procedimiento más sencillo para eliminar los finos de la formación acuífera. El sobrebombeo implica el bombear el pozos con un caudal notablemente superior al que se vaya a extraer al ponerlo en servicio. Esto tiene cierta ventaja, puesto que cualquier pozo que se halla en capacidad de ser bombeado a un caudal mayor puede bombearse a una razón menor sin ningún peligro o dificultad.

Sin embargo, se le han hecho objeciones a este método de desarrollo que, por lo general, se han pasado por alto. El sobrebombeo puede ocasionar que algunos de los granos de arena queden suspendidos en forma de arco dentro de la formación, y por lo tanto, que ésta se halle estabilizada sólo parcialmente, además de que el

sobrebombeo necesita, comunmente, de un equipo de bombeo de gran capacidad que no siempre se encuentra convenientemente disponible.

Resulta una cuestión muy sencilla el sobrebombeo de pozos pequeños o de acuíferos pobres, pero cuando se deben extraer grandes cantidades de agua, puede que sea difícil obtener un equipo de amplia capacidad a un costo razonable. El mismo equipo que se pretende utilizar regularmente en el pozo puede emplearse para realizar el sobrebombeo. Dependiendo del tipo de bomba, ello puede lograrse ya sea operando ésta a una velocidad mayor, o permitiendo que la misma descarque en la superficie, a una presión menor que la presión normal de operación.

Existe una seria objeción a que se lleve a cabo este trabajo mediante el uso de la bomba permanente. Si se va a extraer una cantidad considerable de arena junto con el agua, la bomba estará sometida a un desgaste excesivo, lo que reduce su eficiencia. En condiciones muy severas, la bomba podría quedar aprisionada por la arena. Si esto ocurre, la bomba deberá ser retirada, desarmada y limpiada cuidadosamente, antes de volverla a poner en servicio.

El sobrebombeo, por sí solo, rara vez alcanza un resultado óptimo sin llegar a la estabilización total de la formación acuífera.

Lavado a contracorriente.

Se basa en el valván, oleaje o agitación del agua en el acuífero en la zona cercana al pozo. El efecto agitador o la inversión de flujo necesarios para desarrollar la formación, se pueden obtener mediante tres o cuatro métodos de lavado.

Uno de los métodos es por medio de un bombeo intermitente. Consiste en levantar, por bombeo, el agua en forma alternada, hasta la superficie y dejar luego que caiga de nuevo en el pozo a través de la columna de la bomba.

Para esto se utiliza una bomba de turbina vertical. Esta empieza a funcionar, pero tan pronto como el agua es levantada hasta la superficie del terreno, se debe interrumpir su funcionamiento. En esta forma, el agua contenida en la columna de la bomba desciende bruscamente. Se vuelve a poner en funcionamiento la bomba, y de nuevo se hace detener tan rápido como lo permitan el motor y los mecanismos de arranque. El efecto que se logra es el de un ascenso y descenso intermitente del nivel del agua dentro del pozo, lo que produce un aflujo y eflujo a través de las aberturas de la rejilla.

Durante el proceso, puede bombearse normalmente el pozo de vez en cuando para

expulsar la arena que haya sido atraída por la agitación producida.

Debe tenerse cuidado de no trabajar sumamente rápido, por el peligro de que la bomba quede aprisionada por la arena. El bombeo debe iniciarse a capacidad reducida, y aumentarse gradualmente hasta alcanzar la plena capacidad, antes de dar comienzo a la agitación.

4.5.2. Métodos de estimulación.

Este tipo de actividad se realiza en formaciones calizas, ya que teniendo en cuenta que la permeabilidad en esta clase de formaciones la proporcionan canales de disolución y/o fracturas, puede ocurrir que una perforación atraviese fracturas o canales de suficiente amplitud como para proporcionar un caudal aceptable, compatible al costo de tales pozos, y con un nivel dinámico razonable. Pero en la mayoría de los casos se atraviesan grietas de espesor relativamente pequeño, en cuyo caso resulta recomendable estimular el pozo mediante un tratamiento que permita ampliar las grietas hasta su conexión con otras mayores para obtener mayor caudal con abatimientos razonables.

El tratamiento de estimulación comúnmente se efectúa con equipo de tipo petrolero. Los métodos más usados para la estimulación son: por acidificación, por explosivos o por fracturación hidráulica.

Estimulación por acidificación.

Este método consiste en atacar al material del acuífero cuando éste está constituido por carbonatos, mediante el empleo de ácido (generalmente ácido clorhídrico). Dicho ácido disuelve rápidamente la caliza y aumenta la permeabilidad. El pozo debe limpiarse lo más pronto posible para evitar que se redepositen el calcio y el magnesio al descender la acidez.

Muy a grandes rasgos podemos decir que el trabajo de estimulación por acidificación, muchas de las veces requiere el empleo de dos o más ácidos a la vez. Por esta razón es importante mencionar los pasos que conyeva este proceso. Aproximado la estimulación por acidificación consiste en:

- 1.- Colocar un empaque a la profundidad determinada por las pruebas selectivas de permeabilidad y por los registros utilizados, comprobando adecuadamente la efectividad del sello para las presiones que se utilizarán.
- 2.- Inyectar en el tramo permeable del pozo, a través del empaque, 1500 litros de

nitrógeno líquido como mínimo que sirva como colchón delantero a fin de garantizar la expulsión posterior de los materiales precipitados al finalizar el tratamiento.

3.- Inyectar a continuación un mínimo de 19,000 litros de ácido clorhídrico concentrado al 26 por ciento, utilizando inhibidores que no sean tóxicos.

En caso de que se sospeche de que las fracturas en la roca caliza estén rellenas con materiales arcillosos, se utilizará una combinación de ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico en la proporción que se fije en cada tratamiento particular.

Tanto el ácido clorhídrico como el fluorhídrico deberán tener un retardador de una hora, con el objeto de que empiecen a reaccionar cuando hayan penetrado en su totalidad dentro de la formación.

4.- Inyectar nitrógeno líquido en la cantidad necesaria, de acuerdo a la profundidad en que se encuentre anclado el empaque, con el objeto de desplazar e inyectar totalmente el ácido clorhídrico al acuífero.

5.- A continuación se cerrará la válvula superior de la tubería de 50 mm (2") y se observará durante 15 minutos si no se presenta efervescencia en el espacio anular arriba del tapón. Si se presenta esa efervescencia, se abrirá la válvula y se dejarán salir todos los líquidos de tratamiento.

6.- En caso de no producirse la efervescencia en el espacio anular, se dejará cerrada la válvula durante otros 15 minutos más, observando en el manómetro los cambios de presión. En caso de producirse un cambio de presión, deberá cuidarse de que ésta no sobrepase los 210 kg/cm², en cuyo caso se abrirá parcialmente la válvula.

7.- Una vez transcurridos los treinta minutos que en total durará el tratamiento, se abrirá totalmente la válvula hasta que cese el flujo hacia el exterior, tomando muestras del fluido expelido para verificar si hay precipitados de cal.

8.- Inmediatamente después de terminado el tratamiento de estimulación, se instalará un equipo de bomba con capacidad adecuada para limpiar el pozo de todos los precipitados que pudieran haber quedado en el acuífero después de haber fluido por efecto del nitrógeno, así como para efectuar un segundo desarrollo y aforo en el pozo.

Se considerará terminado el trabajo de estimulación cuando se obtenga agua completamente limpia durante una hora continua al máximo caudal que pueda proporcionar la bomba y que no se presenten turbiedades con cambios bruscos de caudal.

El aforo del pozo se iniciará en el momento en que la recuperación del nivel del agua en el mismo sea de un 80 por ciento como mínimo. Este aforo tendrá una duración mínima de 72 horas y en su proceso se tomarán las lecturas de acuerdo con el instructivo respectivo.

Estimulación con explosivos.

Es una técnica usada más en pozos petroleros que en los de extracción de agua. Es muy útil en formaciones consolidadas para arrancar incrustaciones de las rejillas; dado el aumento de volumen por explosión se provoca un aumento del diámetro del pozo por demolición del material a su alrededor y la aparición de fracturas radiales cerca del lugar de la detonación.

La estimulación con explosivos se debe aplicar solamente en acuíferos de roca dura en que la permeabilidad dominante sea la de fisuración, pues los explosivos pueden resultar contraproducentes en acuíferos que contengan nódulos o capas de arcilla.

Estimulación por fracturación hidráulica.

Es un método de estimulación de pozos perforados en rocas duras. Consiste en inyectar agua a elevada presión para crear y dilatar fisuras evitando que se cierren de nuevo introduciendo arena o vidrio. La presión de fracturación es proporcional a la profundidad. El pozo debe estar muy bien cementado para evitar que el agua escape a formaciones suprayacentes.

4.6. SELECCION Y CARGA DEL EQUIPO DE BOMBEO.

La perforación y terminación de un pozo sólo constituye una parte de la solución al problema de la obtención de agua en cantidad suficiente. Generalmente, se requiere el agua para usarla a alturas algo mayores que la del pozo y, a menudo, a distancia apreciable del mismo. Por lo tanto, debe encontrarse algún medio de elevarla desde la fuente y esforzarla a través de un tubo, a velocidades adecuadas, hasta los puntos y alturas de empleo. Esta ayuda se recibe bajo la forma de una bomba adecuada. Es importante que la bomba sea adecuada, seleccionada sobre la base de la demanda que debe satisfacer y la capacidad del pozo para producir agua. No

puede ni debe ser cualquier bomba, ya que, en tal caso no es probable que se cubran las necesidades requeridas.

En este apartado haremos una rápida mención de los tipos de bombas pero enfocados más al caso que nos atañe, los pozos profundos. Sabemos que existe una gran variedad de tipos de bombas, aunque algunos autores las dividen en dos clases, a saber las bombas de desplazamiento constante y las bombas de desplazamiento variable, y de ahí se derivan todos los demás tipos que se conocen en el mercado.

Cabe hacer la aclaración pertinente de que las bombas por sí solas no desarrollan energía alguna. Debe proveerse de alguna fuente externa de energía para accionar una bomba y lograr que eleve y fuerce el agua desde un punto hasta otro. Las bombas de pozo profundo pueden definirse como las que se colocan dentro de los pozos y se emplean para elevar agua desde profundidades generalmente mayores de 25 pies (7.6 m) bajo la superficie del suelo. Pueden ser de desplazamiento positivo (pistón y rotor helicoidal) y de desplazamiento variable (centrífugas y de chorro) por lo que respecta al diseño. Sin embargo, las bombas de pozo profundo se clasifican, además, según la posición de su fuente de energía. Si esta está situada en la superficie del suelo o sobre él, y se requiere por consiguiente de la transmisión de la fuerza impulsora, a través de un largo eje, hacia la bomba en el pozo, entonces la bomba se conoce como de eje maestro vertical. Las bombas de eje maestro pueden moverse indistintamente por medio de motores eléctricos acoplados directamente o por máquinas o motores eléctricos a través de cabezales de transmisión a ángulo recto.

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

4.6.1. Datos necesarios para la selección del equipo.

La selección adecuada de una bomba para su instalación en un pozo comprende la consideración de varios factores, muy a grandes rasgos el primero de ellos debe ser, necesariamente, el rendimiento de un pozo, puesto que no es posible extraer más agua de un pozo que la capacidad determinada por su rendimiento máximo.

Con el conocimiento de capacidad específica y las demandas estimadas de agua, se puede seleccionar después el régimen de bombeo adecuado tomando en consideración la provisión de almacenamiento. El siguiente paso lógico es la estimación de la carga total de bombeo, la cual, con el régimen correspondiente, determina la capacidad de la bomba seleccionada. Entonces puede determinarse la carga total de bombeo, agregando la altura total vertical, del nivel de bombeo del agua al punto de entrega del líquido y las pérdidas totales por fricción que ocurren en la tubería de succión y descarga.

Ahora bien, y basándonos en un manual de selección y aplicación de bombas para pozos profundos tenemos que considerar todos los siguientes elementos para una buena selección del equipo. Los siguientes son considerados los datos necesarios para la selección del equipo de bombeo para pozos profundos:

- Referencia. Es el plano horizontal definido sobre el cual asienta el cabezal de descarga. Algunas veces la línea de centro de la descarga es referida como la referencia y es aceptable, pero la distancia vertical entre la línea de centro de la descarga y el asiento del cabezal de descarga debe ser considerada.
- Diámetro de adome. Es indispensable conocer el diámetro de adome del pozo en donde se va a instalar el equipo de bombeo, ya que éste diámetro limita el tamaño de la bomba que se puede meter en él. Generalmente el diámetro exterior del cuerpo de tazonas del equipo es de 5.08 cm (2") menor, o sea, que habrá 2.54 cm (1") entre la pared del tubo y el cuerpo de tazonas, lo cual permite en pozos verticales que el equipo entre libremente.
- Capacidad requerida de la bomba. Cuando las bombas se requieren para riego por lo regular se considera un litro por segundo, pero cuando se trata del abastecimiento de agua para consumo humano, doméstico y/o industrial entonces se determina de acuerdo al número de población que lo requiera.
- Nivel estático. Es la distancia vertical entre la referencia y la superficie del agua cuando NO está operando.
- Nivel dinámico o nivel de bombeo. Es la distancia vertical entre la referencia y la superficie del agua cuando la bomba está en operación.
- Abatimiento. Es la diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico.
- Costo. Es la cantidad de líquido que se bombeará.
- Carga estática. Es la distancia vertical que el líquido debe ser elevado sobre la referencia.
- Carga de succión. Es la distancia vertical entre la referencia y el nivel dinámico (no incluye pérdidas por fricción en la columna).

- Carga de velocidad. Es la energía cinética del líquido, en unidad de longitud de carga, por unidad de peso.
- Carga sobre la referencia. Es la energía estática más las pérdidas por fricción a través de la línea de descarga y accesorios más la carga de velocidad.
- Carga total de la bomba. Es igual a la carga de succión más la carga sobre la referencia.
- Pérdidas por fricción en la columna. Son las pérdidas por fricción, en pies de carga, a través de la columna y depende directamente del gasto, longitud, diámetro de columna y flecha seleccionada.
- Pérdidas por fricción en el cabezal de descarga. Estas pérdidas usualmente son muy pequeñas y pueden ser ignoradas.
- Carga total de los tazones o carga de laboratorio. Es la carga, en pies, sobre los tazones de la bomba y es igual a la carga total de la bomba más las pérdidas de fricción en la columna.

$$\text{CARGA TOTAL DE LOS TAZONES.} \quad + \quad \text{CARGA TOTAL DE LA BOMBA.} \quad + \quad \text{PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LA COLUMNA.}$$

- Eficiencia de los tazones o eficiencia de laboratorio. Es la eficiencia indicada en la curva de comportamiento del tazón, incluyendo y aplicando correcciones. Esta curva es dada por los fabricantes.
- Gravedad específica. Es un término relativo que expresa la densidad de los fluidos haciendo referencia al agua a una temperatura de 39.2°F. La gravedad específica del agua es de 1.0.

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA} = \frac{\text{DENSIDAD DEL LÍQUIDO A BOMBLEAR (lb/ft³)}}{\text{DENSIDAD DEL AGUA (lb/ft³)}}$$

- Potencia de los tazones o potencia de laboratorio. Es la potencia requerida por la flecha de los tazones al multiplicar el gasto requerido por la carga total de los tazones y se define con la siguiente fórmula:

$$\text{POTENCIA DE TAZONES} = \frac{\text{CARGA TOTAL DE LOS TAZONES} \times \text{GASTO (G.P.M.)}}{3300 \times \text{EFICIENCIA DE LOS TAZONES}} \times \text{GRAVEDAD ESPECÍFICA}$$

- Pérdidas en la flecha. Son las pérdidas mecánicas por fricción entre las chumaceras y la flecha, medidas en HP. Dichas pérdidas en la flecha están determinadas en la "Tabla de pérdidas por fricción en flechas" y están indicadas en HP por cada 100 pies de flecha.
- Potencia al freno o potencia de campo. Es la potencia requerida en la flecha superior y es igual a la potencia de los tazones más las pérdidas por fricción

mecánica en la flecha.

POTENCIA AL FRENO = POTENCIA DE LOS TAZONES + PERDIDAS EN LA FLECHA.

- Eficiencia de campo de la bomba. Es la eficiencia de la bomba completa con todas las pérdidas tomadas en cuenta.

$$\text{EFICIENCIA DE CAMPO DE LA BOMBA} = \frac{\text{CARGA TOTAL DE LA BOMBA (FL) X GASTO (CFM) X GRAVEDAD ESPECIF. DE LA BOMBA.}}{9660 \times \text{POTENCIA AL FRENO.}}$$

- Viscosidad del líquido. Es una medición de las fricciones internas del mismo las cuales tienden a resistir su flujo. El rendimiento de la bomba vertical de turbina es afectada cuando maneja líquidos viscosos.

- Carga axial total de la bomba. Está compuesta por el peso de las partes rotativas de los tazones, el peso de la flecha de transmisión y el empuje hidráulico del líquido al ser bombeado. La carga axial total es igual a:

$$\text{CARGA AXIAL TOTAL DE LA BOMBA} = K_1 (\text{CARGA DE LOS TAZONES}) + K_2 \left(\frac{\text{NÚMERO DE PASOS}}{\text{PASES}} \right) + K_3 \left(\frac{\text{LONGITUD DE FLECHA}}{\text{DE TRANSMISIÓN}} \right)$$

Donde:

K1 = Constante hidráulica de carga.

K2 = Peso de las partes rotativas por peso.

K3 = Peso por pie de flecha de transmisión.

- Pérdidas de potencia en el balero de carga. Son las pérdidas por fricción en HP, producidas por la carga axial de la bomba sobre el balero de carga. Los fabricantes de baleros estiman que las pérdidas en baleros de contacto angular son aproximadamente 0.0075 HP por cada 100 RPM y cada 1000 libras de carga axial. Pueden ser determinadas usando una "Tabla de pérdidas en baleros de carga" proporcionada por el fabricante del motor o catalizador engranado.

- Eficiencia del motor. Es la relación entre la potencia de placa y la potencia demandada sin la carga axial y por tanto debe ser ajustada ya que afectan las pérdidas del balero de carga.

$$\text{EFICIENCIA DEL MOTOR} = \frac{\text{POTENCIA DE PLACA}}{\text{POTENCIA DEMANDADA + PERDIDAS EN EL BALERO DE CARGA}}$$

- Eficiencia total (eficiencia del alambre al agua). Es la eficiencia de la bomba y motor conjuntamente.

$$\text{EFICIENCIA TOTAL} = \text{EFICIENCIA DE CAMPO DE LA BOMBA} \times \text{EFICIENCIA DEL MOTOR}$$

- Potencia demandada. Es la potencia total requerida al operar la bomba y motor. Está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{POTENCIA DEMANDADA} = \frac{\text{POTENCIA AL FRENO}}{\text{EFICIENCIA DEL MOTOR}}$$

También es importante conocer la profundidad total del pozo ya que en algunos casos puede ser una limitación. Se necesita saber la clase de energía con que se cuenta para la operación del equipo. En caso de que se trate de energía eléctrica, se requiere el ciclo y voltaje para poder seleccionar un motor adecuado. Si se trata de un motor de combustión interna, se necesita contar con las curvas de operación en servicio continuo y a diferentes velocidades del mismo. Por último, se necesita saber el tipo de lubricación que se desea, o bien, el que se recomienda según las condiciones del pozo.

Una vez que se cuenta con toda la información que se describió anteriormente podemos proceder a seleccionar el equipo más adecuado para esas condiciones.

4.6.2. Cálculo del equipo de bombeo.

A manera de ejemplo, a continuación se pide realizar los cálculos correspondientes para seleccionar el equipo de bombeo más adecuado para las siguientes condiciones de servicio:

Diámetro de ademe	= 12"
Profundidad del pozo	= 250'
Nivel estático	= 120'
Diámetro de tubería de descarga	= 6"
Capacidad requerida	= 500 GPM
Abatimiento	= 50'
Nivel dinámico	= 170'
Elevación	= 35'
Altura de bombeo (se incluyen pérdidas por fricción en la descarga).	= 205'
Longitud de columna	= 180'
Tipo de energía	= eléctrica
Características eléctricas	= Tres fases, 60 cps, 440 v
Velocidad de operación deseada	= 1800 RPM
Tipo de lubricación	= Agua

Para poder pasar a la selección del equipo de bombeo nos hace falta la carga dinámica total, que no podemos obtener por desconocer las fricciones en la columna (hfc), por lo que se consideran pérdidas del orden del 5 % en la columna obteniéndose una carga dinámica total tentativa, por lo tanto, tendremos que encontrar una bomba capaz de dar 500 GPM a una altura de 214'.

