

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN



Perforación de Pozos para Agua



T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a :
RICARDO X. LIMIÑANA GONZALEZ

N-0028625

~~IMPRESION Y DISTRIBUCION~~

Santa Cruz Acatlán, Edo. de México

1981



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.

A MIS PADRES

ANSELMO Y JOSEFINA

con todo mi cariño y
amor, porque a ellos
debo mi formación y
la culminación de es
ta etapa de mi vida.

A MIS HERMANAS

LAURA Y

JACQUELINE

con cariño y esperando que
encuentren en mi,
el apoyo que yo he
encontrado en ellas

A MI NOVIA

ANDREA

con amor

A LA U N A M
y en forma especial
a la
FACULTAD DE INGENIERIA
por la oportunidad que
me brindó

AL ING. FERNANDO FABELA L.
un sincero y profundo
agradecimiento por su
ayuda en la
elaboración de este trabajo

A MIS COMPAÑEROS Y
AMIGOS



UNIVERSIDAD NACIONAL
ACATLÁN

ENEP ACATLÁN
COORDINACION DEL PROGRAMA
DE INGENIERIA Y ACTUARIA

CAI-C-0136-79

SR. RICARDO X. LIMÍNANA GONZALEZ
Alumno de la Carrera
de Ingeniería Civil
P r e s e n t e

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 22 de febrero de 1979, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis:- "Perforación de Pozos para Agua", el cual se desarrollará como sigue:

1. Antecedentes
2. Tipos de Pozos
3. Geohidrología
4. Diseño de Pozos
5. Perforación de Pozos
6. Conclusiones

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Fernando Favela Lozoya, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Sta. Cruz Acatlán, Edo. de México a 3 de mayo de 1979

ING. IGNACIO RIZARRAGA G.,
Coordinador del Programa
de Ingeniería y Actuaría

I N D I C E

CAPITULO I

ANTECEDENTES.....9

CAPITULO II

TIPOS DE POZOS.....12

CAPITULO III

GEOHIDROLOGIA

III.1. Conceptos Generales.....15

III.2. Origen y Existencia del Agua Subterranea....21

III.3. Agua en el Suelo.....22

III.4. Captaciones de Agua Subterranea.....24

CAPITULO IV

DISEÑO DE POZOS

IV.1. Datos de Diseño.....29

IV.2. Diseño del Pozo.....60

CAPITULO V

PERFORACION DE POZOS

V.1. Perforabilidad de las Rocas.....67

V.2. Métodos de Perforación.....126

C O N C L U S I O N E S.....128

M-0028625

C A P I T U L O I

A N T E C E D E N T E S .

La afluencia del agua a la superficie de la tierra, es uno de los más importantes fenómenos de la naturaleza. Desde hace miles de siglos, innumerables manantiales vierten sin cesar enormes cantidades de agua en los torrentes y en los ríos que la llevan al mar, aún cuando brote en su mayor parte, en las faldas de las montañas a considerable distancia de las costas marítimas.

Antiguamente se creía que el agua se formaba en el interior del suelo, en virtud del principio de la transmutación - de los cuerpos, aceptado por los alquimistas de la Edad Média; sostenían que el aire, penetrado bajo tierra, se condensaba y se volvía agua. Quedaba por explicar el movimiento ascendente del líquido elemento, arduo problema para aquellos tiempos; pero no costó ningún trabajo a los filósofos resolverlo. "El agua, decían asciende de las profundidades de la tierra hasta la falda de los montes a notable altura sobre el agua del océano, en virtud de una causa oculta". Esto era que el agua una vez formada en el seno de la tierra adquiriría una virtud -

ascensional que la hacía brotar. Posteriormente se descartó la anterior hipótesis aceptándose la infiltración de las aguas superficiales pero estableciéndose que llegaban a tal profundidad que a continuación eran empujadas hacia arriba por el calor del centro de la tierra, brotando y dando origen así a los manantiales formando los torrentes y los ríos.