Todos los fabricantes tienen curvas de operación para diferentes tamaños de tazonos, diferentes recortes de impulsor y diferentes velocidades. En este trabajo se anexan algunas de esas curvas proporcionadas por MANUFACTURERA FAIRBANKS-MORSE, S.A.

En el caso que nos ocupa se seleccionó un impulsor modelo 101C-A, que es un impulsor cuyos tazonos tienen un diámetro exterior de 10" aproximadamente y que por lo tanto pasan libremente por el ademe de 12".

De acuerdo con esta curva, este impulsor con recorte A proporciona 500 GPM a una altura de 38.5' por tazón, con una eficiencia de 83 %, por lo tanto, se requieren 6 impulsores en el cuerpo de tazonos para que pueda vencer la carga dinámica total.

Mediante la siguiente fórmula calculamos la potencia

$$\text{H.P.} = \frac{Q \times \text{CMT}}{3960 \times \text{EF}} \times \text{CE}$$

sustituyendo en nuestro ejemplo, y tomando en cuenta que la gravedad específica es igual a 1 puesto que estamos hablando de agua, la potencia consumida sería aproximadamente de:

$$\text{H.P.} = \frac{500 \text{ GPM} \times 214'}{3960 \times 0.83} = 32.6$$

Con este consumo de potencia podemos entrar a la tabla de selección de flechas (ver tabla 4.5) escogiendo una de 1" de diámetro, ya que puede transmitir hasta 48 H.P. operando a una velocidad de 1770 RPM.

Pasamos a seleccionar la columna correspondiente (ver la tabla 4.6) y en la tabla vemos que para 500 GPM y flecha de 1" se recomienda una columna de 6" x 1" ya que sólo se pierden 3.85 por cada 100'.

Por lo tanto, las pérdidas por fricción en la columna son:

$$3.85 \times 1.80' = 6.93'$$

de ahí que la carga dinámica total sea:

$$205' + 6.93' = 212'$$

y la altura por tazón es:

$$\text{Altura por paso} = \frac{212'}{6} = 35.3'$$

Volviendo a la curva de operación 10LC y entrando por la escala vertical con el número de pies por tazón vemos que para obtener los 500 GPM que se desean, tenemos que recortar el alabe del impulsor a la altura B (las diferentes alturas del alabe del impulsor las proporciona el fabricante).

La eficiencia continúa siendo de 83 %, por lo tanto, la potencia que se consume realmente (tomando en cuenta la carga dinámica total definitiva), es:

$$\text{H.P.} = \frac{212' \times 500 \text{ GPM}}{3960 \times 0.83} = 32.25$$

Hay que tomar en cuenta las pérdidas por transmisión en la flecha (ver tabla 4.7), que en este caso son del orden de 0.6 H.P. por cada 100'.

Por lo tanto, el consumo total de potencia es:

$$\text{H.P.} = 32.25 + 1.08 = 33.33$$

Por lo tanto, tenemos que seleccionar un motor eléctrico vertical flecha hueca de 40 H.P., 4 polos, 3/60/220-440 volt a prueba de goteo (dependiendo de las condiciones del medio ambiente), con trinquete de no retroceso.

Decimos que dependiendo de las condiciones del medio ambiente porque habrá casos en que se requieran motores totalmente cerrados, tropicalizados, etc.

Un motor de esta capacidad tiene un diámetro de base de 16½" y como la columna es de 6" se tendrá que seleccionar un cabezal de descarga modelo 16½" x 6".

Recordemos que hay que suministrar con el motor y el cabezal los 180' de columna de 6" x 1" y un cuerpo de tazones modelo 10LC con seis pasos; además, un tubo de succión del mismo diámetro que la columna y un colador.

De esta forma tendremos seleccionado el equipo adecuado para estas condiciones de servicio.

Cabe hacer mención de que se pueden presentar algunas limitaciones. En el motor siempre se debe checar que la carga axial total de la bomba puede ser soportado por el balero de carga del motor.

Sustituyendo los valores de Kt, Ka y Ks que aparecen en la tabla 4.8 y 4.9 en la fórmula para calcular la carga axial total de la bomba llegamos a un valor de 2483 libras, lo cual es menor a lo que soporta el balero de carga con que se surten estos motores y que resiste un máximo de 3400 libras.

En caso de que la carga axial total de la bomba hubiera sido mayor habría la necesidad de ponerle un balero de mayor capacidad, o lo que es más común, un juego de dos baleros (tándem) que aumentan su capacidad de carga considerablemente.

También cabe mencionar que existe un número límite de pasos para cada modelo de tazón a diferentes velocidades. Esta información debe ser solicitada al fabricante correspondiente.

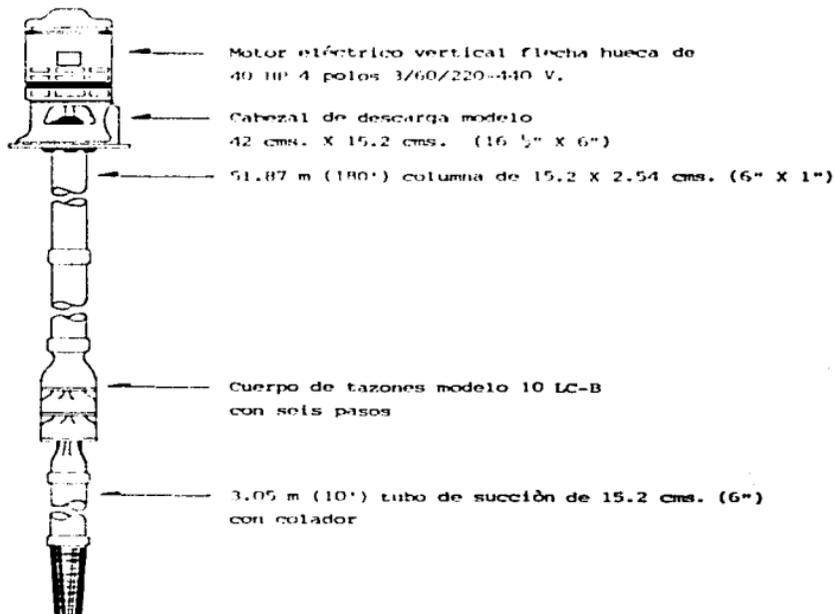
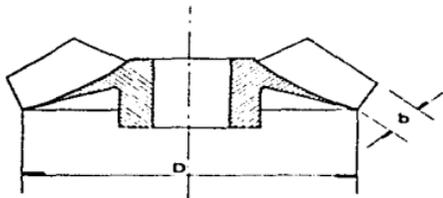


Diagrama de la bomba turbina vertical lubricada por agua seleccionada para este caso.

MODELO IMPULSOR	VALORES DE "b"			DIAMETRO
	A	B	C	D
4 HC	11/32	9/32		2 17/32
6 XLC	3/16			4
6 HC	9/16	1/2	7/16	4
8 HC	25/32	23/32	21/32	5 1/4
10 LC	11/16	19/32	1/2	6 13/16
14 NC	1 3/16	1 3/32	1	9

NOTA: Los valores están dados en pulgadas

TABLA 4.4 VALORES DE "b"
PARA DIFERENTES MODELOS DE IMPULSOR



DIAMETRO DE FLECHA	CAPALLAJE PERMISIBLE A UNA VELOCIDAD DE:									EMPUJE TOTAL EN LIBRAS
	3500	2900	1770	1460	1170	960	880	700	580	
3/4"	38.0	31.5	19.0	15.7	12.5	10.2	9.3	7.6	6.3	2030#
1"	96.0	79.5	48.0	39.5	31.7	26.0	22.5	19.2	15.9	3780#
1 3/16"	163	135	81.5	67.0	53.0	44.5	40.0	32.4	27.0	5400#
1 7/16"	290	241	145	121	96.0	80.0	72.0	58.0	48.0	7900#
1 11/16"	530	440	265	220	175	144	130	106	87.5	11700#
1 15/16"	740	610	365	305	242	202	181	147	121	14700#
2 3/16"		900	545	455	360	300	270	220	181	19200#
2 7/16"		1290	780	645	515	430	385	313	257	24400#
2 11/16"			1060	890	700	580	525	430	355	30000#
2 15/16"			1400	1170	930	770	690	565	465	36200#

NOTA: Los valores abajo de la línea gruesa se usan solamente en lubricación por aceite.

TABLA 4.5 VALORES PARA LA SELECCION DE FLECHAS
DE ACUERDO AL CABALLAJE PERMISIBLE Y A LA VELOCIDAD.

Lubricación aceite	Lubricación agua	CAPACIDAD EN G.P.M.											
		375	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000
6x1 1/4	6x3/4	1.93	2.05	2.50	3.02	3.58	4.20	4.80	5.50	6.15	7.00	8.58	
6x1 1/2	6x1	2.27	2.55	3.15	3.85	4.55	5.30	6.15	7.00	8.00	9.00		
6x2	6x1 3/16	2.95	3.30	4.10	4.90	5.80	6.80	7.80	8.90	9.95			
	6x1 7/16	3.60	4.00	4.95	5.95	7.05	8.20	9.40					
6x2 1/2	3x : 1 1/16	4.25	4.75	5.80	7.00	8.30	9.60						
6x3	6x1 15/16	6.75	7.60	9.35									

TAELA 4.6 PERDIDAS POR FRICCIÓN EN CADA 100' DE COLUMNA.

PERDIDAS EN HP POR CADA 100' DE FLECHA									
DIAMETRO DE FLECHA	P. P. M.								
	3500	2900	1770	1460	1170	960	890	700	580
3/4"	0.79	0.60	0.35	0.30	0.24	0.20	0.18	0.15	0.12
1"	1.18	0.99	0.60	0.50	0.39	0.33	0.29	0.24	0.20
1 3/16"	1.69	1.42	0.86	0.72	0.57	0.47	0.43	0.35	0.29
1 7/16"	2.10	1.75	1.21	1.05	0.80	0.66	0.60	0.49	0.40
1 11/16"	2.82	2.35	1.59	1.33	1.05	0.88	0.79	0.64	0.53
1 15/16"	3.61	3.06	2.03	1.71	1.34	1.12	1.02	0.83	0.67
2 3/16"		3.92	2.60	2.19	1.72	1.44	1.29	1.05	0.86
2 7/16"		4.77	2.85	2.39	1.99	1.67	1.41	1.15	0.94
2 11/16"			3.42	2.91	2.28	1.91	1.72	1.40	1.14
2 15/16"			4.08	3.52	2.76	2.30	2.05	1.67	1.38

NOTA: Los valores abajo de la línea gruesa se usan solamente en lubricación por aceite.

TABLA 4.7 PERDIDAS DE POTENCIA EN LA FLECHA.

Tamaño de bomba	Constante de empuje hidráulico K_1	Constante por paso K_2
4 LC	1.2	2.0
4 MC	1.2	2.0
6 XLC	2.7	2.5
6 LC	3.2	2.5
6 MC	3.2	2.6
6 HC	3.3	2.6
7 MC	4.7	5.0
8 XLC	5.0	5.5
8 LC	6.0	5.5
8 MC	6.7	5.5
8 HC	7.2	5.5
10 XLC	8.2	10.8
10 LC	9.0	11.2
10 MC	9.3	11.3
10 HC	10.6	11.3
12 LC	13.2	18.0
12 MC	13.4	18.5
12 HC	15.5	19.5
14 LC	17.6	24.0
14 MC	18.5	30.0
14 HC	21.5	24.5
16 LC	19.5	34.5
16 MC	23.0	34.5
18 MC	35.0	45.0
20 MC	38.8	55.0

TABLA 4.8 Valores de K_1 y K_2 .

Constante por columna	
Diámetro de flecha	Peso por pie K_3
3/4"	1.6
1"	2.3
1 3/16"	4.0
1 7/16"	5.9
1 11/16"	8.1
1 15/16"	10.6
2 3/16"	13.6
2 7/16"	17.0
2 11/16"	21.0
2 15/16"	25.0

TABLA 4.9 Valores correspondientes a K_3 .

4.7. INSTRUCCIONES PARA MONTAJE DE BOMBAS DE POZOS PROFUNDOS.

Los modelos de las bombas turbina verticales están proyectados para funcionar en pozos o donde el espacio superior limitado hace necesario manejar la bomba en secciones cortas. En este apartado se describen algunas instrucciones para la preinstalación, instalación y funcionamiento de las bombas de este tipo, no sin antes hacer una aclaración en cuanto a que cada fabricante maneja sus propias instrucciones de instalación para un óptimo funcionamiento. Lo que se intenta es que las siguientes sean los pasos generales a seguir independientemente de la bomba que se esté colocando.

Las piezas componentes básicas de la unidad de bomba para pozos profundos son el motor propulsor, el cabezal de descarga, el tubo de columna y el conjunto de tazonas de bomba. Normalmente se despachan dichas piezas por separado para poder ser montadas durante su instalación.

Las unidades motrices propulsoras se suministran en gran variedad de tipos y tamaños para satisfacer una extensa diversidad de requisitos de funcionamiento. Los motores eléctricos de eje hueco, tipo jaula de ardilla, son los más comúnmente empleados, aunque, para accionar la bomba se usan ocasionalmente unidades propulsoras de motores de combustión interna, acopladas en ángulo recto mediante un cabezal de engranes. Como los motores eléctricos, se suministran los cabezales en ángulo recto provistos de eje hueco. Tanto los motores como los cabezales en ángulo recto provistos de eje hueco, se instalan sobre la extensión del eje superior de la bomba. Se acopla dicho eje superior al propulsor por medio de chaveta y tuerca ajustadora en su extremo superior, y se suele completar con un trinquete de no retroceso, para evitar el giro inverso de la bomba al ser parada, lo que propiciaría el desacoplamiento y deterioro de las flechas.

El cabezal de descarga de la bomba es una resistente pieza fundida o una estructura fabricada de acero, la cual sostiene la bomba y el propulsor sobre la base. En las instalaciones de descarga sobre el suelo, el cabezal de descarga tiene una contrabrida que se acopla a la tubería de descarga. Con las bombas de eje de transmisión encerrado en cubreflechas se suministra un equipo accesorio de lubricación. Un depósito de acero montado en el cabezal de la bomba sirve para contener el aceite que lubrica al eje de transmisión. Se mantiene la lubricación adecuada por medio de una válvula manual o de solenoide accionada eléctricamente, la cual se abre automáticamente cuando el elemento propulsor comienza a funcionar, suministrando aceite desde el depósito al tubo que encierra el eje de transmisión y

hacia abajo, a través de los cojinetes del eje de transmisión, hasta el conjunto de tazones. Las bombas de flecha o eje de transmisión descubiertas son lubricadas enteramente por los líquidos que se bombean. Un prensaestopas o estopero obtura el eje superior de la bomba, para impedir un escape excesivo de líquido, aunque permite un pequeño escape para lubricar la empaquetadura del eje. Se puede emplear una taza engrasadora para suministrar la pequeña cantidad de lubricante necesaria para conservar blanda la empaquetadura del prensaestopas.

El tubo de columna se extiende hacia abajo, desde la parte inferior del cabezal de descarga de la bomba hasta el conjunto de tazones de la misma. Conduce los líquidos que se bombean y sostiene los cojinetes del eje de transmisión. En las bombas con flecha descubierta, los líquidos que suben por el tubo de columna lubrican los cojinetes del eje de transmisión. El largo del tubo de columna depende de la profundidad del pozo y varía de acuerdo a cada instalación en particular.

Los conjuntos de tazones están proyectados para funcionar con el impulsor de la primera etapa cuando menos, sumergidos lo suficiente para evitar cavitación. La abertura inferior de admisión del conjunto de tazones puede proveerse de un colador, para evitar el daño interno que pueden causar materias extrañas.

Preinstalación.

Antes de realizar la instalación propiamente dicha del conjunto de la bomba, se deben realizar algunas tareas preliminares tales como:

- 1.- Examinar bien el pozo referente a su diámetro, profundidad y a su posición recta y prácticamente perpendicular, y referente a la existencia de aceite o grasa en su espejo de agua y las paredes del tubo de adome. Dado el caso, hay que eliminar dicho aceite con un cucharón o trapos; esto es absolutamente necesario en casos donde la bomba abastece a una planta industrial o a un sistema de distribución de agua potable. Además, hay que tomar en cuenta que el aceite es perjudicial a las chumiceras de hule de las bombas lubricadas por agua.
- 2.- Desde las tareas de diseño y selección del equipo de bombeo se debe contemplar la ubicación o el lugar apropiado donde se instalará el equipo. Por lo que se debe colocar la bomba donde sea fácilmente conectable a un sencillo sistema de tubería de descarga y sea accesible para su inspección periódica. Además, se debe contemplar un amplio espacio libre por arriba para poder emplear una grúa de puente, u otro dispositivo izador de capacidad suficiente para manejar la bomba armada y el motor de la misma, individualmente.

3.- Se deben contemplar los distintos medios que se podrán utilizar para la instalación del equipo de bombeo. En primer lugar se necesita una grúa o un tripié de suficiente rigidez y resistencia para elevar hasta el peso total de toda la unidad de bombeo incluyendo motor (cabezal de engranes), etc.

Para levantar las piezas durante el montaje se necesita un malacate o una garrocha diferencial, o una garrucha de cable, según el peso de las piezas por manejar. Estos dispositivos en conjunto con la grúa o tripié deben ser de una altura suficiente para permitir una elevación hasta de unos 4 o 5 metros sobre flor de tierra para poder manejar cómodamente las secciones de columna y el conjunto de los tazones. El gancho de la garrucha (o del malacate) debe permitir un fácil movimiento rotatorio, para de él penderán los tubos mientras se enroscan.

El tamaño de la grúa o tripié debe escogerse de acuerdo con el peso de la bomba. Hay que considerar además del margen normal de reserva el estado general del aparato.

4.- Se ha observado cierta tendencia de hacer alerros pecuniarios de la construcción de la base o cimiento de la bomba. Por esta razón y por las consecuencias funestas que pueden tener bases mal construidas, se recomienda prestar la mayor atención a este respecto.

La base o cimiento puede consistir en cualquier material que ofrezca apoyo rígido y permanente a toda área de los miembros soportadores de la bomba, y sea capaz de absorber los posibles esfuerzos y choques que puedan producirse durante el servicio.

Si el cabezal de la bomba se instala sobre dos vigas, úsense vigas sanas y de un tamaño bastante conservador, tomando en cuenta el peso total de toda la bomba completa incluyendo su columna llena de agua. Las vigas bien niveladas deben descansar sobre terreno completamente duro y firme, siendo conveniente reforzarlas y asegurarlas en su posición por refuerzos transversales.

La base o cimiento más apropiada por supuesto es una base de concreto cuyo ancho debe ser mayor a la parte inferior o base del cabezal de descarga en unos 10 cms por lo menos. Para bombas pesadas debe tomarse la base de concreto de dimensiones proporcionalmente mayores, los cimientos de concreto deben ser a nivel y construídos sobre terreno firme. En el centro del cimiento de concreto debe dejarse un hueco suficientemente grande para la brida de conexión de la columna, más cierto margen para alinear la bomba en el pozo. Se deben colocar los pernos de anclaje de cimentación del tamaño especificado, de acuerdo con el dibujo de plantilla del cabezal de la bomba, rodeando cada perno con un manguito de tubo

firmemente sostenido y de un diámetro dos o tres veces mayor que el del perno, para poder alinear los pernos con los agujeros de la placa de asiento.

Cuando se monte la bomba directamente sobre un bastidor de acero estructural, se deben colocar directamente sobre los miembros principales, las vigas o las paredes del edificio o tan cerca de ellos como sea posible. Se debe fijar la placa de asiento con pernos a los soportes de acero para evitar toda deformación o trepidación y para que se conserve debidamente alineada.

5.- Una vez que se ha recibido el equipo, se procede a desempacar la bomba y a inspeccionarla cuidadosamente para cerciorarse que no sufrió ningún daño en el transporte. Se pondrá atención especial en las cajas que contienen las flechas para checar si muestran trazas de maltrato en el camino. Sobre cualquier deterioro de material causado aparentemente por el transporte, se dará aviso a la casa vendedora.

6.- Regularmente las bombas se despachan listas para su instalación inmediata, pero si existe algún impedimento para ello y haya la necesidad de almacenarlas antes de la instalación, se debe escoger cuidadosamente el lugar, de manera que no esté sometida a humedad excesiva o extremas acciones climáticas, vapores corrosivos u otras condiciones perjudiciales. Si se espera que el almacenaje pueda ser prolongado, se debe examinar la bomba de cuando en cuando y limpiarla, si lo requiere.

7.- Por último, lávese la bomba minuciosamente con agua limpia antes de instalarla. Limpiense los lugares con herrumbre en las superficies labradas a máquina, usando tela de esmeril de grano fino. Limpiense todas las superficies roscadas y los herrajes adjuntos, quitándole toda suciedad o grasa.

Instalación de la bomba y del medio de impulso.

Bombas con eje de transmisión lubricado por aceite.

1.- Cúbrase la abertura del ademe con una tapa de madera terciada o de otro material, para que no caiga ningún objeto en el pozo.

2.- Colóquese en la debida posición el izador, con el gancho y el eslabón giratorio contrados sobre el brocal del pozo.

3.- Si se va a usar un colador y un tubo de succión, instállese aquél en el extremo inferior del tubo de succión y levántese hasta que el tubo esté contrado sobre el brocal del pozo.

- 4.- Qúitese la tapa del brocal del pozo y bájese el tubo de succiòn con el colador fijado, dentro del pozo hasta que la abrazadera descanse sobre el cimiento.
- 5.- Antes de instalar el conjunto de tazones, midase y andètese el juego longitudinal del eje o flecha, para compararlo posteriormente cuando se ajusten los impulsores. Posteriormente se fija una abrazadera de tubo a la parte superior del conjunto de tazones y levántese hasta que dicho conjunto esté centrado sobre el tubo de succiòn.
- 6.- Si se instala un conjunto de tazones de gran diámetro 6 u 8" (15.24 ò 20.32 cm), déjese el tazòn firmemente asegurado al bucal utilizado para el embarque, hasta que se levante el conjunto de tazones a la posiciòn vertical. Esto ayuda a evitar que los tazones se rompan o que el eje se doble. Bájese el conjunto de tazones y enròquese el tubo de succiòn.
- 7.- Levántese un poco el conjunto de tazones y quítese la abrazadera del tubo de succiòn.
- 8.- Bájese el conjunto de tazones hasta que la abrazadera descanse sobre el cimiento o base del equipo.
- 9.- Qúitese los tapones de los extremos de la flecha de transmisiòn y del tubo camisa de lubricaciòn prearmados, y sáquese el eje o flecha de transmisiòn aproximadamente 8" (20.31 cm). Cabe aclarar que en este tipo de bombas no se deben tapar las aberturas de desahogo de la caja de descarga.
- 10.- Si el eje de transmisiòn que se va a usar es de diámetro más pequeño que el del eje de la bomba, el tubo camisa de lubricaciòn debe reducirse y usarse un conjunto escalonado prearmado, en lugar del eje de transmisiòn y el tubo camisa prearmados para la primera secciòn que está sobre el conjunto de tazones. Insértese el eje de transmisiòn y el tubo de lubricaciòn o el conjunto escalonado, en una secciòn del tubo de columna y déjese que el extremo con el eje de transmisiòn sobresalido se extienda aproximadamente un pie (30.48 cm).
- 11.- Con un cordel háganse dos amarres sencillos alrededor del eje de transmisiòn, dos amarres sencillos alrededor del tubo de lubricaciòn y dos más alrededor del tubo de columna.
- 12.- Colòquese una abrazadera en el tubo de columna, justamente debajo del cople superior.
- 13.- Fíjese la eslinga a la abrazadera del tubo de columna y levántese hasta que el extremo inferior quede centrado sobre el conjunto de tazones.
- 14.- Bájese lentamente el tubo de columna, el eje de transmisiòn y el tubo de lubricaciòn, hasta que se pueda acoplar el eje de transmisiòn al eje de la bomba.

Quítese el protector de rosca.

15.- Quítese el cordel del eje de transmisión, póngase un poquito de aceite en las roscas del mismo y dese vuelta al eje en dirección contraria a la de las agujas de un reloj para acoplarlo al eje de la bomba.

16.- Quítese el cordel del tubo de lubricación del eje de transmisión y del tubo de columna y dese vuelta al tubo de lubricación en dirección contraria al de las agujas de un reloj para acoplarlo al cojinete conector del tubo de descarga.

17.- Rájese el tubo de columna y dósele vuelta en dirección de las agujas de un reloj para acoplarlo al conjunto de tazones.

18.- Levántese un poco el tubo de columna y el conjunto de tazones y quítese la abrazadera del conjunto de tazones.

19.- Rájese el tubo de columna y el conjunto de tazones hasta que la abrazadera del tubo de columna descansa sobre el cimiento, asegurándose de que esté bien apretado el cople superior.

20.- Colóquese un espaciador en el tubo de columna y compruébese que la dimensión hacia arriba, desde la parte superior del espaciador hasta la parte superior del eje de transmisión es de $15 \frac{1}{2}$ " (39.17 cm).

21.- Compruébese que la dimensión hacia arriba, desde la parte superior del tubo de lubricación hasta la parte superior del eje de transmisión es de $9 \frac{1}{2}$ " (24.13 cm).

22.- Póngase un poquito de aceite dentro del tubo de lubricación durante la instalación de cada sección, para asegurar la lubricación apropiada de los cojinetes del eje de transmisión para el montaje inicial.

23.- Instállese un cojinete del eje de transmisión en el tubo de lubricación sobresalido. Usese compuesto antiendurecedor de roscas en cada una de las roscas de los cojinetes del eje de transmisión.

24.- Póngase un poquito de aceite en las roscas del eje de transmisión y luego instállese un acoplamiento en el extremo sobresalido del eje de transmisión, asegurándose de que el acoplamiento esté centrado.

25.- Colóquense arañas centradoras del tubo de columna a intervalos de $30'$ (9.14 m) para los ejes de $3/4$ " y $1"$ (19.8 y 25.4 mm) y a intervalos de $50'$ (15.24 m) para los ejes de $1 \frac{1}{4}"$ (31.7 mm) en adelante.

26.- Si se va a colocar la descarga de la bomba debajo del suelo, instállese la "T" de descarga en el debido lugar.

27.- Conéctese el eje superior de la bomba al eje de transmisión.

28.- Conéctese el tubo de lubricación del eje superior al tubo de lubricación del eje de transmisión.

29.- Inviértase el cabezal de descarga de la bomba, cóntrese la empaquetadura de la brida de la columna superior en la parte inferior del cabezal de la bomba y asegúrese con pernos el tubo de columna superior embudado a la parte inferior del cabezal de la bomba.

30.- Fijese una eslinga a los ganchos izadoras del cabezal de la bomba.

31.- Durante el montaje de la brida del tubo de columna superior a la parte inferior del cabezal de la bomba, compruébese con cuidado que la empaquetadura esté centrada y que todo el tubo quede alineado despues del montaje. Súbase el cabezal de descarga de la bomba con el tubo de columna superior adjunto, quítese el protector de rosca y bájese sobre el eje superior.

32.- Dese vueltas al tubo de columna superior y al cabezal de la bomba en la dirección de las agujas del reloj para enroscar el tubo de columna superior en el acoplamiento del tubo de columna.

33.- Súbase muy poco el cabezal de la bomba y el tubo de columna y quítese la abrazadera del tubo.

34.- Dese vuelta a la bomba hasta que el cabezal de descarga o la "T" bajo tierra esté de frente en la dirección apropiada para casar con la tubería de descarga y los orificios de montaje de la bomba estén alineados con los orificios de montaje del cemento, o anclas.

35.- Asíéntese la bomba sobre el cemento y nivéllese, usando calzas, si son necesarias, para compensar cualquier irregularidad del cemento.

36.- Quítese la eslinga de la bomba.

37.- Insértese un anillo "0" en la ranura que está del lado interior del prensaestopas y bájese el prensaestopas sobre el eje superior.

38.- Cóntrese el prensaestopas sobre el tubo enroscador del eje superior y bájese lenta y cuidadosamente, dejando que el anillo "0" y el prensaestopas se deslicen hacia abajo en la parte externa del tubo de lubricación del eje superior.

39.- Fijese con pernos el prensaestopas al cabezal de descarga.

40.- Bájese el cojinete de tensión del entubado cutreflecha sobre el eje superior y désele vueltas en dirección contraria al de las agujas de un reloj dentro del tubo de lubricación del eje superior apretándolo con la mano. Luego aprítese aproximadamente de una vuelta a vuelta y media por cada 100" (30.48 m) de longitud de bomba, para lograr la apropiada tensión del tubo cubreflechas.

41.- Alíniese el orificio del tornillo de ajuste del cojinete de tensión con el orificio enroscado más cercano de la parte superior del prensaestopas. Luego insértese el tornillo de ajuste y aprítese.

42.- Fijese con pernos el soporte de montaje y el tanque accitador al costado del cabezal de descarga de la bomba.

43.- Conéctese la válvula manual o solenoide, la válvula de alimentación visual de aceite y los accesorios lubricadores del tanque accitador.

44.- Conéctense los accesorios lubricadores al cojinete de tensión.

Bombas con eje de transmisión lubricado por agua.

1.- Cúbrase la abertura del brocal con una lámina de madera terciada o de otro material, para que no caiga ningún objeto en el pozo.

2.- Colóquese en la debida posición el equipo izador con el gancho y el eslabón giratorio centrados sobre la abertura del cimiento.

3.- Si se va a usar un tubo de succión y un colador, instálense el colador en el extremo inferior del tubo de succión, fijese una abrazadera al extremo superior del tubo y luego súbase hasta que el extremo inferior quede centrado sobre la abertura del brocal.

4.- Qúitese la lámina que cubre el brocal del pozo y bájese el tubo de succión hasta que la abrazadera del tubo descanse sobre el cimiento.

5.- Fijese la abrazadera del tubo a la parte superior del conjunto de tazones y luego súbase el conjunto hasta que quede centrado sobre el tubo de succión o el pozo.

6.- Bájese el conjunto de tazones y enrédquese al tubo de succión.

7.- Súbase el conjunto de tazones con el tubo de succión adjunto, quítese la abrazadera del tubo de succión.

8.- Bájese el conjunto hasta que la abrazadera de los tazones descanse sobre el cimiento.

9.- Insértese una sección del eje de transmisión dentro de una sección del tubo de columna, cerciorándose bien de que el manquito está en el extremo superior. Fijese que el eje de transmisión sobresalga aproximadamente 1" (2.54 cm) en el extremo inferior del tubo de columna.

10.- Asegúrese el tubo de columna con un cordel, haciendo dos vueltas sencillas alrededor del eje de transmisión y luego alrededor del tubo de columna.

11.- Fijese una abrazadera de tubo al extremo superior del tubo de columna y luego súbase éste con el eje de transmisión y cóntrese sobre el conjunto de tazones.

12.- Bájese el tubo de columna con el eje de transmisión, quítese el protector de rosca y continúese bajándolo hasta que el eje de transmisión descanse sobre el

acoplamiento del eje de la bomba.

13.- Qúitese el cordel y póngase un poquito de aceite en las roscas del eje de transmisión.

14.- Conéctese el eje de transmisión al eje de la bomba, dando vueltas al eje de transmisión en dirección contraria a la de las agujas de un reloj.

15.- Apriétese la conexión.

16.- Bájese el tubo de columna sobre el acoplamiento del conjunto de tazones y dese vuelta al mismo en dirección de las agujas de un reloj hasta que esté acoplado firmemente al conjunto de tazones.

17.- Súbase luego el conjunto completo y quítese la abrazadera del conjunto de tazones.

18.- Gúlese a mano el conjunto de tazones y el tubo de columna dentro del pozo y bájese hasta que la abrazadera del tubo descansa sobre el cimiento o base.

19.- Insértese un soporte de cojinete sobre el eje de transmisión y enrósquese en el acoplamiento del tubo de columna hasta que esté asentado firmemente sobre éste. Compruébese que la dimensión hacia arriba desde la parte superior de la brida del soporte del cojinete hasta el extremo superior del eje de transmisión sobresalido es de 15" (39.37 cm).

20.- Instálase un acoplamiento en el extremo sobresalido del eje de transmisión, cerciorándose bien de que el acoplamiento está centrado.

21.- Repítanse estas operaciones las veces que sean necesarias hasta que el conjunto de tazones de la bomba llegue a la profundidad deseada del pozo.

22.- Si se va a colocar la descarga de la bomba debajo del suelo, instálase la "T" de descarga en el debido lugar.

23.- Conéctese al eje superior de la bomba el eje de transmisión.

24.- Inviértase el cabezal de descarga de la bomba y cóntrese la empaquetadura de la brida de la columna superior en la parte inferior del cabezal de la bomba. Asegúrese luego con pernos, el tubo de columna superior embridado, a la parte inferior del cabezal de la bomba.

25.- Eljese una eslinga a los ganchos izadores del cabezal de la bomba.

26.- Súbase el cabezal de la bomba con el tubo de columna superior adjunto, quítese el protector de rosca y bájese sobre el eje superior.

27.- Dese vueltas al tubo de columna superior y al cabezal de la bomba en la dirección de las agujas de un reloj para enroscar el tubo de columna superior en el acoplamiento del tubo de columna.

28.- Súbase muy poco el cabezal de la bomba y el tubo de la columna.

29.- Qúitese la abrazadera del tubo.

30.- Dese vuelta al cabezal de la bomba hasta que el cabezal de descarga o la "T" bajo tierra esté de frente en la apropiada dirección para casar con la tubería de descarga, y los orificios de montaje de la bomba estén alineados con los orificios de anclaje del cimiento.

31.- Asíéntese la bomba sobre el cimiento y nivélese usando calzas, si son necesarias, para compensar cualquier irregularidad del cimiento.

32.- Qúitese la eslinga del cabezal de la bomba.

33.- Deslicese el prensaestopas sobre el eje superior y asegúrese con pernos al cabezal de descarga.

34.- Instálense la empaquetadura en el prensaestopas, asentando cada anillo con el casquillo de prensaestopas. Cuando se utiliza una jaula de retenedor, se instalan tres anillos de empaquetadura, seguidos por la jaula de retenedor y dos anillos de empaquetadura.

35.- Instálense el casquillo de prensaestopas y apríetese bien, sólo con los dedos, las tuercas del perno del casquillo.

36.- Instálense el deflector del agua.

Motores eléctricos de eje hueco.

1.- Sáquese el embrague del motor.

2.- Fijese una eslinga al motor.

3.- Súbase el motor y céntrase sobre el eje superior de la bomba.

4.- Bájese lentamente el motor sobre el cabezal de la bomba cerciorándose de que los orificios de montaje del motor y los del cabezal de la bomba están alineados.

5.- Qúitese la eslinga de la bomba y retírese el equipo izador.

6.- Fijese con pernos el motor al cabezal de la bomba y fijese con pernos el cabezal de la bomba a las anclas del cimiento.

7.- Conéctese la tubería de descarga a la bomba, para que ésta no quede sometida a ningún esfuerzo. El soporte de la tubería debe ser independiente del de la bomba.

8.- Compruébese que el eje superior está en el centro del eje hueco del motor. Pónganse calzas entre el cabezal de la bomba y el cimiento, si es necesario, para centrar el eje superior y se debe tener la seguridad de que el motor gire en la apropiada dirección, poniéndolo momentáneamente en marcha, o girando la flecha a mano.

- 9.- Instálase el embrague del motor en el eje superior con chaveta y asegúrese el embrague al eje del motor.
- 10.- Instálase la tuerca ajustadora en el eje superior y apríetese hasta que se acople con el embrague del motor y la bomba pueda girar libremente.
- 11.- El eje de la bomba se alarga por causa del empuje hidráulico de la misma. Por tal razón, hay que subir los impulsores una cantidad adicional igual al alargamiento del eje, apretando la tuerca ajustadora, para compensar ese alargamiento. Cada fabricante tiene y maneja sus propias recomendaciones y tablas de alargamiento total para calcular el empuje hidráulico y alargamiento de la flecha de la bomba correspondiente.
- 12.- Apríetese la tuerca ajustadora una o dos vueltas adicionales.
- 13.- Si el ajuste total que se ha hecho es mayor que el juego longitudinal calculado, hágase retroceder la tuerca hasta que el ajuste total sea levemente menor que el juego longitudinal.

Propulsiones con cabezal de engranes en ángulo recto para el eje hueco.

- 1.- Sáquese el embrague de la propulsión en ángulo recto.
- 2.- Fijese una eslinga al cabezal de engranes.
- 3.- Súbase el cabezal de engranes y céntrase sobre el eje del cabezal de descarga de la bomba.
- 4.- Hájese lentamente el cabezal de engranes sobre el cabezal de la bomba, cerciorándose bien de que los orificios estén alineados y de que el acoplamiento del cabezal de engranes esté hacia el motor.
- 5.- Qúitese la eslinga del cabezal y retírese el equipo izador.
- 6.- Fijese con pernos el cabezal de engranes al cabezal de la bomba y fijese con pernos el cabezal de la bomba al cimiento.
- 7.- Conéctese la tubería de descarga a la bomba, teniendo cuidado de alinear la tubería con la descarga de la bomba, para que esta no esté sometida a ningún esfuerzo. El soporte de la tubería debe ser independiente de la bomba.
- 8.- Compruébese que el eje superior está en el centro del eje hueco del cabezal de engranes. Hágase calzas entre el cabezal de la bomba y el cimiento, si son necesarias, para centrar el eje superior.
- 9.- Instálase el embrague en el eje superior con chaveta y asegúrese el embrague al eje hueco del cabezal de engranes.
- 10.- Instálase la tuerca ajustadora en el eje superior y apríetese hasta que se

acople contra el empuje del motor y la bomba pueda girar libremente.

11.- Sbanse los impulsores una cantidad igual al alargamiento del eje, apretando la tuerca ajustadora.

12.- Apriérese la tuerca ajustadora una o dos vueltas adicionales.

13.- Si el ajuste total que se ha hecho es mayor que el juego longitudinal calculado, hágase retroceder la tuerca hasta que el ajuste total sea levemente menor que el juego longitudinal.

Dispositivos de impulso por banda.

1.- Iebe tenerse cuidado de que el cabezal esté perfectamente atornillado sobre su cimiento o sus vigas, pues se debe considerar el efecto del tirón lateral de la banda.

2.- La dirección en que se coloca la banda puede formar cualquier ángulo con la dirección de la descarga de la bomba pero siempre debe procurarse que en caso de usar vigas de cimentación la fuerza de tracción de la banda se ejecute en la misma dirección a dichas vigas y no en sentido transversal a ellas.

3.- Cuando se impulse una bomba por medio de banda debe aplicarse normalmente la banda medio cruzada conservando ciertas medidas y distancias.

4.- En una instalación, la distancia perpendicular entre el centro de la polea del motor impulsor y la circunferencia de la polea vertical de la bomba, debe arreglarse de tal modo para que sea una sexta parte del ancho de la banda. Por ejemplo, si se usa una banda de 6" de ancho la citada distancia perpendicular debe ser de 1".

5.- La velocidad de la banda puede excederse entre los límites de 3000 hasta 5000 pies por minuto resultando el mejor promedio de unos 4000 pies.

Enlechado.

El enlechado evita el desplazamiento lateral de la descarga de la bomba, pero no corrige las irregularidades del cimiento. El enlechado de la bomba se realiza como sigue:

a) Constrúyase una forma de madera alrededor del cabezal de descarga de la bomba y de la base de cimentación para contener la lechada.

b) Mézclese la lechada empleando una parte de cemento portland y dos partes de arena de construcción y agua en cantidades suficientes para hacer una pasta aguada,

manejable.

c) Mójese muy bien el cimientó con agua y échese la lechada en la forma de madera, cerciorándose de que la mezcla fluya libremente debajo del cabezal de descarga de la bomba.

d) Con un alambre rígido revuélvase la lechada para hacer salir el aire que pueda quedar atrapado.

e) Cúbrase la superficie del entechado con costalera o paja mojada para que se vaya secando lentamente.

f) Después que el entechado haya fraguado por 48 horas, quítese la forma de madera y aíslese la superficie, dejese que la lechada frague por un total de 72 horas antes de hacer funcionar la bomba.

Pruebas de funcionamiento.

Antes de poner en marcha la bomba, compruétese que:

- 1.- La válvula de descarga, si tiene, está parcialmente abierta y que la tubería de descarga está conectada propiamente.
- 2.- Los impulsores han sido ajustados debidamente durante la instalación y que el eje del motor y la bomba giran libremente, impulsados manualmente.
- 3.- Todos los pernos están apretados.

Puesta en marcha.

Póngase la bomba en marcha como sigue:

- 1.- Prelubríquese el eje de transmisión en las bombas de eje de transmisión descubierto inyectando agua por la abertura de inyección del cabezal de descarga. Inyéctese agua por un mínimo de 3 minutos en las bombas cuyo eje sea de una longitud mayor de 40 pies (12.19 m). Continúese la inyección por 1 minuto para cada 100 pies (alrededor de 30 m) adicionales de longitud del eje.
- 2.- Cíérrese el interruptor de arranque.
- 3.- Obsérvese si la bomba comienza a girar fácilmente y si funciona sin trepidación excesiva. Si hay dificultad para comenzar o hay trepidación excesiva, detóngase la bomba inmediatamente, determínese y corrijase el defecto.
- 4.- Abrase lentamente la válvula de descarga hasta que la presión de descarga lleque al grado deseado y la válvula esté completamente abierta.
- 5.- En las bombas de eje de transmisión descubierto, apriétense las tuercas del

casquillo del prensaestopas gradualmente durante un periodo prolongado.