Desde luego que tales hipótesis tenían que caer con el tiempo en que los progresos de la ciencia fundada en las observaciones, permitieran a los físicos determinar, de modo incontrastable, el verdadero origen de los ríos. La enorme superficie de los mares y de los océanos, despide continuamente, bajo la acción del calor solar, una cantidad enorme de vapores invisibles, los cuales dada su ligereza respecto al peso del aire que nos circunda suben y se mantienen en la atmósfera hasta que encuentran capas de aire con igual densidad. Cada disminución de temperatura, por leve que sea, condensa aquellos vapores invisibles en nieblas, o vapores visibles y nubes que empujadas por los vientos se van flotando, hasta llegar muy lejos, sobre los continentes donde caen en forma de lluvia, nieve o granizo. Se ha pretendido comprobar que la cantidad de agua que de esta manera cae anualmente sobre la superficie de la tierra, compensa con amplitud la que los torrentes y los ríos se llevan hacia el mar.

El excedente lo absorbe la tierra cuya superficie, por

lo general, está formada de una serie de estratos o capas de tierra permeable. El agua escurre hacia abajo, se infiltra siempre que encuentre materias permeables, como las arenas y el cascajo, y se detiene cuando encuentra materias impermeables, como la arcilla o las rocas muy compactas y según las circunstancias, forman bajo tierra, lagos y ríos subterráneos que por ignotas vías llevan al mar su tributo.

Sin penetrar en la descripción geológica de nuestro planeta, debemos con todo advertir que la corteza está compuesta de una larga serie de estratos sobrepuestos, formados por los sedimentos de las aguas que inundaron varias veces la superficie de los continentes. En épocas remotísimas se pensaba que, esas capas o estratos eran horizontales, paralelos y continuos, más las revoluciones internas que varias veces han transformado la corteza sólida de nuestro planeta, encorvaron y reventaron en varios puntos la mayor parte de esas mismas capas, que por tal causa tomaron variadísimas formas; aquí se hundieron formando cuencas, allá se elevaron formando colinas; sucedió con ellas lo que sucedería con un grueso cartón formado de muchas hojas planas sobrepuestas, al que se le contrayeran o se le jalaran sus lados opuestos, al mismo tiempo, en direcciones contrarias.

La colocación y la conformación de las diversas capas que componen la corteza terrestre, no sólo dan idea de la va

riedad de manantiales, arroyos, corrientes y ríos que surcan la superficie de nuestro planeta, sino que muchas veces el agua de algunos son absorvidas por la permeabilidad de la tierra y de las rocas, originando verdaderos ríos subterráneos que después, por diferentes caminos, se dirigen al mar. En España, el Río Guadiana se pierde en un terreno llano, en medio de una pradera. En norteamérica, el Río Cedar Creek de Virginia, se abisma dentro de un túnel natural que tiene 90 metros de profundidad.

Aún más sorprendente pueden parecer algunos manantiales de agua dulce que brotan dentro del mar, entre otras cí-tanse los del Golfo de Spezia los cuales a una distancia de 50 metros de la costa forman una prominencia de 25 metros de diámetro sobre el nivel de las aguas del Golfo, y los que se localizan en el Mar del Norte que durante ciertas bajamares quedan descubierto bajos arenosos en donde brota el agua dulce.

Estos y otros innumerables ejemplos que se podrían citar, son prueba evidente de que las aguas que caen en la tierra, no corren siempre hacia el mar, directamente a la luz del sol, sino que infiltrándose en la superficie, pueden llegar adentro hasta grandes profundidades, siempre que la capa permeable se encuentre entre dos capas impermeables que no dejen escapar el agua.

El hombre supo sacar partido de la disposición en que se hallan las capas del suelo, y reconoció que en determinadas circunstancias, se podría obtener un abundantísimo chorro de agua perforando el suelo hasta llegar a una capa permeable. Fué así como se inventó entre otras cosas la perforación de pozos, gracias a los cuales, regiones sin agua pueden recibirla copiosamente.

La perforación de pozos no son otra cosa distinta a canales excavados verticalmente en el terreno, por los cuales las aguas subterráneas suben por sí mismas hasta la superficie del suelo, siempre que las condiciones geológicas sean favorables, arrojando a veces un chorro que puede llegar a grandes alturas, o pueden ser extraídas por medios mecánicos.

El agua es de provecho esencial para el género humano, y la más grande fuente disponible de agua se encuentra en el agua subterránea. La extracción de este líquido vital a través de la perforación de pozos tiene su origen en épocas remotas, a medida que los grupos nómadas de los primeros habitantes del planeta iban cambiando su sistema de vida errante, estableciéndose a la ribera de las corrientes perennes y adentrándose en los valles fértiles hacia donde conducían rudimentariamente dichas aguas. La necesidad derivada de las épocas de sequía o de las avenidas en que se destruían las o-

bras de conducción, los hacía buscar el agua del subsuelo, - después de las primeras observaciones en sus migraciones de que el agua subterránea corre en los arroyos como subalvea - mucho después de que estos se han secado superficialmente.