Recordemos que normalmente, los motores y cabezales de impulso están equipados con un dispositivo de no retroceso.

El dispositivo tiene por objeto que la bomba pueda girar solamente en el sentido correcto de rotación. Para que dicho dispositivo trabaje correctamente, sus pernos deben de conservarse limpios y exentos de aceite o grasa porque de otra manera podrían atascarse y no funcionar. Los pequeños agujeros que se ven en la planta de dichos dispositivos no son agujeros de lubricación y nunca deben usarse como tales, sino solamente tiene el objeto de evitar la formación de un cojín de aire que impediría que los pernos puedan operar libremente.

La rotación de las bombas es contraria al sentido del movimiento de las manecillas del reloj, vistas de arriba.

Debe de chequearse esta rotación correcta que se acostumbra indicar por una flecha en el cabezal de descarga.

Si el impulso se hace con un motor eléctrico, háganse las conexiones y ciérrase el arrancador por un momento nada más para ver si la bomba comienza a dar vueltas en el sentido correcto. Si la bomba (con dispositivo de no retroceso) no se mueve, el defecto se corrige simplemente cambiando -si se trata de un motor trifásico- cualesquiera de los tres alambres conductores en el arrancador. Si se trata de un motor monofásico se vuelven a conectar los alambres de acuerdo con las instrucciones de la placa del motor.

Ajuste final.

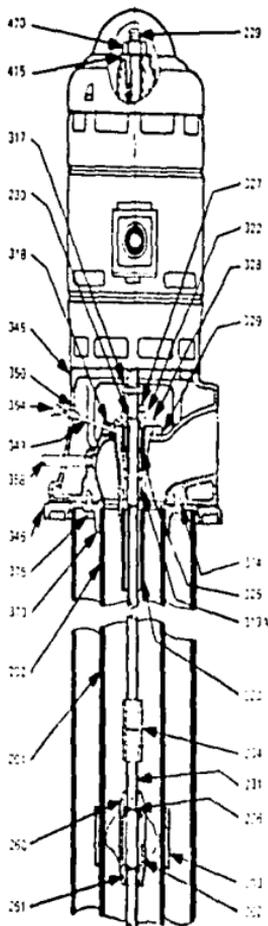
Después de que la bomba haya funcionado por un tiempo suficiente para apretar los acoplamientos del eje de transmisión y limpiar el líquido que se bombea de los materiales abrasivos que pueda tener, se debe comprobar la posición de los impulsores y reajustarlos con la tuerca ajustadora en los motores de eje hueco.

Para detener la bomba.

Ciérrese la válvula de descarga lentamente cuando exista, y luego detengase el motor. Con esto se evitan pulsaciones en el sistema y que el líquido se devuelva de la bomba.

A N E X O B

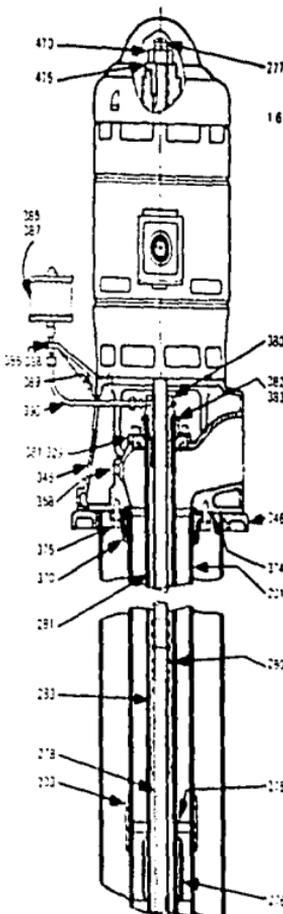
ILUSTRACION No. 1



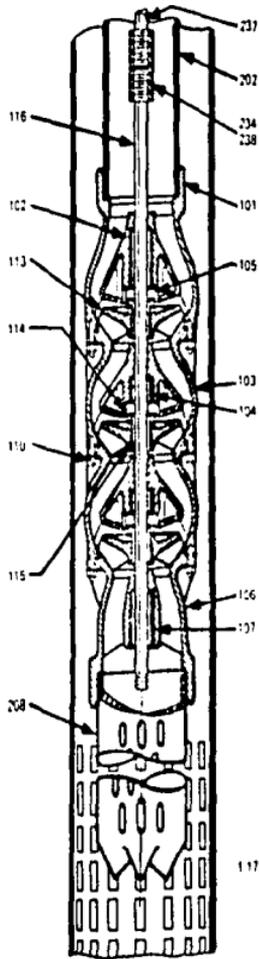
ILUSTRACIONES No. 1 y No. 1
 MODELO 6977
 Lubricación por Agua.
 MODELO 6972
 Lubricación por Aceite.
 PARTE SUPERIOR

470	Tubo de Columna Intermedio
475	Sección de 10" - 325 m.
317	Tubo de Columna Inferior y Superior
230	Sección de 5" - 152 m.
233	Cabe de Columna
232	Flecha Superior
230	Manivela de a Flecha Superior
231	Flecha Motriz a Flecha de impulso
232	Idem para eje vertical
234	Cabe de a Flecha de la Bomba
236	Manivela de a Flecha Motriz
240	Ranura numerada
241	Tabla de a Porcentaje
242	Chumbrera de Hue. Circular
243	Anillos separadores para Columna
245	Arroja de Hue para el Tubo Fondo
247	Flecha Superior
248	Flecha Motriz a Flecha Impulsora
249	Cabe para a Flecha Motriz
249	Tubo Fondo Superior
249	Chumbrera Unión
249	Anillo Distributor de Agua
249	Esfera
249	Tubo Ajustador
249	Cabe de a Prensa-Stop
249	Embrague
249	Terminal Obrero
249	Terminal de Cabeza Esquina
249	Embrague No. 261
249	Cabe de a Cabeza de la Suavente
249	Bee de Cabeza
249	Tubo de Conexión de a Grasa
249	Arroja de Fierro con y Anillo
249	Grasa del Esfero
249	Esfera de Agua de Lubricación
249	Tubo
249	Rota de a Columna
249	Embrague de Bida de a Columna
249	Terminal de Bida de a Columna
249	Chumbrera Superior
249	Tubo Ajustador del Tubo Fondo
249	Embrague
249	Tuerca Terminal del Tubo Fondo
249	Axle de Manivela
249	Soporte de a Aceite No. 255
249	Anillo de Soporte
249	Soporte de a Aceite No. 267
249	Tornillos de Soporte
249	Cuerpos de Lubricación
470	Tuerca de Axle
475	Caja

ILUSTRACION No. 2

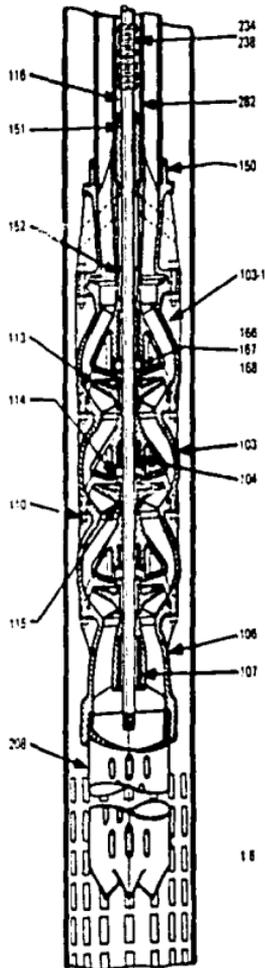


farbanks morse
 226



PARTE INFERIOR

- 101 Tazón de Descarga
- 102 Chumacera del Tazón de Descarga
- 103 Tazón Intermedio
- 103.1 Tazón Intermedio Superior
- 104 Chumacera del Tazón Intermedio
- 105 Anillo del Tazón
- 106 Tazón de Succión
- 107 Chumacera del Tazón de Succión
- 109 Perno Prisionero
- 110 Birlos del Tazón y Tuercas
- 113 Impulsor
- 114 Tuercas del Impulsor
- 115 Bujía o Cono del Impulsor
- 116 Fiecha de la Bomba
- 150 Tazón de Descarga
- 151 Chumacera Superior del Tazón de Descarga
- 152 Chumacera Inferior del Tazón de Descarga
- 166 Sello de Cuero U.
- 167 Anillo Soporte del Cuero U.
- 168 Anillo Expansor del Cuero U.
- 115 Copie de la Fiecha de la Bomba
- 202 Tubo de Columna Inferior y Superior (Sección de 5" - 1.52 m.)
- 208 Colector
- 233 Fiecha Inferior
- 234 Copie de la Fiecha de la Bomba (Sección de 5" - 1.52 m.)
- 238 Copie Reductor de la Fiecha de la Bomba
- 292 Tubo Funca Interior



NOTA.—Para detalles de los catenares de descarga, véase Ilustraciones numeras 11 y 12, para Juegos de Tazones, Ilustraciones numeras 16 y 17.

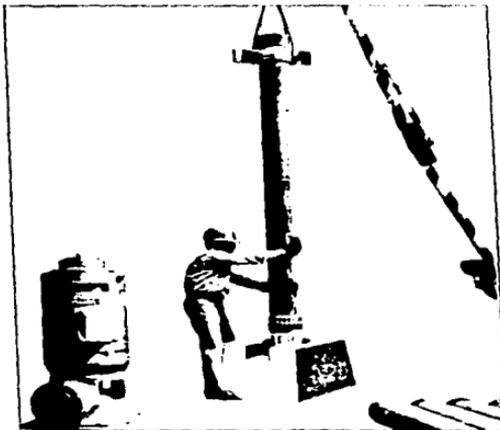


ILUSTRACIÓN No 3
Bajando el tubo de succión



ILUSTRACIÓN No 4
Enroscando el juego de tazones al tubo de succión

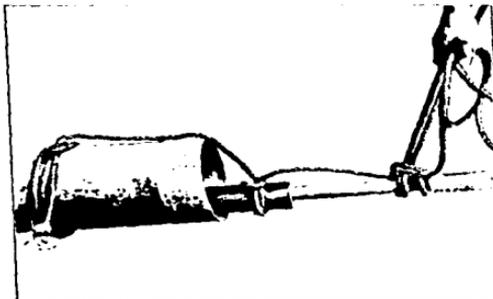
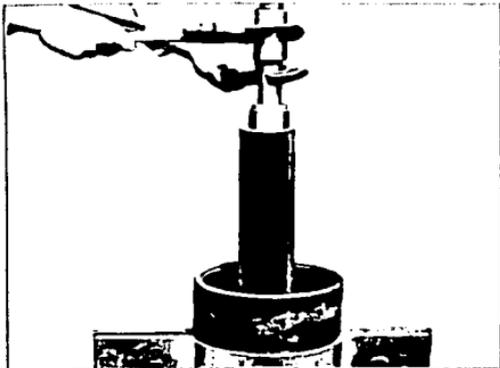


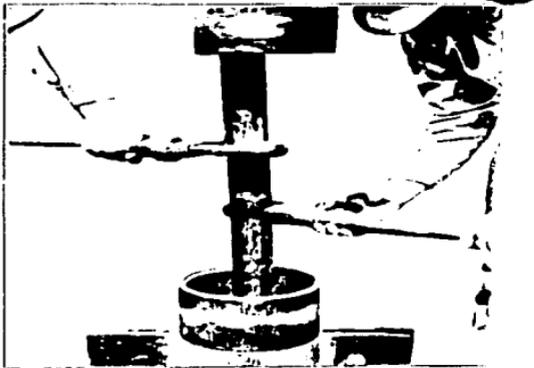
ILUSTRACIÓN No 5
Modo de atar las partes de una sección de columna antes de levantarla con la garrucha.



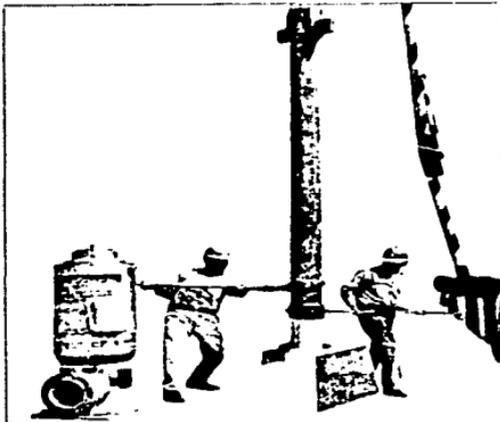
ILUSTRACIÓN No 6
Modo de detener la parte inferior de la sección de columna durante el proceso de levantarla.



ILUSTRACION No. 7
Modo de enroscar dos extremos de flechas



ILUSTRACION No. 8
Modo de enroscar dos extremos
de tubos de aceite (fundas)

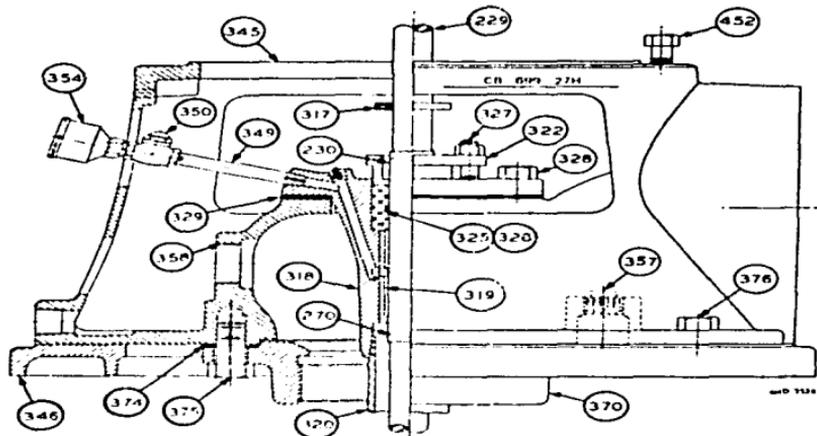


ILUSTRACION No. 9
Modo de enroscar dos secciones
del tubo exterior, evitando deformacion de los tubos



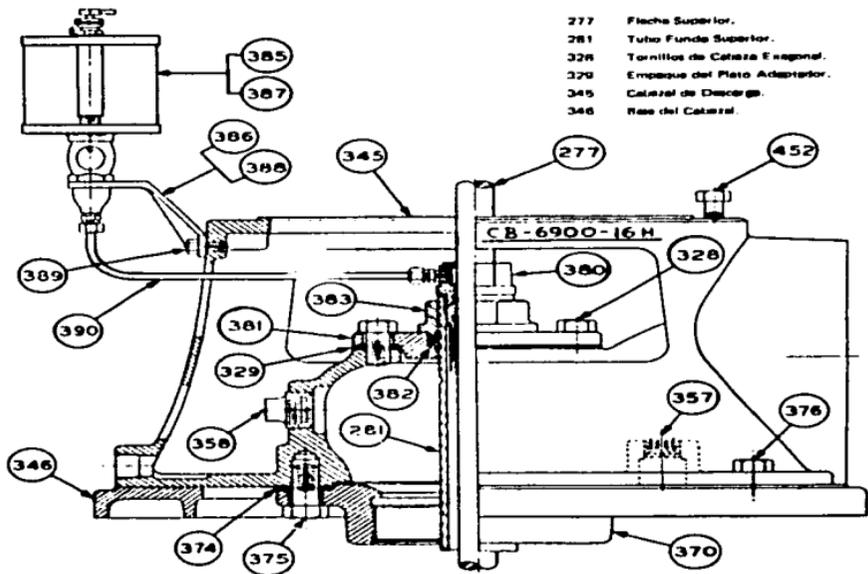
ILUSTRACION No. 10
Colocando el anillo separador No. 275
y la araña de hule No. 276 en su lugar.

ILUSTRACION No. 11
Partes del Cabezal de Descarga
Fig. 6977 (Lubricación por AGUA)



229	Flacha Superior	345	Cabezal de Descarga
230	Manguito de la Flacha Superior	346	Base del Cabezal
270	Anillo de Soldadura de Plata	348	Tubo de Conexión de la Grasea
317	Anillo dispensador de Agua	350	Válvula de Retención con Resorte
318	Estopero	354	Grasea del Estopero
319	Buje del Estopero	357	Tacón para facilitar pruebas
320	Tubo Acusador	358	Entrada del agua de prelubricación
322	Granfala del estopero	370	Bride de la Columna
325	Empaque	374	Empaque de la brida 370
326	Grasa para Empaque	375	Tornillos de la brida 370
327	Tornillos Obispos	376	Tornillos para fijar la Base 346
328	Tornillos de Cabeza Exagonal	452	Tornillos para fijar motor o Cabezal de Ingeniería
329	Empaque		

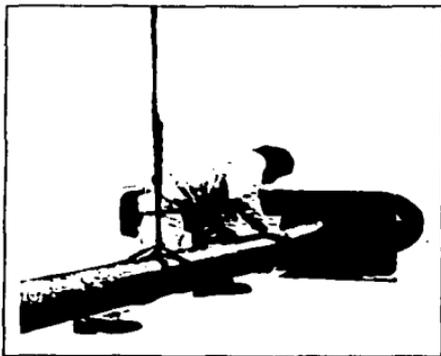
ILUSTRACION No. 12
Partes del Cabezal de Descarga
Fig. 6972 (Lubricación por ACEITE).



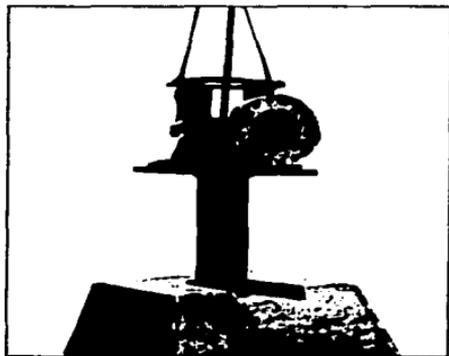
- 277 Flecha Superior.
- 281 Tubo Funde Superior.
- 328 Tornillos de Cabeza Exagonal.
- 329 Empaque del Plato Adaptador.
- 345 Cabezal de Descarga.
- 346 Base del Cabezal.

- 357 Tapón para Facilitar Pruebas.
- 358 Tapón.
- 370 Brides de la Columna.
- 374 Empaque para Brides 370.
- 375 Tornillos para Brides 370.
- 376 Tornillos para fijar Base 346.
- 380 Chumacera Superior.
- 381 Plato Adaptador.
- 382 Empaque.

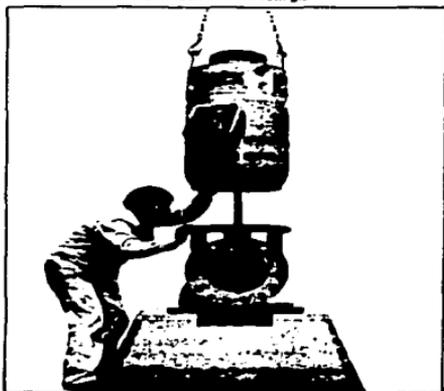
- 383 Tuerca Tensora de Tubo Funde.
- 385 Aceitera Manual.
- 386 Ménsula de la Aceitera 385.
- 387 Aceitera Automática (Solenoide).
- 388 Ménsula de la Aceitera 387.
- 389 Tornillos para Ménsula.
- 390 Tubo de Conexión.
- 452 Tornillos para fijar Motor o Cabezal de Engranaje.



ILUSTRACION No. 13 A
Enroscando el último tramo de columna al
cabezal de descarga.



ILUSTRACION No. 13 B
Bajando la bomba completa dentro
del pozo.

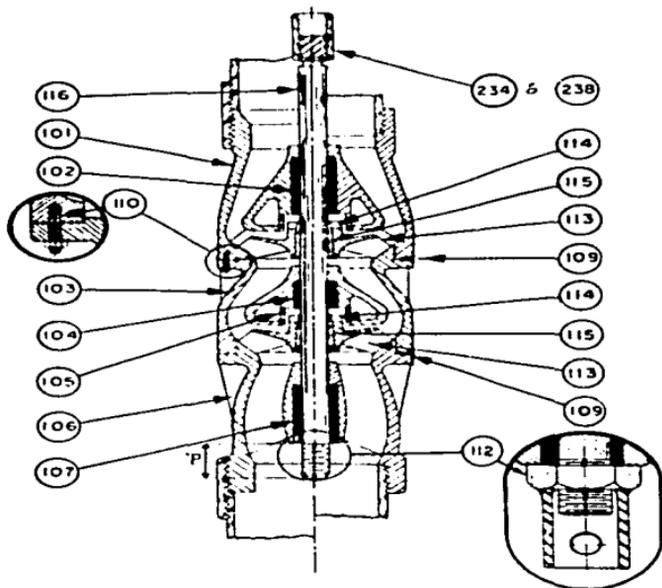


ILUSTRACION No. 14 A
Instalación del motor sobre el cabezal
evitando dañar la rosca de la
flecha superior.



ILUSTRACION No. 14 B
Modo de ajustar los impulsores para
dejar el claro necesario.

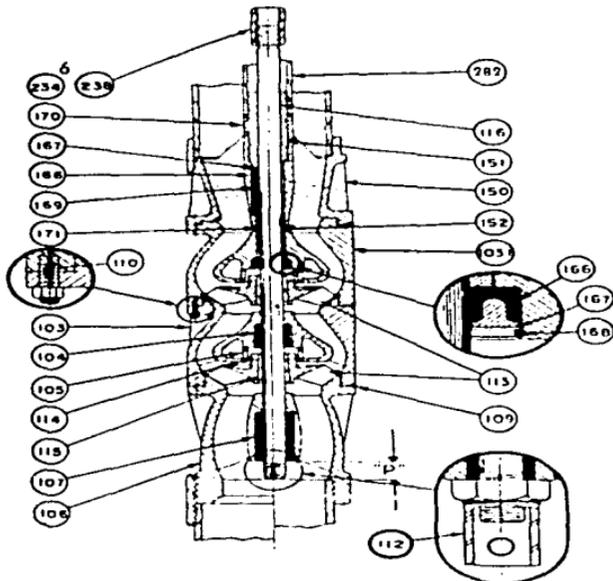
ILUSTRACION No. 16
 Identificación de Partes de la Bomba
 (JUEGO DE TAZONES)
 POMONA Fig. 6977 lubricada por AGUA



- 101 Tazón de Descarga
- 102 Chumacera del Tazón de Descarga
- 103 Tazón Intermedio
- 104 Chumacera del Tazón Intermedio
- 105 Anillo del Tazón
- 106 Tazón de Succión
- 107 Chumacera del Tazón de Succión
- 109 Perno Prisionero (uno en cada Tazón)

- 110 Bujes y Tuercas del Tazón (para cada Tazón)
- 111 Tuera para Armado del Juego
- 112 Impulsante impulsor
- 114 Tuera del impulsor
- 115 Bujes o Cono del impulsor
- 116 Flecha de la Bomba (de acero inoxidable)

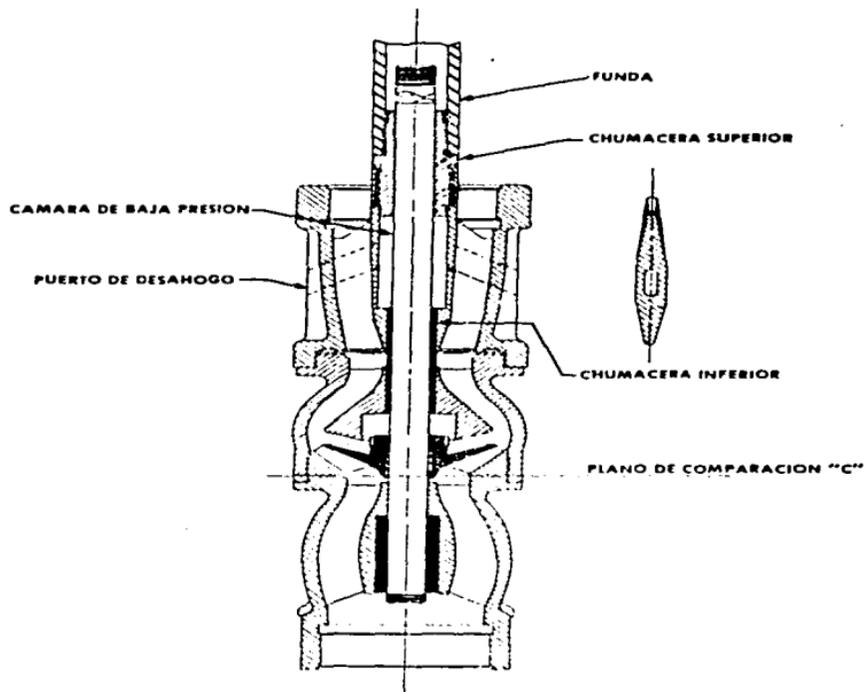
ILUSTRACION No. 17 - Identificación de Partes de la Bomba
(JUGGO DE TAZONES)
POMONA Fig. 6972 lubricada por ACEITE.



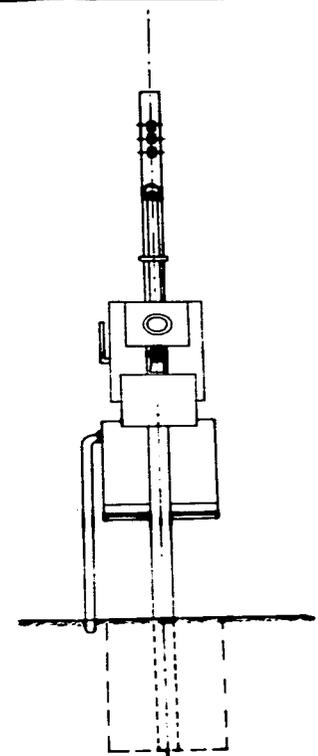
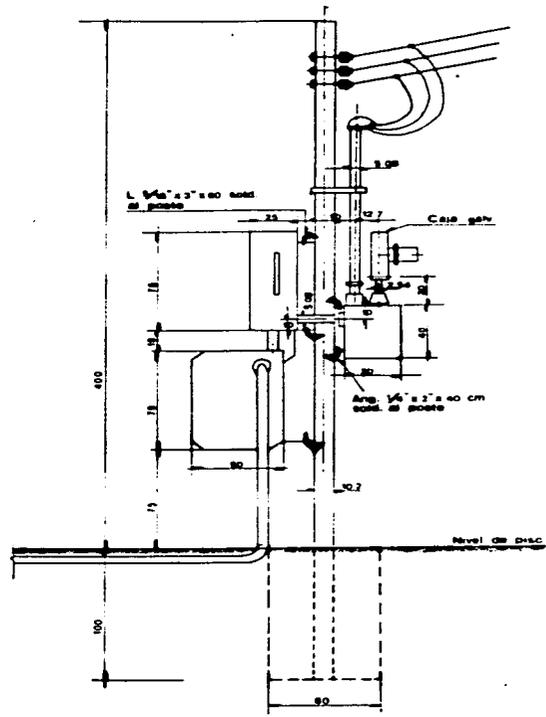
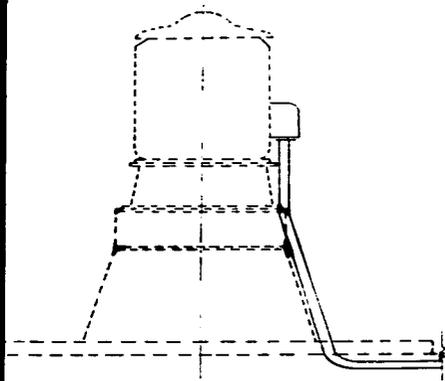
103	Tazón Intermedio	116	Efecto de la Bomba (se veen interiores)
103.1	Tazón Intermedio Superior	150	Tazón de Eterage
104	Chumacera del Tazón Intermedio	151	Chumacera Superior del Tazón de Eterage
105	Anillo del Tazón	152	Chumacera Inferior del Tazón de Eterage
106	Tazón de Succión	166	Sello de Cuero "U"
107	Chumacera del Tazón de Succión	167	Anillo de Soporte del Cuero "U"
109	Perno Pistonero luno para cada Tazón.	168	Anillo Expansor del Cuero "U"
110	Bulno y Tuercas del Tazón (para cada Tazón)	169	Sello "Multiple" de Cuero "U"
112	Tuerca para Armado del Juego	170	= Sin 151 en caso de usar Sello Multiple "U"
113	Impulante Impulsor	171	= Sin 152 en caso de usar Sello Multiple "U"
114	Tuerca del Impulsor		
115	Rueda o Como del Impulsor		

fairbanks morse

ILUSTRACION No. 18
CUERPO DE TAZONES FIG. 6972 LUB. ACEITE
SISTEMA SIN SELLOS



fairbanks morse



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
INGENIERIA CIVIL

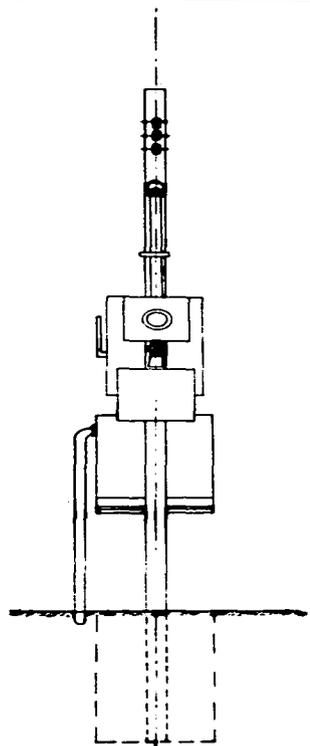
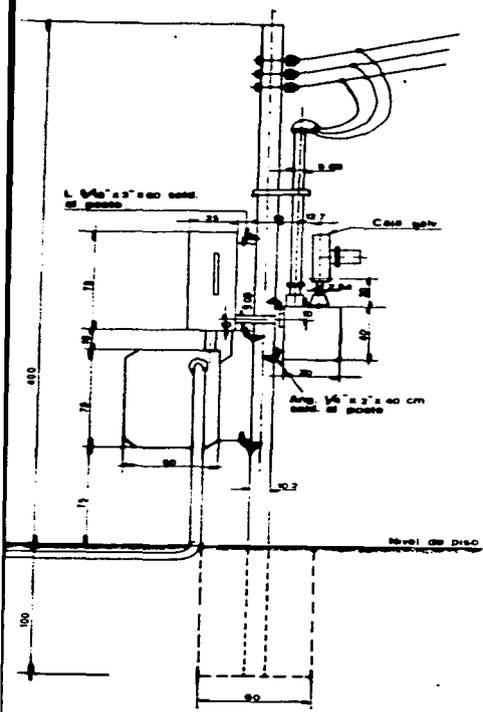
TESIS PROFESIONALES

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS PROFUNDOS

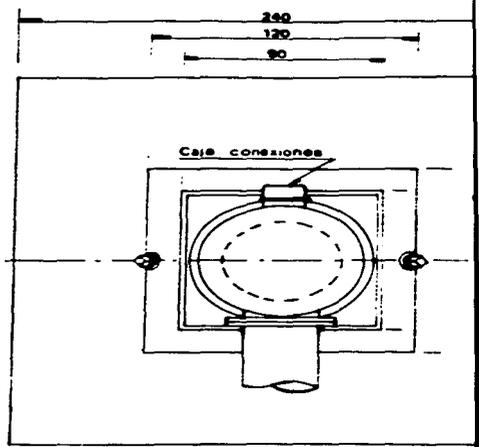
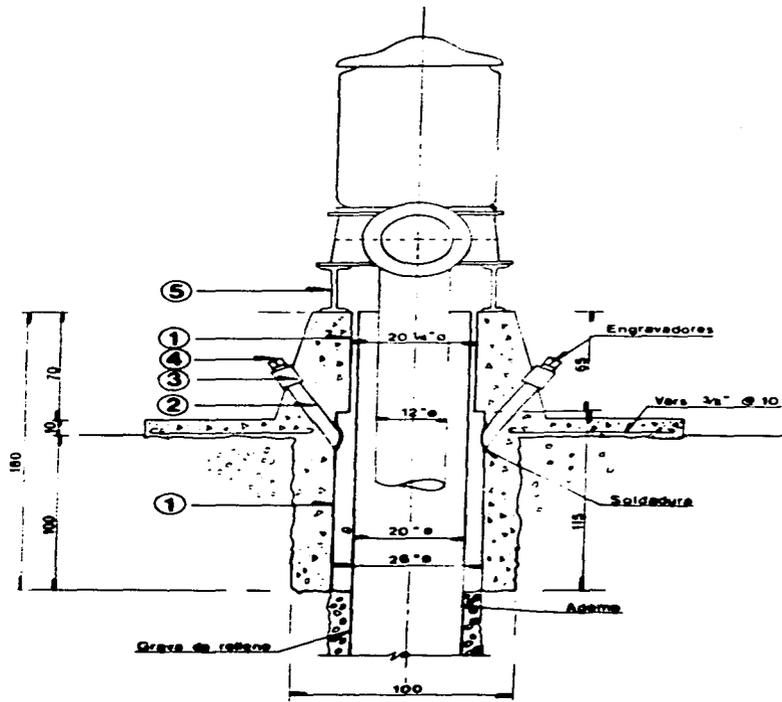
SOPORTE TIPO PARA EQUIPOS DE CONTROL EN BAJA TENSION DE BOMBAS PARA POZO PROFUNDO.

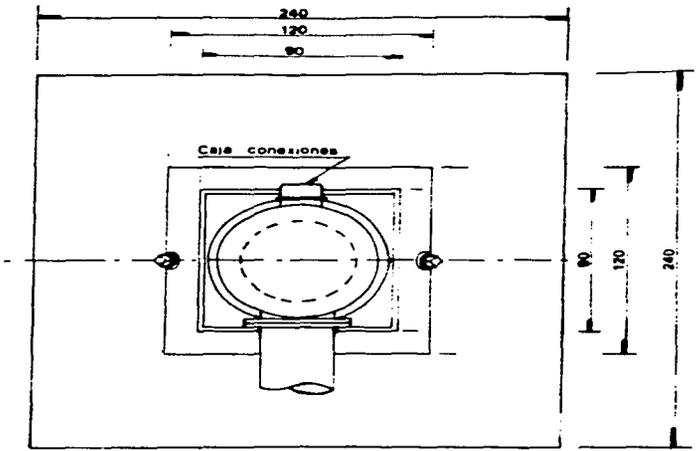
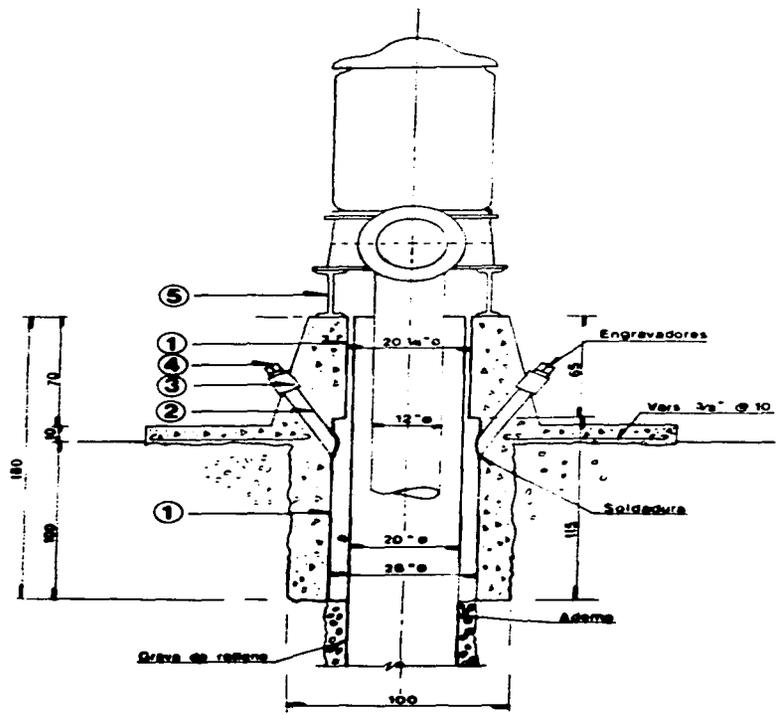
DIBUJO: BRAVO SERRANO HUMBERTO

REVISO: ING. CELIA MARTINEZ RAYON



	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON INGENIERIA CIVIL	
	TESIS PROFESIONAL	
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS PROFUNDOS		FECHA: SEPTIEMBRE DE 1967
SOPORTE TIPO PARA EQUIPOS DE CONTROL EN BAJA TENSION DE BOMBAS PARA POZO PROFUNDO.		ESCALA: 1:20 ACOT. CMS
DIBUJO: BRAVO SERRANO HUMBERTO		PLANO 1
REVISO: ING. CELIA MARTINEZ RAON		





LISTA		
PEA	CANT	DESCR
1	1	Pie
2	2	Pie
3	2	Pie
4	2	Pie
5	2	Pie

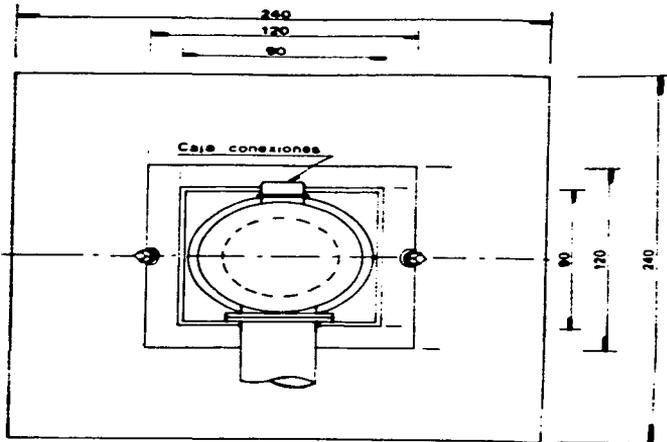


DISEÑO Y CONST

BASE TIP
BOMBEO

DIBUJO: BR

REVISO: INC



LISTA DE MATERIAL		
PIZA	CANT.	DESCRIPCION
1	1	Pza. Forno de laminado negro Ø 18, con diam. de 20" 1/2, en 60 cm. y anchura de 20" Ø de 180 cm., con dos tubos de escape de escape según dibujo
2	2	Pza. Tramo tubo de 3" Ø x 90 cm., con rosca en un extremo y cerrado a presión
3	2	Pza. Coque para tubo de 3" Ø
4	2	Tapon macho para tubo de 3" Ø
5	2	Tramo de varilla L de 12" y 90 cm. de longitud con teledisco para sujetar base de bomba



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
INGENIERIA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS PROFUNDOS