A medida de que las necesidades de agua se han ido incrementando creando problemas para su obtención, el ingenio del hombre ha ido venciendo los obstáculos de la naturaleza construyendo las obras requeridas para su aprovechamiento. - La perforación de pozos a cielo abierto, primitivo método para el alumbramiento de aguas profundas todavía se utiliza; - sin embargo, el requerimiento de grandes volúmenes en espacios cortos de tiempo, sea para la dotación de agua, para usos públicos, industriales o de irrigación, ha hecho necesaria la agudeza de técnicos, artesanos, científicos y toda una gama de diversas ramas constructivas y de investigación para lograr la perforación de pozos profundos.

Como una muestra en el pasado del tesón del hombre que dan ruinas de sistemas de abastecimiento o drenaje y de aprovechamientos sobre todo a través de galerías filtrantes y acueductos, H.B. Goodrich, reporta la perforación en China de un pozo a 150 Mts. de profundidad para obtención de salmuera en el año 221 de nuestra era, posteriormente y en forma accidental durante la perforación de pozos para agua o salmueras se encontró petróleo y gas; sin embargo, se tuvo muy poco de de

sarrollo en la perforación durante el transcurso del tiempo y solo hasta mediados del Siglo XIX, se encuentran referencias de pozos perforados a 800' (266 mts.) de profundidad y de un pozo artesiano en St. Louis Missouri. En el año 1859 se perfora el pozo " Drake " siendo éste el primero perforado con el objeto de localizar petróleo, con este pozo se inicia la industria petrolera propiamente dicha y se empiezan a investigar, diseñar y construir equipos y herramientas más adecuadas a la perforación.

En el año de 1800 aparecen las primeras brocas de conos pero se usan hasta 1880 y a partir de este año con el desarrollo de la geología petrolera y de proyectos en yacimientos - importantes, se produce una expansión de la perforación y se inicia prácticamente el desarrollo que la ha llevado a su estado actual. Desde 1900 a la fecha la tecnología petrolera ha introducido sistemas y herramientas adecuadas a las diferentes formaciones y nuevas técnicas en el uso de los fluídos de perforación, lo que ha desarrollado en forma paralela los métodos de construcción de pozos para agua, ya que actualmente se han incorporado los adelantos logrados por la industria petrolera, no sólo en la perforación sino hasta los derivados del estudio de los fluídos, su existencia y movimiento en las diferentes terminaciones geológicas.

Previamente a la realización material de la perforación

de un pozo deben hacerse estudios Geológicos y Geohidrológicos en las zonas que se perforarán; las posibilidades de éxito se basarán en la naturaleza de los suelos que constituyen dichas zonas así como su configuración, ligadas íntimamente las características anteriores a la precipitación en esas zonas. La naturaleza geológica del suelo nos dará una descripción de: zonas permeables y zonas impermeables, de acuerdo con los afloramientos ígneos y suelos con gran contenido de materiales finos, localizados en un levantamiento Geológico-Topográfico. Los diversos rasgos de relieve de una región en su conjunto son el producto de una causa común, su aspecto y distribución están supeditados por otra parte, a la estructura geológica infrayacente; obteniéndose así la interpretación de un primer concepto teórico de agua disponible - en el subsuelo, al combinar los datos de precipitación, zona de captación y permeabilidad. La observación de los niveles de los afloramientos de manantiales en los alrededores de las zonas, relacionados con el nivel freático de las aguas subterráneas, nos indica una altura de saturación cuya profundidad podemos determinar con ayuda de la geofísica, corroborando - la profundidad del manto disponible o fuente de explotación de agua subterránea y toscamente el espesor de la capa acuíf_{er}a, para vislumbrar una probable cuantía de agua aprovechable que determinará su alumbramiento de acuerdo con su utilización; así tenemos que actualmente para usos agrícolas generales, consideramos en el País una profundidad máxima de 100

metros, no siendo lo mismo para usos domésticos ni para usos industriales, en que dependiendo de otros valores, la justificación de una mayor profundidad de extracción del agua subterránea es aceptable. La interpretación de los estudios geofísicos sobre todo, corresponde a técnicos altamente especializados en exploraciones de esa índole, siendo una rama de la ciencia recientemente adaptada a la prospección de agua subterránea.