FECHA:
SEPTIEMBRE DE 1967

BASE TIPO PARA EQUIPOS DE
BOMBEO DE POZO PROFUNDO

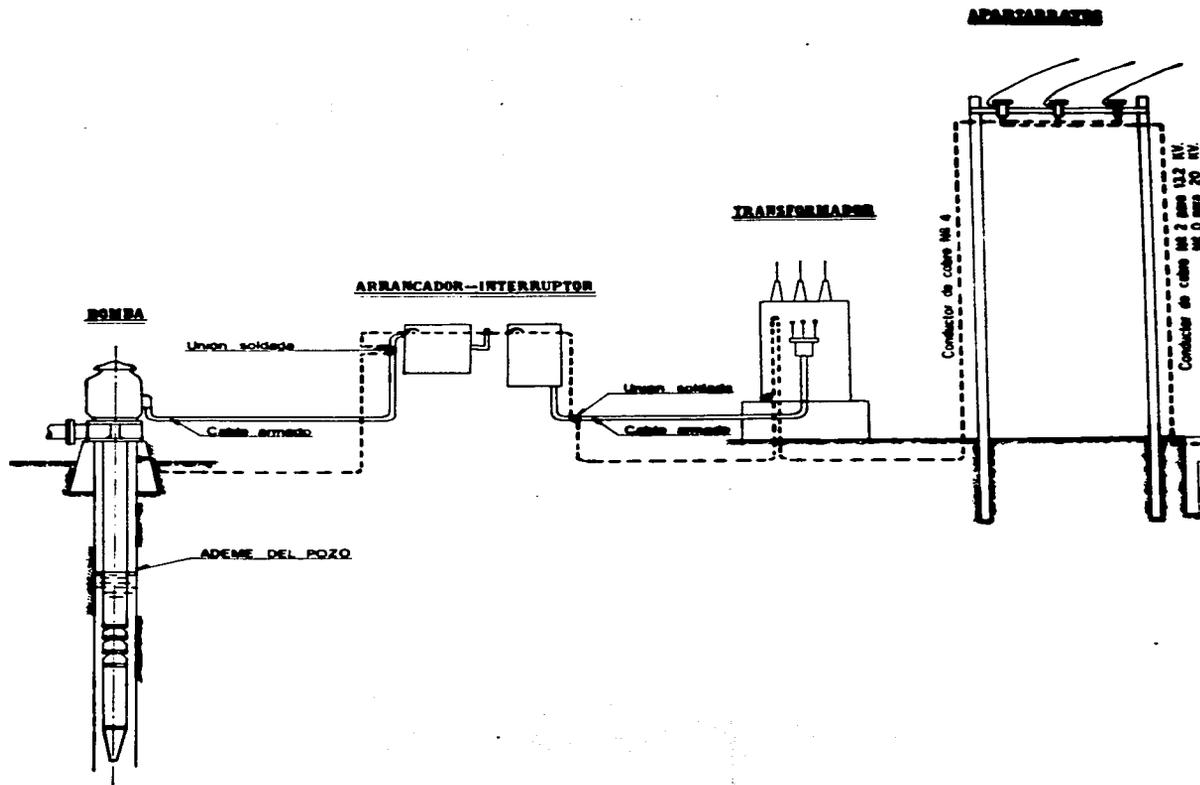
ESCALA:
1:20

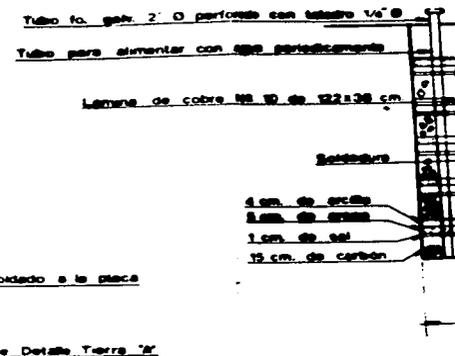
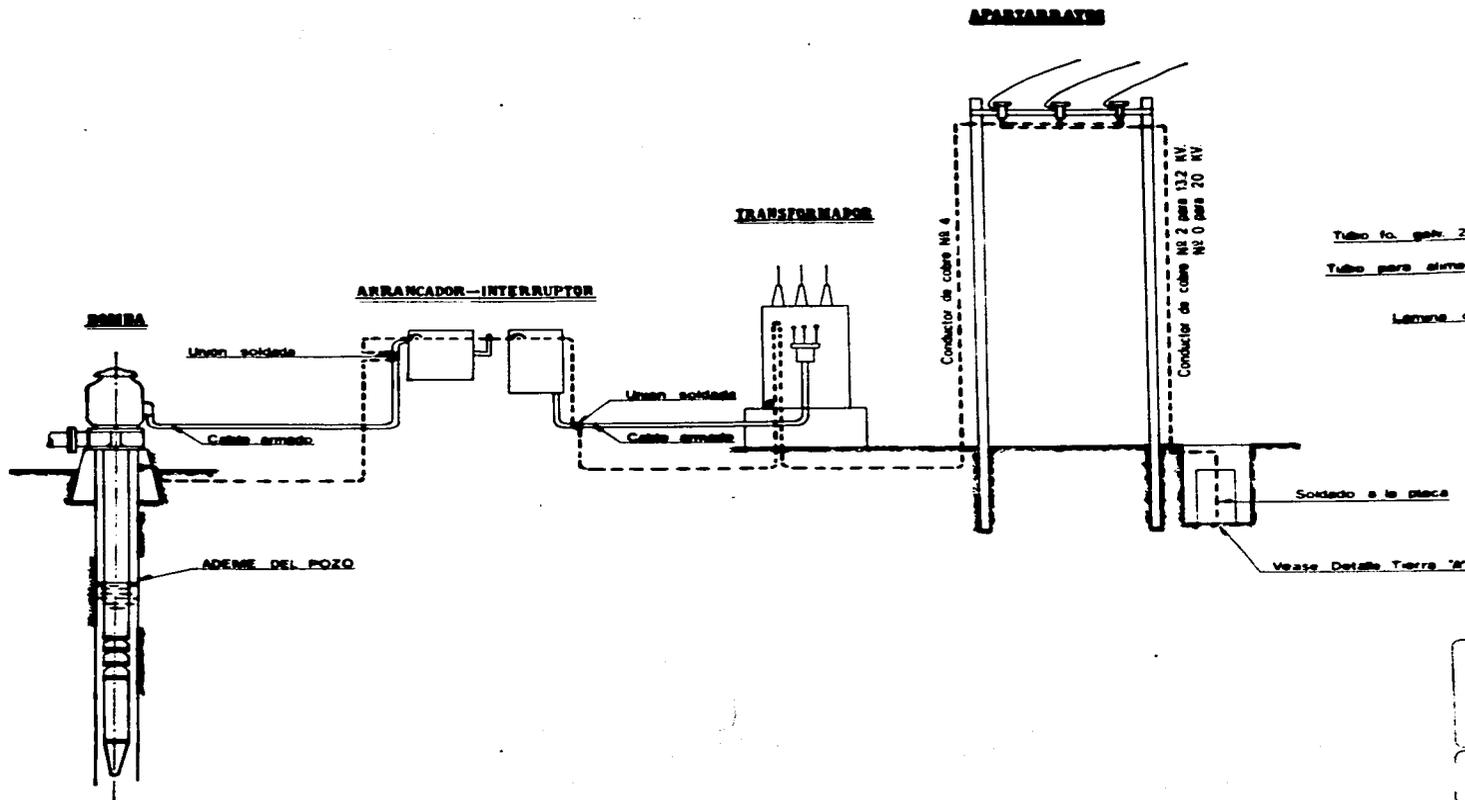
DIBUJO: BRAVO SERRANO HUMBERTO

ACOT: CMB

REVISO: ING CELIA MARTINEZ RAYON

PLANO 2





NOTA: Humedece



ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

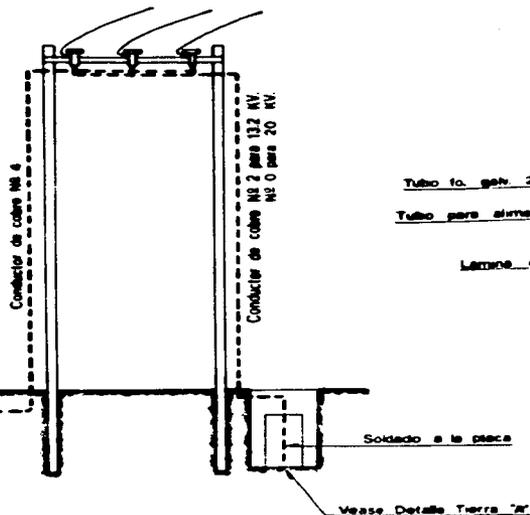
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE

DIAGRAMA DE A TIERRA PLANTAS DE

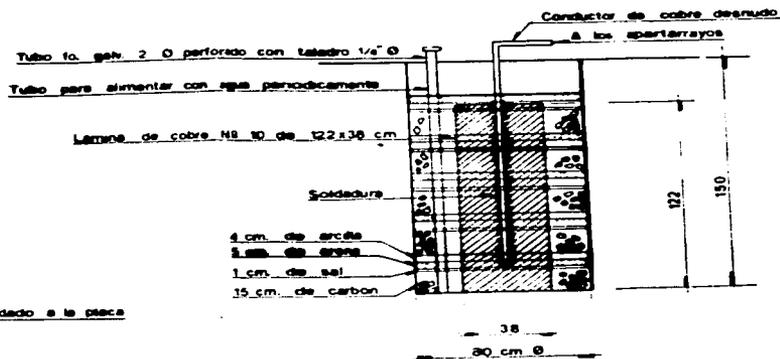
DIBUJO: BRAVO SERRA

REVISO: ING CELIA MA

APARTARRAYOS



DETALLE TIERRA "Z"



NOTA: Humedecer con agua cada capa



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
INGENIERIA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS PROFUNDOS

DIAGRAMA DE CONEXIONES
A TIERRA PARA
PLANTAS DE BOMBEO

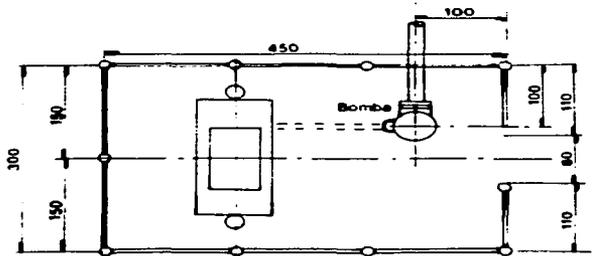
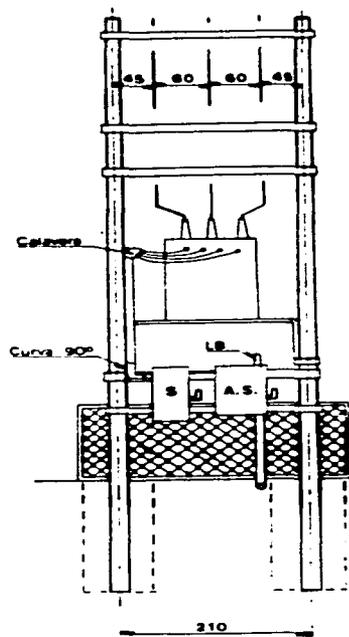
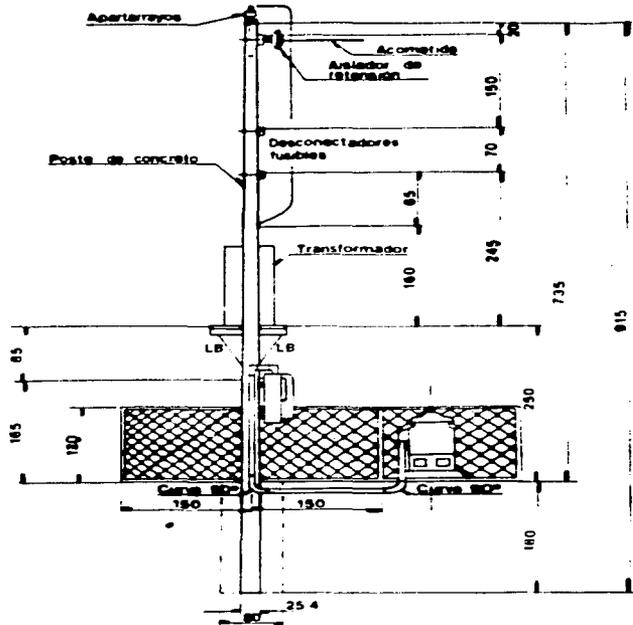
DIBUJO: BRAVO SERRANO HUMBERTO
REVISO: ING. CELIA MARTINEZ RAYON

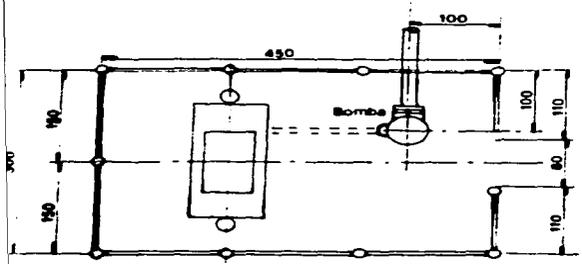
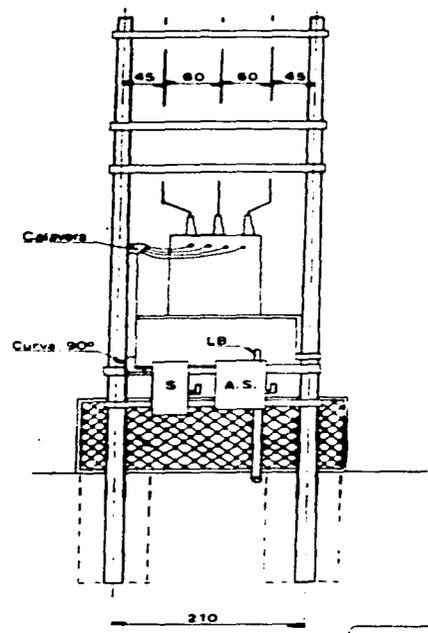
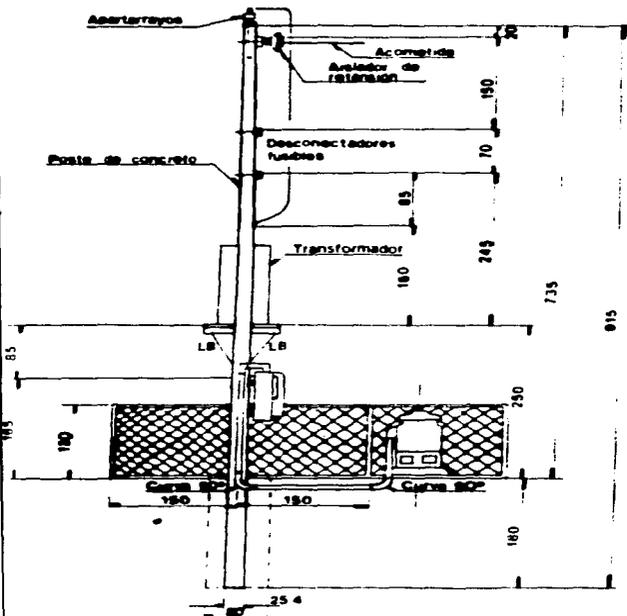
FECHA:
SEPTIEMBRE DE 1997

ESCALA:
SIN ESCALA

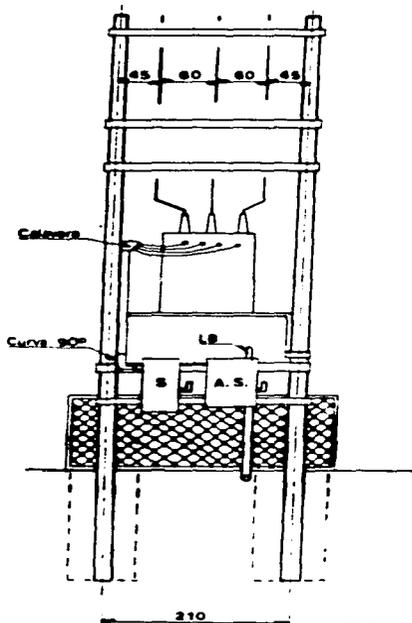
ACOT
CMS

PLANO 3





	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON INGENIERIA CIVIL	
	TESIS PROFESIONAL	
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS PROFUNDOS		FECHA: SEPTIEMBRE DE 1997
SUBSTACION TIPO PARA EQUIPOS DE BOMBEO DE POZOS		ESCALA: 1:50
DIBUJO: BRAVO SERRANO HUMBERTO REVISO: ING. CELIA MARTINEZ RAYON		ACOT: CMS
		PLANO 4



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
INGENIERIA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE POZOS PROFUNDOS

FECHA
SEPTIEMBRE DE 1997

SUBSTACION TIPO PARA EQUIPOS
DE BOMBEO DE POZOS

ESCALA 1:50

ACOT: CMS

DIBUJO: BRAVO SERRANO HUMBERTO

REVISO: ING. CELIA MARTINEZ RAYON

PLANO 4

CAPITULO V

**5. OPERACION Y
MANTENIMIENTO DE
POZOS PROFUNDOS**

CAPITULO V : OPERACION Y MANTENIMIENTO DE POZOS PROFUNDOS.

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

Aún no se han desarrollado métodos para la prevención completa de la incrustación en los pozos. Se han dado varios pasos para retardar el proceso y reducir la magnitud de sus efectos. Entre estos se encuentra el diseño adecuado de la rejilla del pozo y la reducción del régimen de bombeo, ambos dirigidos a reducir las velocidades de entrada en las rejillas y el embudo en los pozos. Por ejemplo, puede ser útil repartir la carga de bombeo entre un número más grande de pozos a fin de reducir el porcentaje de incrustación. Sin embargo, la solución última o final será un programa de limpieza regular.

5.1. IMPORTANCIA DE UNA OPERACION Y MANTENIMIENTO ADECUADOS.

Es normal que un pozo de agua pierda su productividad en forma gradual, a través de periodos de meses o años, tiempo suficiente para darse cuenta del problema y diagnosticar su origen, para inmediatamente programar y aplicar medidas correctivas.

En dicha programación las medidas correctivas pueden fijarse para fechas determinadas, seleccionando las más convenientes para afectar lo menos posible a los intereses del usuario del servicio.

Para lograr esto es absolutamente necesario tener registros que muestren el comportamiento del equipo de bombeo, del pozo y del acuífero. Esta historia registrada servirá para mantener siempre los costos de bombeo dentro de márgenes razonables de economía, así como diagnosticar la causa del problema y predecir la fecha en que deben realizarse los trabajos de mantenimiento con ventajas

adicionales, entre otras, un menor costo en comparación con el derivado de trabajos que pudieran catalogarse de emergencia, como pudiera ser la reparación de una falla repentina del equipo de bombeo.

Finalmente, de la operación y mantenimiento de los pozos, actividades durante las cuales se presentan precisamente los problemas más serios, se deriva información que retroalimenta a otras actividades tales como diseño y construcción de pozos, cuyos criterios y métodos deben ser sujetos a revisiones constantes en función de los problemas que se presentan durante la operación y mantenimiento.

Cabe hacer la aclaración que en este rubro nos referiremos a pozos profundos equipados con bombas del tipo llamado de turbina vertical, accionadas por medio de motores eléctricos y que explotan acuíferos constituidos en materiales granulares no consolidados, a menos que se hagan las aclaraciones pertinentes.

5.2. FACTORES QUE AFECTAN LA VIDA ÚTIL DE LOS POZOS.

Los factores principales que afectan y limitan la vida útil de los pozos son:

- a) Por condiciones regionales como abatimientos piezométricos o por afectaciones entre pozos cercanas durante su operación conjunta.
- b) Por un diseño inadecuado que se traduce en: producción de arenas y azolves durante la operación del pozo, así como un desgaste excesivo de los componentes del equipo de bombeo; una incrustación mecánica, y en velocidades mayores de corrosión e incrustación.
- c) Por la calidad del agua subterránea, que puede favorecer: incrustaciones debidas a precipitados químicos; intestaciones bacterianas o corrosión.

5.2.1. Condiciones regionales.

Abatimientos piezométricos regionales.

Respecto a las condiciones regionales, el grado de explotación de los acuíferos es un factor que puede ser muy importante tanto en el diseño como en el mantenimiento de pozos. En nuestro medio es frecuente la sobreexplotación de los acuíferos, reflejándose primeramente en un abatimiento gradual de los niveles piezométricos, y luego, toda una serie de efectos secundarios muchas veces indeseables. Entonces hay que tomar en consideración este abatimiento del

almacenamiento subterráneo, para tratar de proporcionar una larga vida útil a los pozos.

En otros casos el descenso de los niveles piezométricos con respecto al tiempo pueden deberse a las características propias del mismo acuífero, si el pozo se sujeta a un bombeo continuo. También puede suceder que una sequía prolongada, de varios años, sea la causa de los abatimientos piezométricos regionales.

Afectaciones entre pozos durante su operación conjunta.

Es frecuente que se construyan pozos muy cercanos entre sí, explotando además el mismo acuífero; luego entonces, no es de extrañarse que durante su operación conjunta se traslapen sus conos de depresión, induciendo abatimientos adicionales de los niveles de bombeo.

Tanto los abatimientos piezométricos regionales como las interferencias entre pozos, son por lo general efectos que no se pueden evitar; sin embargo, para los responsables de la operación y mantenimiento de sistemas hidráulicos cuya fuente primaria son los pozos, es importante estar capacitado para reconocer las causas que producen estos abatimientos y no confundirlos con otros, que pueden llevar a un desperdicio de dinero y esfuerzos intentando remediar un problema por medio de tratamientos diversos, a cual más de inapropiado.

5.2.2. Diseño inadecuado.

Producción de arenas y azolves.

Quizá el factor que incide con mayor frecuencia para reducir la vida útil de los pozos es su diseño, sobre todo en nuestro país, donde es evidentemente manifiesto que no se considera la granulometría de las formaciones del subsuelo para seleccionar la abertura apropiada de la rejilla, ni tampoco las características granulométricas que debe tener el filtro de grava y arena.

A este respecto estamos muy viciados en nuestros procedimientos. Por ignorancia o por facilidad de procesos administrativos, en las dependencias gubernamentales es muy común adquirir, aún desde antes de iniciar las perforaciones, la rejilla que se utilizará y que puede ser de cualquier abertura. Primero se deberían hacer, en todo caso, algunos sondeos exploratorios y con esta guía, llevar a cabo las adquisiciones correspondientes.

Ante estas circunstancias, es casi seguro que los pozos producirán arenas durante su operación, con todos los problemas inherentes que acarrea consigo.

Los pozos que producen poca arena pero en forma continua, pierden capacidad por el azolve paulatino del material en el fondo del pozo, pues no toda la producción es sacada por la bomba. Al mismo tiempo, se forman cavernas en el subsuelo que en el mejor de los casos se rellenan con el material del filtro, por lo que es necesario estar reponiéndolo; pero si por alguna consolidación de los materiales del filtro y de la formación, o por defectos como "puentes" durante la colocación de dicho filtro, no bajan sus materiales, se corre el riesgo de un colapso total, en el que por asentamiento súbito del terreno circundante se puede perder tanto el equipo de bombeo como el ademe del pozo.

Desgaste del equipo de bombeo.

Por lo que respecta al equipo de bombeo, es fácil imaginarse el deterioro que sufre cuando el pozo produce arenas. Hay lugares en donde las bombas no duran funcionando más allá de tres meses como promedio, cuando ya se hace necesaria su reparación completa; pero hay conocimiento de casos extremos, y no pocos, de bombas sumergibles que no duran 24 horas trabajando.

Concluyendo, la producción de arenas afecta tanto a la eficiencia del equipo de bombeo como a la eficiencia hidráulica del pozo.

Incrustación mecánica.

Se le llama así a una forma de taponamiento que afecta principalmente al filtro y a la formación circundante al pozo, causada por los materiales más finos de dicha formación, limos y arcillas que son arrastradas hacia el pozo a medida que transcurre el tiempo.

Puede considerarse como un tipo de incrustación que no sucede sino en raras ocasiones, debido a la presencia de estos finos en cantidades inusitadas dentro de la formación acuífera, o bien por un escaso desarrollo en pozos recién construidos.

En rigor, este problema se presenta más bien por una deficiente construcción del pozo en su etapa final, y no por omisión en el diseño.

5.2.3. Calidad del agua subterránea.

La calidad del agua subterránea es, sin duda alguna, otro factor de gran importancia que afecta la vida útil de un pozo. Por lo general, para su diseño es posible obtener antecedentes de la calidad del agua por alumbrar, información que permitirá conocer cuando menos alguna característica corrosiva o una tendencia a la formación de incrustaciones, o bien su neutralidad.

Lo anterior influye en la selección del metal o material apropiado para la rejilla, así como en la determinación de las aberturas de la misma, máxime cuando el agua manifiesta acentuadas tendencias corrosivas, caso en que se seleccionará una abertura ligeramente menor.

En realidad no existe garantía de que no se presenten corrosión o incrustación en las rejillas de un ademe, pero si en su diseño se ha considerado una baja velocidad de entrada del agua al pozo, también será mínima la velocidad con que se manifieste tanto la corrosión como la incrustación.

A continuación mencionaremos algunos tipos de incrustación y corrosión que más afectan la vida útil de un pozo.

Incrustación química.

Este tipo de incrustación se refiere a la costra mineral que se forma en las rejillas del pozo y en el entorno de las mismas, afectando a los materiales del filtro e incluso a la formación acuífera.

El abatimiento inducido por el bombeo en un pozo produce una baja de presión en el acuífero, liberando bióxido de carbono. Esta liberación provoca un desequilibrio químico entre los componentes minerales del agua subterránea, que los obliga a precipitarse y formar costras insolubles.

Las distintas formas de incrustación, en orden de la frecuencia en que se presentan generalmente, son:

- Incrustaciones por la precipitación de carbonatos de calcio y magnesio o de sus sulfatos.
- Incrustaciones por la precipitación de componentes de hierro y manganeso, principalmente sus hidróxidos.

La mayoría de los carbonatos, sulfatos o hidróxidos son insolubles, consecuentemente casi siempre son los que producen el material incrustante. Se puede reducir la probabilidad de incrustaciones por hidróxidos, ya que ciertamente son insolubles en aguas con un pH mayor que 9, pero como en la mayoría de las aguas subterráneas el pH varía entre 5 y 8, en estos casos los hidróxidos no causan

problemas de incrustación, o estos son menores.

Con la determinación de la "Relación de la Incrustación Potencial" (RIP), o del Índice de estabilidad de Ryznar (IR), se puede investigar la posibilidad de incrustación mineral o bien predecir la posibilidad de que se presente este problema durante el diseño de un pozo.

La relación de incrustación potencial se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$RIP = \frac{\text{Alcalinidad total (como ppm CaCO}_3\text{)} \times \text{Dureza Ca (ppm CaCO}_3\text{)}}{10.4 \times 10^{(H^+)}}$$

Los términos del numerador vienen por lo regular reportados directamente de los análisis químicos de laboratorio, y el valor del término (H⁺) del denominador se saca de la tabla siguiente:

pH	(H ⁺) m/l	pH	(H ⁺) m/l
6.0	1 x 10	7.0	1 x 10
6.1	8 x 10	7.1	8 x 10
6.2	6.3 x 10	7.2	6.3 x 10
6.3	5 x 10	7.3	5 x 10
6.4	4 x 10	7.4	4 x 10
6.5	3.2 x 10	7.5	3.2 x 10
6.6	2.5 x 10	7.6	2.5 x 10
6.7	2 x 10	7.7	2 x 10
6.8	1.6 x 10	7.8	1.6 x 10
6.9	1.3 x 10	7.9	1.3 x 10

TABLA 5.1. Conversión del pH a concentración del ión hidrógeno.

Si el resultado de la fórmula nos indica:

RIP > 1 : no deben presentarse problemas de carbonato de calcio, pero si

RIP < 1 : hay problemas potenciales de incrustación de carbonato de calcio.

Incrustación bacteriana.

Los pozos son susceptibles de ser afectados por la proliferación de bacterias, principalmente la del hierro, que se alimenta de esta sustancia disuelta en las aguas subterráneas y la deposita en forma de hidróxido.

El resultado de estas depositaciones y del ciclo biológico de la bacteria es un material plástico, generalmente de color rojizo, que afecta a las rejillas del

ademe y el material circundante del pozo, reduciendo su caudal de producción notablemente y por lo general en menos tiempo que las incrustaciones químicas.

Existen varios tipos de bacterias del hierro, y uno de los criterios para clasificarlas es la forma por la cual depositan a este mineral. Otro criterio de clasificación de la bacteria fijadora del hierro es según la forma física de estos organismos.

La bacteria y las incrustaciones que produce se hallan generalmente en:

- a) aguas someras, debido probablemente a que es aeróbica;
- b) aguas con temperaturas de 19°C o menores;
- c) aguas con altos contenidos de hierro y manganeso, bastando concentraciones tan bajas como 1 ppm para mantener su crecimiento;
- d) aguas con menos de 1000 ppm de sólidos totales disueltos.

Por otro lado, raramente se hallan en aguas subterráneas con altos contenidos de sólidos disueltos o de cloro, ni a temperaturas mayores de 22°C.

Corrosión.

La corrosión, como ya se mencionó, es otro factor que limita la vida útil de la rejilla de un pozo, y desde luego está asociada más a menudo con rejillas de acero al bajo carbón.

Los tres factores que controlan la velocidad de corrosión son:

- a) la química del agua subterránea;
- b) el material de la rejilla, y
- c) la velocidad de entrada del agua dentro del pozo a través de la citada rejilla.

Obviamente la calidad del agua no puede alterarse en los pozos; sin embargo, una vez conocidas sus características corrosivas, se puede recomendar el material de la rejilla capaz de proporcionar una mayor resistencia a sus efectos.

Algunas características del agua que en forma independiente o en combinación pueden considerarse como indicadores de corrosión, son:

- 1.- Un pH del agua subterránea menor de 7.
- 2.- La presencia de oxígeno disuelto, incluso en aguas ligeramente alcalinas (pH hasta de 8).
- 3.- La presencia de sulfuro de hidrógeno, aumentando la posibilidad de corrosión a medida que aumenta su concentración.
- 4.- Altos contenidos de sólidos disueltos, sobre todo arriba de 1000 ppm.

5.- Más de 50 ppm de dióxido de carbono.

6.- Más de 300 ppm de cloruros.

7.- Las reacciones químicas corrosivas tienden a incrementar su velocidad a medida que aumenta la temperatura del agua subterránea.

El tercer factor, o sea la velocidad de entrada del agua dentro del pozo, es más complejo. Ya se dijo que si sobrepasa la norma de diseño puede acelerar el proceso de corrosión cuando es ácida la tendencia del agua.

A mayor velocidad de entrada se propicia la remoción de una película inerte, protectora, alrededor de la superficie del metal, formada por atracciones electrostáticas de iones metálicos, fenómeno conocido como "polarización concentrada". El hecho de remover esta película protectora se combina con la exposición directa de la superficie del metal a la acción de una corriente corrosiva.

El resultado más apreciable al cabo del tiempo es, desde luego, un ensanchamiento de la abertura de la rejilla que finalmente permite el paso de las arenas dentro del pozo. Por consiguiente, para determinar la vida útil de una rejilla es necesario saber qué tan rápido serán afectadas dichas aberturas. Esto es posible conociendo las características químicas del agua alumbrada.

Pero la corrosión también afecta a la tubería de ademe de fierro, reduciendo su resistencia al grado de punto de colapso, tanto en la rejilla como en la misma tubería lisa.

Otro efecto puede ser la redistribución de los materiales producto de la corrosión en la sección de rejillas, que es en realidad una incrustación. Esto puede reducir el rendimiento del pozo y llevarlo a nivel de falla.

Ahora bien, en realidad se distinguen dos procesos de corrosión, uno llamado químico y otro electroquímico. El proceso químico puede ocurrir cuando alguno de los elementos mencionados anteriormente está presente en forma particular o combinada, en concentraciones suficientes como para producir la remoción del material superficial. En el proceso electroquímico el ataque sobre el metal va acompañado con el flujo de una corriente eléctrica, originada por una diferencia en potencial eléctrico sobre la superficie del metal y por agua que, al contener suficientes sales disueltas, funciona como fluido conductor.

La diferencia de potencial puede ocurrir entre dos distintas clases de metal, funcionando una como ánodo y otra como cátodo, afectando la corrosión del ánodo en el sentido de remoción del metal, que es depositado en el cátodo.

5.3. MEDICIONES Y DIAGNOSTICO.

5.3.1. Información general.

Para poder diagnosticar cuál es la causa que origina la pérdida de productividad en un pozo, es absolutamente necesario tener registros que muestren su comportamiento.

Estos registros involucran mediciones periódicas enfocadas a valuar las eficiencias electromecánicas del conjunto motor-bomba, por un lado, y por otro, la eficiencia hidráulica del pozo, lo que permite diagnosticar en un momento dado dónde se localiza el problema, si en el motor, la bomba o el pozo.

Estas mediciones representan una parte muy importante del mantenimiento preventivo de un pozo, e infortunadamente todos los usuarios, sean particulares, cooperativas, industriales u organismos oficiales, son extremadamente reacios a invertir dinero en dicho mantenimiento preventivo; de hecho, las reparaciones y tratamientos se realizan solamente ante una falla total.

5.3.2. Problemas de reducción de rendimiento en los pozos.

La reducción del rendimiento de los pozos no se refiere exclusivamente a una disminución del caudal de producción; contempla además un abatimiento adicional del nivel de bombeo, bastando unos cuantos metros para reflejarse en un incremento muy importante del consumo de energía, y por lo tanto, en los costos de operación.

Eficiencias electromecánicas.

La eficiencia electromecánica del conjunto motor-bomba se determina calculando la potencia entregada al motor y la potencia que utiliza la bomba. El cociente de dividir la potencia de la bomba entre la del motor, expresado en porciento, es la eficiencia con que funciona el sistema. Así, tenemos que:

$$\text{Efic. total} = \text{HP bomba}/\text{HP motor}.$$

La potencia puede expresarse mecánica o eléctricamente, midiéndose en caballos de potencia y en kilowatts, respectivamente.

En condiciones óptimas de operación, esta eficiencia es por lo general del orden del 75 %. Cuando esta eficiencia baja lo suficiente como para hacer

irreductible el costo por unidad volumétrica bombeada, es hora de efectuar reparaciones.

En nuestro medio no hay estadística que permita fijar este punto crítico, y lo mismo se bombea con eficiencias electromecánicas del 75 % que del 25 % y aún menos, por ejemplo cuando los alabes de los impulsores han sido erosionados por producción de arenas y sin importar el costo de la energía consumida, que en este caso se incrementa por un mayor tiempo de operación, el necesario para bombear el mismo volumen demandado.

Conviene recordar que la eficiencia determinada es total, es decir, la del motor y la bomba, y que por otro lado es igual al producto de la eficiencia del motor por la de la bomba. En buenas condiciones la del motor eléctrico anda oscilando entre el 90 % y la de la bomba es del orden del 80 %; su producto es 76 %. Por lo tanto es necesario exigir al fabricante o al vendedor las gráficas del comportamiento de la bomba.

Eficiencia hidráulica de los pozos.

La eficiencia hidráulica de los pozos se puede medir a través de su capacidad o caudal específico, que se define como el caudal bombeado entre el abatimiento inducido:

$$C_e = Q \text{ (l.p.s.)} / s \text{ (m)} \quad \text{en litros/seg./m.}$$

Este parámetro es el mejor indicador del funcionamiento de cada pozo en particular, y su valor depende de las características del acuífero, del diseño y construcción del pozo y, finalmente, de las condiciones en que se halle dicha estructura.

Las variaciones del caudal específico a través del tiempo indican cambios en las condiciones del pozo, y su valor decrece a medida en que se incrementan los abatimientos. En realidad, a un abatimiento mayor corresponde igualmente una mayor carga dinámica a superar por la bomba, reduciendo también, pero en menor proporción, el caudal de bombeo. Esto se puede ver en la gráfica de la eficiencia de los impulsores de la bomba.

Las causas de un decremento del caudal específico pueden ser: un azolve depositado gradualmente en el fondo del pozo, o bien incrustaciones que pueden ser minerales, bacterianas o una combinación de ambas.

5.3.3. Mediciones y registros.

De acuerdo con lo expuesto en relación con las eficiencias, las mediciones que deben hacerse periódicamente, son: voltaje y amperaje de la energía suministrada al motor; el caudal de bombeo; la carga dinámica total, que es la profundidad del nivel de bombeo más la presión de la descarga contra la que también trabaja la bomba; los niveles estático y dinámico y el régimen de bombeo. La frecuencia recomendada para tomar estos datos es de un mes.

Además, es conveniente tomar también periódicamente muestras de agua para su análisis químico. La frecuencia recomendada para esta actividad es semestral, dado que las variaciones de la calidad del agua son fenómenos que, si se dan, requieren de bastante tiempo para manifestarse.

Así mismo, es conveniente hacer el análisis bacteriológico que debe tener una frecuencia quizá mensual o menor si se trata de abastecimiento de agua potable.

El registro de toda esta información puede complementarse objetivamente en forma de gráficas, que deben mantenerse siempre actualizadas. Dichas gráficas son muy simples, correlacionando los valores de cada parámetro con respecto al tiempo, tanto los medidos en forma directa como los calculados que se derivan de ellos.

Para efectuar algunas de las medidas enunciadas es necesario de dotar al pozo de dispositivos especiales. Determinar el caudal de bombeo requiere de un medidor o integrador de flujo instalado en la tubería de descarga, imprescindible si dicha descarga está conectada directamente a la red de distribución, además de un manómetro para registrar la carga dinámica adicional en la descarga. En caso de descarga libre, pueden ser varios los métodos de aforo, pero no requieren necesariamente una instalación fija.

Las profundidades de los niveles piezométricos pueden medirse con sonda eléctrica o neumática. En el primer caso el pozo debe tener cuando menos un agujero en la tubería de ademe o una tubería de pequeño diámetro para introducir el cable de dicha sonda. En caso de la sonda neumática, es necesaria la instalación de la tubería de pequeño diámetro con una válvula en su extremo superior para mantener la presión interna. La longitud de la tubería de pequeño diámetro debe ser la de la columna de succión de la bomba.

Estos y otros requerimientos deben tomarse en cuenta desde el diseño del pozo, por lo que se refiere a los detalles constructivos de su terminación, incluyendo la caseta de protección a las instalaciones.

5.4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

No obstante el mantenimiento de los pozos casi siempre es una actividad relegada, basta una escasez del agua para probar que es redituable un programa de mantenimiento al pozo.

Un pozo sin mantenimiento es, por lo regular, ineficiente y costoso; para asegurarle una larga vida útil, libre de problemas mayores, deben llevarse a cabo las mediciones descritas y su correcta interpretación, para que sin dilaciones se sujete a los tratamientos apropiados o bien a la reparación de la bomba.

Estas mediciones representan parte de un mantenimiento preventivo, que incluye además algunas actividades que acostumbra llamar de mantenimiento menor.

5.4.1. Observación del comportamiento del pozo y equipo de bombeo.

En otros países y bajo otras circunstancias, los buenos operadores llevan un registro del comportamiento del pozo en general, de acuerdo con un calendario establecido y que involucra los siguientes puntos:

- 1.- Inspección del motor eléctrico o de combustión interna, poniendo atención para escuchar cualquier ruido o vibración del equipo de bombeo, especialmente al arranque.
- 2.- Observar la claridad del agua, reportando si está afectada por turbidez o arrastre de arenas, sobre todo durante los primeros minutos después del arranque.
- 3.- Mantener pintada, limpia y ordenada la caseta de bombeo y todo el equipo. En cuanto a la pintura, es un trabajo periódico, quizá anual en climas tropicales y con periodos más largos en climas benignos.
- 4.- Verificar el nivel de aceite, tanto del motor eléctrico como del depósito y su lubricación, contando las gotas que bajan a la flecha, cuando el equipo es de lubricación por aceite.
- 5.- Verificar los aparatos de prelubricación y los controles de lubricación de agua cuando la bomba es lubricada con este fluido.
- 6.- Revisar la prensa del estopero, si hay fugas, empacar nuevamente.
- 7.- Mediciones periódicas enfocadas, como ya se dijo, a determinar las eficiencias electromecánicas e hidráulicas.
- 8.- Mediciones periódicas enfocadas a la calidad del agua alumbrada, tanto química como bacteriológicamente.
- 9.- Desmantelamiento del equipo de bombeo, revisión y reparación si es necesaria,

de acuerdo con un programa establecido. Bajo circunstancias normales es recomendable hacerlo cada 6 o 7 años, pero si el agua es corrosiva, si se bombean arenas y la bomba opera continuamente, debe desmontarse para revisión con mayor frecuencia.

Todo esto en su totalidad es lo que comprendería un buen mantenimiento preventivo, pero cabe hacer algunos comentarios acerca de estos puntos sobre todo en nuestras condiciones reales.

Tratando de adecuar a nuestro medio un programa de mantenimiento preventivo, es común que se realicen en buena parte estas actividades, digamos que las comprendidas en los primeros seis puntos. Cabe abundar, dada la frecuencia con que se presenta producción de arena en los pozos, en algunas zonas se han dotado de tanques desarenadores en sus descargas, requiriendo de purgas periódicas inclusive varias veces al día.

En estos casos de producción de arena es necesario verificar el nivel de engravado del pozo, para cerciorarse de que las cavernas que se forman en el subsuelo se rellenan con el material del filtro. Si así fuera, hay que reponer periódicamente este material; en caso contrario, el riesgo de un colapso total es mayor si se sigue operando el pozo. En consecuencia, el tener acceso a la cámara del filtro para su reposición es otro requisito que debe tomarse en cuenta en el diseño del pozo.

Respecto al punto 7, las mediciones enfocadas a determinar eficiencias electromecánicas e hidráulicas son, en nuestro medio, escasas e incompletas, cuando no adolecen de errores consistentes en no esperar el tiempo suficiente para medir niveles piezométricos, por ejemplo: tanto para que se establezca bien el régimen de bombeo y medir el nivel dinámico, como para esperar a que se recupere plenamente y medir el nivel estático.

Por lo que toca al punto 8, digamos que aunque no es una actividad sistemática y generalizada, en nuestro país se puede obtener información suficiente como para verificar que no haya demérito en la calidad del agua alumbrada o contaminaciones de la misma, cuando menos en la mayor parte de las regiones acuíferas.

Concerniente al último punto, no se hace este tipo de mantenimiento preventivo: cuando se desmonta un equipo de bombeo es, de hecho, ante una falla total.

5.4.2. Mantenimiento de los equipos electromecánicos.

Fuera de lo que es el equipo electromecánico propio del pozo, podemos

considerar las instalaciones periféricas eléctricas que también requieren mantenimiento preventivo, es decir, cuchilla fusible, apartarrayos, transformador, interruptores y arrancadores.

Básicamente las medidas preventivas se reducen a verificar las tenciones de suministro, que por lo general están dentro de tolerancia, pues es un renglon que cuida mucho la C.F.E., ya que ineficiencias al respecto le cuestan demasiado caras o serias reclamaciones.

5.5. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

El mantenimiento correctivo se refiere a las reparaciones de las instalaciones eléctricas, motor o bomba, o bien las inspecciones y tratamientos enfocados a restaurar la eficiencia de los pozos, de acuerdo con el problema específico que se haya diagnosticado. Estas actividades deben quedar a cargo de personal técnico especializado y responsable, pues son problemas cuya solución, por lo general, queda fuera de la capacidad del operador de un sistema hidráulico.

5.5.1. Instalaciones eléctricas.

Normalmente este mantenimiento correctivo se limita a la reposición de las cuchillas-fusibles, o sean los elementos de seguridad de las instalaciones eléctricas de los pozos.

Desde luego, pero en forma ocasional, es necesario reparar o cambiar el transformador de la corriente, trabajo que queda bajo la responsabilidad de la C.F.E.