Basándose en los datos contenidos en los estudios geológicos, geohidrológicos y geofísicos, técnicamente se estará en condiciones de efectuar una perforación-sondeo que corroborará la interpretación de los estudios anteriores; para ello, en esta perforación se efectuará un registro eléctrico, última fase de los estudios que dictaminará definitivamente las características de la perforación.

C A P I T U L O I I

TIPOS DE POZOS

NOCIONES

Existen diferentes tipos de pozos, considerando su profundidad y diámetro pueden denominarse como norias, pozos someros o profundos y también suelen denominarse según el uso a que van a ser destinados. Se puede generalizar que desde la fase correspondiente a los estudios que se realizan para las diferentes finalidades, como pueden ser las de estudios geológicos o de prospección minera, o para determinados procesos constructivos como sistemas de drenaje en presas, estructuras hidráulicas, inyecciones en materiales poco consolidados, fracturados o fisurados y en las cimentaciones de estructuras hidráulicas o de puentes y túneles, también para alojar pilas o pilotes, o para el abatimiento de niveles freáticos para excavaciones en túneles o cimentaciones, también actualmente con el desarrollo de la maquinaria para trabajos masivos de explotación de pedreras o descapotes de minerales para su explotación, donde se hace necesario mover diariamente volúmenes entre los 10,000 y 40,000 m³, se ha incrementado el uso de perforaciones grandes (entre 6" y 12 1/4" de Ø) para

la voladura de estos materiales, siendo ya prácticamente de uso común, la utilización de técnicas y máquinas de perforación grandes para este tipo de trabajo.

La ingeniería de la industria petrolera está basada en la perforación, desde el desarrollo de sus estudios geofísicos, pasando por la exploración, hasta llegar a la explotación de los yacimientos petroleros, cabe hacer notar que siendo ésta actualmente la industria con mayor potencial económico, es la que ha permitido el desarrollo de los equipos y sistemas modernos de perforación que se utilizan en los diferentes campos de la ingeniería.

Además de los tipos de pozos ya mencionados, existen los que tienen como fin el aprovechamiento del agua subterránea, tanto durante la localización y el estudio de los acuíferos, como aquellos construídos con fines industriales o de abastecimiento de agua potable para fines municipales, y los de abrevadero y aquellos que se utilizan para riego por bombeo, siendo estos en particular a los que nos referimos en lo sucesivo.

TIPOS DE POZOS.

- I. ESTUDIOS GEOLOGICOS
- II. PROSPECCION MINERA
- III. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

- III.a. DRENAJE
- III.b. INYECCIONES
- III.c. PILAS Y PILOTES
- III.d. ABATIMIENTO DE NIVEL FREATICO
- III.e. EXPLOTACION DE BANCOS

IV. EXPLORACION Y EXPLOTACION PETROLERA

V. POZOS PARA APROVECHAMIENTO DE AGUA

- V.a. ESTUDIOS HIDROLOGICOS
- V.b. FINES INDUSTRIALES
- V.c. FINES MUNICIPALES
- V.d. FINES PECUARIOS
- V.e. RIEGO POR BOMBEO

C A P I T U L O I I I

GEOHIDROLOGIA

III.1. CONCEPTOS GENERALES

La hidrogeología del Agua Subterránea, puede ser definida como la ciencia que estudia la existencia, distribución y movimiento del agua bajo la superficie del suelo. La Geohidrología puede definirse en forma similar y difiere únicamente por su mayor énfasis a la Geología. La finalidad de la Hidrogeología es determinar la situación de los depósitos, la cantidad disponible y sus cualidades, indicando al mismo tiempo los medios apropiados para poner estas aguas al servicio de la humanidad.

Finalmente se está adoptando para la Hidrología Subterránea la siguiente definición: Hidrología Subterránea es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y -

biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

Estimaciones comparativas han revelado que a nivel mundial, el recurso hidráulico disponible en el subsuelo es mayor que el disponible en la superficie. Según estas estimaciones más del 90% del agua dulce existente en la tierra se encuentra bajo la superficie del terreno; otra indica que el volumen de agua almacenado en el subsuelo es unas 55 veces mayor que el superficial. (*)

Independientemente de la dudosa precisión de las cifras anteriores, el hecho es que las fuentes de agua superficial ya están siendo aprovechadas en su mayoría sin lograr satisfacer la demanda, por lo que tendrá que ser cubierta con el agua procedente de las fuentes subterráneas.

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, mientras que en los recipientes subterráneos sólo pierden cantidades de agua importantes por evapotranspiración cuando los niveles freáticos se encuentran someros.

(*) Hidrología Subterránea. E. Custodio. Edit. Omega. Tomo I

- b) Menor exposición a la contaminación. El agua subterránea se encuentra generalmente libre de organismos patógenos y en general no necesita tratamiento para uso doméstico o industrial.

- c) Disponibilidad menos afectada por condiciones climatológicas. El aprovechamiento del agua superficial depende especialmente de las variaciones de la precipitación pluvial. Por el contrario los recipientes subterráneos resultan menos afectados por esto, ya que existe una reserva acumulada durante siglos mucho mayor que la recarga anual.

- d) Distribución más amplia en el área. El agua superficial debido a su aprovechamiento en gran escala, requiere de obras de almacenamiento y conducción. - En cambio el agua subterránea tiene una distribución muy amplia, lo que permite su captación en el sitio donde va a ser usada.

- e) No hay pérdida en la capacidad del almacenamiento. Todo vaso superficial pierde gradualmente su capacidad de almacenamiento al ser azolvado por los sedimentos que transportan las corrientes que lo alimentan, fenómeno que no sucede en los vasos subterráneos.

III.2. ORIGEN Y EXISTENCIA DE AGUAS SUBTERRANEAS

Al describir el agua subterránea nos lleva a la necesidad de revisar dónde y cómo puede existir, a su distribución subsuperficial, horizontal y verticalmente, al estudio y conocimiento de las zonas geológicas importantes con capacidad para contener o almacenar agua, las cuales deben ser perfectamente identificadas, incluyendo la estructura que presentan. Suponiendo que las condiciones hidrológicas del estrato superficial son favorables para el movimiento y almacenamiento de agua, los estratos subsuperficiales tienen la mayor importancia puesto que ellos gobiernan su distribución y movimiento; de ahí que la Geología no debe subestimarse dentro del estudio de la Hidrología del agua subterránea.

Casi toda el agua subterránea puede ser considerada como una parte del ciclo Hidrológico, incluyendo el agua que se encuentra en la superficie y en la atmósfera.

El agua subterránea se encuentra en formaciones geológicas permeables conocidas como acuíferos.

Acuífero. Es toda formación geológica cuya estructura permite el flujo apreciable del agua a través de ella y en forma natural la almacena en cantidades importantes, además -

de que a través de estructuras hidráulicas adecuadas, permite su utilización en cantidades suficientes para el abastecimiento humano de acuerdo a sus necesidades y en aquellas cantidades que son económicamente aprovechables.

Acuicludo. Es aquella formación que aunque contiene agua no la transmite, lo que impide su aprovechamiento, un ejemplo clásico de esto son las arcillas que a pesar de su alto contenido de humedad no permiten su flujo.

Acuitardo. Son aquellas formaciones geológicas que contienen agua en cantidades de importancia pero que permiten un flujo muy lento, por lo que ellas en sí no pueden considerarse adecuadas para la extracción de agua, pero que al estar en condiciones geológicas favorables y en contacto con acuíferos, permiten el flujo vertical hacia éstos, llegando a tener verdadera importancia en la recarga o drenaje de éstos.

Acuífugo. Son formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, el ejemplo clásico de lo anterior son los granitos no alterados o cualquier roca densa sin fracturas y no intemperizada.

La mayoría de los acuíferos se extienden en grandes áreas y pueden ser considerados como reservas subterráneas. El agua penetra a un depósito a través de las recargas artifi

ciales y naturales y regresa a la superficie bajo la acción de la gravedad o de la extracción a través de pozos, ordinariamente el volumen anual de agua extraída representa únicamente una pequeña porción de la capacidad total de almacenamiento.