5.5.2. Motores.

Los diferentes síntomas de averías en los motores eléctricos tales como zumbidos, pérdida de velocidad ante la carga acoplada, elevaciones de temperatura, humo, trepidación o vibración, son motivo de atención inmediata por personal especializado, y su reparación exige muchas veces llevarlos al taller.

Las reparaciones más comunes están relacionadas con los devanados del motor, aislamientos, torceduras del eje, desgaste de cojinetes, etc. Si el fabricante proporciona servicio de mantenimiento, posiblemente sea la mejor opción por las

garantías colaterales que ofrecen; en caso contrario, la supervisión de las reparaciones cobra mayor trascendencia.

5.5.3. Equipo de bombeo.

Las reparaciones del equipo de bombeo son obvias y de todos conocidas, como resultado de una inspección cuidadosa de todas y cada una de sus partes: tazones, impulsores, flechas, cubiertas, chumaceras, contradores, tubería de la columna de succión, cople, etc., tanto por lo que respecta a desgastes de dichos elementos como por corrosión. El alineamiento de los tramos de la flecha, el balanceo de los impulsores, etc., son algunos de los trabajos rutinarios al inspeccionar y reparar la bomba.

Una vez reparada, su instalación requiere tanto cuidado como si fuera nueva. Una instalación irresponsable originará problemas a corto plazo, arruinando la mejor de las bombas. El cabezal y el motor deben asentarse horizontalmente en la base, acunándolos si es necesario para no perder la verticalidad de la columna, bien contrados dentro del ademe del pozo, y su conexión con la red de distribución debe ser de tal modo, que las conexiones y la tubería de la red deben ajustarse a la posición de la descarga de la bomba, y no al contrario.

5.5.4. Inspección del interior del ademe, diagnóstica.

La inspección del interior del ademe consiste en bajar una pequeña cámara dentro del pozo, con la finalidad de apreciar objetivamente el estado en que se encuentra. Resulta, en general, un servicio de costo elevado, por lo que debe limitarse su aplicación a casos particulares, tales como aquellos en que se sospecha de algún colapso del ademe; verificar características constructivas como disposición y aberturas de las rejillas, o condiciones de traslape entre tuberías de distinto diámetro; bombas caldas, etc. En otras palabras, con fines de investigación, supervisión y hasta didácticas, pero siempre restringidas al interior del ademe de los pozos.

El geohidrólogo necesita desarrollar un sexto sentido para inferir, muchas veces con lógica y buen sentido más que con información directa y objetiva, todo lo que está sucediendo allí abajo, fuera de su vista, con lo cual la mayoría de las veces pueden diagnosticarse todos los problemas con bastante seguridad, si se tiene un historial completo del comportamiento del pozo.

Por ejemplo, en problemas comunes como incrustaciones bien sean minerales o bacterianas que afectan no sólo el interior del pozo sino sus alrededores, no hace falta mucha imaginación para entender el fenómeno y su magnitud si se tienen evaluados los rendimientos del pozo, y en todo caso, basta verlo sólo una vez.

Igualmente pueden comentarse casos de evaluación de tratamientos desincrustantes. Su efectividad no puede medirse por medio de la inspección visual dentro del pozo puesto que las rejillas del ademe pudieron haber quedado perfectamente limpias, pero no así el filtro y la formación acuífera circundante. Estas evaluaciones se basan en la medida en que se restaura la productividad del pozo, es decir, bombeando.

5.5.5. Tratamiento de los pozos.

Una vez diagnosticado el problema que afecta al pozo, se tomarán de inmediato las medidas correctivas, o sea, los tratamientos y trabajos destinados a restablecer su potencialidad.

Tratamiento químico.

Por lo general los tratamientos con base en aditivos químicos se han enfocado, en algunos países, a los problemas de incrustaciones.

Las incrustaciones mecánicas son las más fáciles de atacar mediante la aplicación de agentes dispersores de arcillas, seguida de agitación mecánica y dejando luego reposar al pozo. A veces es conveniente el cepillado del interior de las rejillas, lo que ayuda a la remoción de los materiales finos. Estas actividades son conocidas ampliamente en nuestro país, aunque su aplicación no sea muy frecuente.

Las incrustaciones químicas, o sea costras de minerales, se tratan con ácidos, siendo los más utilizados el clorhídrico o muriático; el sulfámico; hidroclórico; gas de clor o hipocloritos, entre otros, con ventajas y desventajas al compararlos entre sí, que dependen del tipo de incrustación, de la inestabilidad del aditivo, de su actividad corrosiva, de las seguridades en su transporte y manejo, del método de aplicación dentro del pozo, etc.

Una vez aplicado el aditivo mediante cualquier método, es conveniente agitar el agua y tratar de que dicha solución salga a través de la rejilla hacia el filtro artificial y la formación acuífera, que nunca están a salvo de estas incrustaciones

y deben ser sujetas al tratamiento.

Si el problema fueran incrustaciones causadas por la bacteria del hierro, generalmente se atacan con aditivos a base de cloro o cualquier bactericida. Entre los desinfectantes más comunes se pueden citar a los hipocloritos de sodio y de calcio, así como al bióxido de cloro en concentraciones variables probadas por la experiencia directa, entre 500 y 1000 ppm y tiempos de contacto variables también entre 6 y 24 horas. Cabe aclarar que el hipoclorito de sodio es muy inestable y explosivo, requiriendo muchas precauciones su manejo.

Vale la pena recordar que muchas veces el taponamiento de las rejillas se debe no sólo al producto plástico del ciclo biológico de la bacteria, sino también a depósitos de hierro y costras minerales asociadas con dicha matriz plástica.

En estos casos han demostrado también ser efectivos tratamientos con base en ácidos, como el clorhídrico, sulfámico o hidroacético, que atacan a los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso precipitados, mismos que actúan como capas protectoras de la bacteria.

En casos de infección seria se ha generalizado un tratamiento alternando el uso de bactericidas que atacan a los organismos y ácidos que disuelven los depósitos de hierro y costras minerales.

Desazolves.

La remoción de azolves generados por la producción de arenas durante la operación de pozos, se puede hacer con la cuchara de un equipo de perforación tipo percusión o con aire comprimido.

Sistema "sonar jet".

Este sistema se clasifica dentro de los métodos físicos, aplicables tanto a destruir incrustaciones minerales como en el control del crecimiento de la bacteria del hierro.

Consiste en inducir vibraciones ultrasónicas, en el rango de 16,000 ciclo/seg. para desprender costras minerales o desintegrar células bacterianas. Como todo método tiene ventajas y desventajas: entre las primeras pueden mencionarse su facilidad de procedimiento, su rapidez y limpieza. Como desventajas, aún cuando el desprendimiento de incrustaciones minerales dentro del pozo es inobjetable, en el entorno del mismo su eficiencia no llega más allá de producir fisuras; es decir,

produce una permeabilidad secundaria una vez que las incrustaciones han taponado los espacios intergranulares de la formación acuífera. De momento se restituye en cierto grado productividad al pozo, pero las fisuras se vuelven a tapar rápidamente con los precipitados minerales.

Respecto a su efectividad contra la bacteria del hierro, aunque pudiera parecer un método prometedor, experimentalmente en pozos no se manifestó una reducción significativa del número de células vivas.

Hielo seco.

El uso de hielo seco tiene la finalidad de producir una agitación dentro del pozo. El proceso puede llevarse a cabo con descarga libre o bajo presión; en el primer caso sale un chorro de agua expulsada del pozo, y en el segundo, pueden prolongarse más sus efectos si se regula la presión, controlándola con un manómetro.

Puede ser un sustituto de una máquina perforadora para provocar la citada agitación, a costos menores probablemente y susceptible de aplicarse en tratamientos contra incrustaciones en general.

5.6. EVALUACION DE TRATAMIENTOS.

Todos los tratamientos a que son sujetos los pozos tienden a restaurarles su potencialidad, luego entonces deben evaluarse. Dicha evaluación consiste, una vez que se ha cerciorado que el pozo está limpio midiendo hasta el fondo, en una prueba de aforo o de bombeo, que nos indica cuál ha sido la mejoría obtenida en el caudal específico. Se supone que se cuenta con antecedentes mínimos al respecto, o sea el caudal específico a determinado tiempo de bombeo que manifestó el pozo originalmente, cuando nuevo, y desde luego el caudal específico al mismo tiempo de bombeo antes del tratamiento.

La meta es restaurar la potencialidad original del pozo, pero no siempre es recomendable desde un punto de vista económico. Supongamos que en un primer tratamiento se llegó a recuperar un 90 %, entonces quizá el costo de un nuevo tratamiento para alcanzar el 10 % restante, o probablemente menos ya no sea redituable, y puede optarse por dejarlo así.

5.7. PARAMETROS DE EVALUACION.

5.7.1. Vida útil de los pozos.

En nuestro medio no existen estadísticas para precisar valores de algunos parámetros que nos señalen los límites en que es costeable operar un pozo; por lo tanto, tenemos que recurrir a la experiencia extranjera.

De acuerdo al material consultado, en los EE.UU. es conveniente, desde un punto de vista económico, proyectar pozos con posibilidades de una vida útil de cuando menos 20 a 25 años en adelante. Aquí en México, durante el periodo 1954-1970, el promedio de vida útil era de unos 7 años en la zona del noroeste donde se aplicaban las mejores técnicas de diseño y construcción de pozos, específicamente en la costa de Hermosillo.

En las escasas regiones de nuestro país donde no se manifiestan todavía problemas en la extracción del agua subterránea, debería ser una meta alcanzar unos 15 años de vida útil cuando menos para los pozos. Pero en la mayoría de los casos, la generalizada sobreexplotación de los acuíferos es un factor que acorta notablemente la vida económica de los pozos. Leído a esto, podría pensarse como meta alcanzar una vida útil promedio de 10 a 15 años.

Resulta ser una necesidad imperiosa alargar este horizonte económico, pues se dan casos verdaderamente trágicos, tanto por su frecuencia como por su trascendencia en sí, en que los pozos no llegan a operar ni tres años cuando ya son obsoletos; o casos extremos en que las dependencias oficiales no pueden ni entregar el pozo al campesino pues se azolvó totalmente en el desarrollo, por mencionar ejemplos donde el diseño del pozo manifiesta deficiencias, o pozos que operan escasos meses y luego quedan parados por falta de mantenimiento, que puede ser tan simple como la reposición de una pieza.

5.7.2. Eficiencias electromecánicas o hidráulicas.

Respecto a las eficiencias electromecánicas y también de acuerdo con las experiencias en los EE.UU., la operación de un pozo es costeable mientras dicha eficiencia no baje de un rango comprendido entre el 55 y 50 %, dependiendo de cada zona o región en particular.

Existe una aceptación general para clasificar las eficiencias totales del sistema motor-bomba, de acuerdo con los siguientes valores representativos:

70 - 77 %.....excelente
 60 - 70 %.....bueno
 50 - 60 %.....regular
 menos del 50 %.....malo.

En otras palabras, la pérdida paulatina de estas eficiencias es predecible en la mayoría de los casos, siempre y cuando no tengan registros de su comportamiento, y al llegar a los límites inferiores se procede a desmantelar el equipo de bombeo, revisarlo y repararlo.

Desgraciadamente en nuestro país no se toma en cuenta el costo de bombeo, y lo mismo se trabaja con eficiencias máximas del 77 % que con valores tan bajos como 10 %. Ante esta situación y mientras no se necesite más volumen de agua, sigue trabajando la bomba, aunque funcione 24 horas al día en lugar de una hora, con el consiguiente incremento en los costos de operación. Una vez que se llega al extremo de que ya no alcanza el agua para satisfacer las necesidades, entonces, por fin, se arregla la bomba. Pero resulta que el costo por dicha reparación es sin remedio bastante mayor que si se hubiera realizado en el momento oportuno.

Por otro lado, en relación con la eficiencia hidráulica del pozo, en el vecino país del norte se recomienda que el rendimiento específico del pozo no decaiga más allá de un 15 a 20 % de su valor original, es decir, cuando el pozo estaba recién construido y desarrollado. Al llegar a este valor deben tomarse las providencias necesarias para encontrar la causa y corregir el problema de inmediato, pues no importa cuál sea la causa de la declinación en la productividad del pozo, siempre será más fácil el remedio si se actúa con prontitud.

Por el contrario, si se deja deteriorar al pozo más abajo de los valores indicados, resulta sumamente difícil, si no imposible, restituirle su productividad original, a pesar de que se usen los mejores aditivos y métodos de rehabilitación.

5.7.3. Costos de bombeo.

Como ya se mencionó, en nuestro medio, por lo general, no se calcula la eficiencia hidráulica del pozo a pesar de su importancia como factor del costo de operación, cuando más se llega a determinar la eficiencia de los equipos de bombeo, que en la mayoría de las veces resulta de menor importancia.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

CAPITULO VI : CONCLUSIONES

Después de haber realizado la pequeña investigación y al estar recopilando toda la información posible nos hemos podido percatar de que ésta actividad, la perforación de pozos profundos, si bien es cierto no es nueva ni tampoco podemos decir que actualmente esté en su apogeo, si podemos mencionar que es una de las áreas de mayor importancia dentro del campo de la ingeniería, sobretodo de la ingeniería civil.

Como nos hemos podido dar cuenta, es una de las áreas que se encuentra muy relacionada con el desarrollo humano y social puesto que lo esencial para la vida es el agua.

Tal como se menciona al principio de este trabajo, la idea primordial que se perseguía era la de elaborar una pequeña información sobre el diseño y proceso constructivo de lo que son los pozos profundos, poniendo énfasis en la captación de aguas subterráneas para el consumo humano.

Obviamente para poder llegar al tema central del trabajo se tenían que plantear una serie de antecedentes preliminares tales como los tipos de formaciones en las cuales se pueden encontrar acuíferos de buena calidad, así como su funcionamiento, ciclo y tipo de recarga, etc.; hasta llegar a los estudios preliminares que se deben realizar para el cálculo y determinación de un buen diseño y construcción óptimos.

Creemos que de alguna manera fueron cumplidos nuestros propósitos y objetivos con este trabajo, que conforme nos dabamos a la tarea de recopilar información nos dabamos cuenta que este es un tema muy amplio pero que mucha de la información de gran importancia se encuentra en libros aún no traducidos al español y que la información más a la mano que se tiene en nuestro país es la que se encuentra en las memorias de cursos sobre diseño de pozos impartidos por dependencias de actualización profesional tal como lo es el Colegio de Ingenieros Civiles de México y el Palacio de Minería, actual centro de actualización profesional de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. Quisiera aprovechar el espacio para externar mi más sincero agradecimiento a estas dependencias, así como también a la D.G.C.G.H., la C.N.A. y otras más que me brindaron todas las facilidades para poder consultar la información de que disponían.

Como se menciona, la información sobre el tema es muy amplia más que nada

porque es un tema relacionado con una serie de áreas afines. Por ejemplo, para poder estudiar propiamente el comportamiento hidráulico hay que tomar en cuenta, mínimamente, lo que se da en llamar la hidráulica de pozos, la geohidrología física, etc., temas que pueden ser dignos de una investigación propia; para poder tener una idea del comportamiento de los acuíferos fué necesario dar un pequeño repaso, muy superficial por cierto, de algunos conceptos básicos tales como la infiltración, la porosidad, rendimiento y retención específicos, transmisividad, carga y gradiente hidráulicos, pasando por la ley de Darcy y otros conceptos relacionados con ella. Inicialmente se pretendía incluir toda esta información en el trabajo, pero como lo importante era centrarse en el tema principal se desechó parte de esa información tratando de ser muy concretos y concisos en el manejo de dichos conceptos, es decir, se manejan de una manera práctica de acuerdo con la información recabada.

Por otro lado, nos encontramos que éste tema está profundamente relacionado con algunas áreas de carácter ecológico y que se encargan de estar investigando constantemente la calidad del agua extraída de los pozos. Esto representa, en algunos lugares de la Ciudad y de la República Mexicana, nuevos retos a la ingeniería puesto que si bien es cierto la calidad del agua en los mantos freáticos es aceptable por sí sola dependiendo de sus componentes minerales, resulta que algunos mantos acuíferos están siendo contaminados por la filtración de líquidos segregados por los desechos orgánicos colocados en tiraderos que de alguna manera están cercanos a las zonas de recarga de acuíferos, tal como sucede en algunas zonas del Valle de México.

Esto implica, que si anteriormente los pozos llegaban a tener una profundidad máxima de unos 90 a 100 metros y que ahora dichos acuíferos están siendo contaminados por el hombre mismo, actualmente se están implementando investigaciones y perforaciones de pozos con una profundidad de más de 400 a 600 metros incluso llegando a casos, muy pocos por el momento, en que se rebasa el kilómetro de profundidad. Precisamente para buscar acuíferos poco o nada contaminados.

En una charla con el Ing. Gabriel Ortega Sanchez gerente de ventas de la central hidráulica y sistemas, distribuidor exclusivo de equipos de bombeo Fairbanks Morse para pozos, mencionaba que era sorprendente el hecho de que cada vez se perfora a una mayor profundidad para poder encontrar más agua y de mejor calidad. Razón por la cual reconoce el mérito de la ingeniería civil en este campo y sobretodo la importancia que cada vez comienza a tener este rubro dentro de la ingeniería.

Finalmente podemos llegar a la conclusión de que el diseño y la construcción de pozos profundos en el futuro tendrá los mismos principios fundamentales pero obviamente irá teniendo sus pequeñas variantes de acuerdo a la profundidad deseada o requerida para la localización de grandes mantos acuíferos para el abastecimiento de agua a las ciudades, así como de los nuevos avances técnico y tecnológicos en la maquinaria que se requiera para dicha actividad.

Si bien es cierto que en la actualidad dicho abastecimiento se maneja mediante un sistema mixto, es decir, mediante la construcción de presas y la perforación de pozos, con sus respectivos sistemas de tratamiento, las demandas de agua potable se incrementan, en promedio, en más de un metro cúbico por segundo por año. Y esto solamente en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Esto quiere decir que, tal vez, dentro de algunos años todos los sistemas de conducción y distribución superficial serán insuficientes, incluyendo la perforación de pozos superficiales o poco profundos. Por lo cual la perforación de pozos profundos se irá haciendo cada vez más necesaria.

BIBLIOGRAFIA

- Tratado práctico de las aguas subterráneas
G. Castany
Ediciones Omega, S.A.
Barcelona, 1971
- Hidrología subterránea
Emilio Custodio / Manuel Ramón Llamas
Ediciones Omega, S.A.
Barcelona, 1976
- Hidrología para ingenieros
Roy K. Linsley, Jr.
Editorial Mc. Graw Hill
México, D.F., 1977
- Hidrología (agua subterránea)
David Keith Todd
Editorial Paraninfo
Madrid, 1973
- Captación de aguas subterráneas
Alberto Penítez
Editorial ROSCAT S.A.
Madrid, 1972
- La evolución de la tierra
Judith Viorst
Editorial Bruguera
Barcelona, 1973
- Calidad y cantidad del agua en México
M. en C. Mauricio Athié Lamborni
Editorial Universo Veintiuno
México, D.F., 1987
- Técnicas y análisis de costos de pozos profundos
y aguas subterráneas
Vicente Vargas Alcantara
Editorial LIMUSA S.A. de C.V.
México, D.F., 1976
- Manual de los pozos pequeños
Ulric P. Gibson, B. Sc. Hans
Editorial LIMUSA S.A. de C.V.
México, D.F., 1990
- Curso de aguas subterráneas
Walter A. Castagnino
U.N.A.M.
México, D.F., 1965

- Memoria de la Primera Reunion Nacional del Grupo de Perforación de Pozos
Camara Nacional de la Industria de la Construcción
México, D.F., 1978
- Well and borehole construction
- Perforación de pozos para agua
Memoria de los cursos impartidos en el
Palacio de Minería
Departamento de Educación Continua
Facultad de Ingeniería U.N.A.M., 1987, 1989, 1990, 1991
- Perforación de pozos
Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado
y Saneamiento, libro V 3.3.1.
C.N.A., México, D.F., 1994
- Pozos
Johnson Division UOP, INC.
- Diseño y construcción de pozos para captación
de agua subterránea
Centro de Actualización Profesional del C.I.C.M.
México, D.F., 1985
- Instalación, operación y mantenimiento de bombas
de turbina vertical
FOLLETO de la FAIRBANKS-MORSE, Pomona, INC.
- Programa de abastecimiento de agua y saneamiento
para la zona metropolitana del valle de México
FOLLETO de la C.N.A.-SEMARNAP
- Aspectos fundamentales de las pruebas de
bombeo en hidráulica de pozos
Leonardo Márquez López
TESIS PROFESIONAL, E.N.E.P. ARAGON U.N.A.M.
- Valuación de los precios unitarios en perforación
de pozos para agua potable
Benito Toledano Olivares
TESIS PROFESIONAL, E.N.E.P. ARAGON U.N.A.M.