Acuíferos libres no confinados. Cuando el agua se encuentra en contacto directo verticalmente con la atmósfera, a través de los espacios abiertos en una formación permeable, es llamada agua no confinada, y cuando el nivel de saturación del acuífero está en contacto directo con la atmósfera se denomina acuífero libre y su nivel freático coincide con la superficie piezométrica del mismo, que puede presentar formas onduladas o con pendiente, dependiendo ésto de las áreas de recarga o descarga, del volumen bombeado a través de pozos y de la permeabilidad de la formación. Las variaciones en los niveles corresponden a cambios en el volumen de agua almacenada.

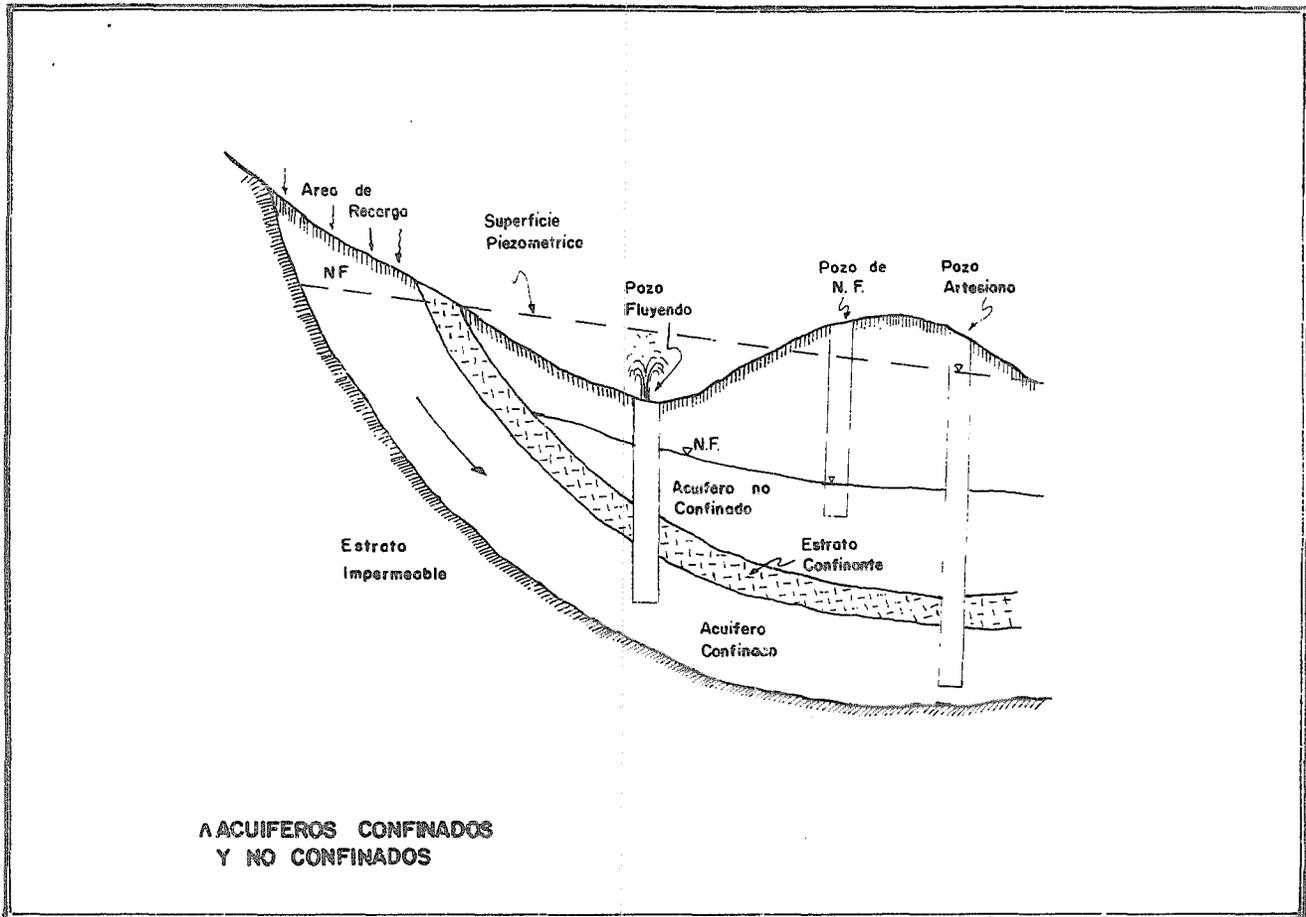
Acuíferos Confinados. Son también conocidos como artesianos o acuíferos a presión, por estar el agua confinada a presiones mayores que la atmosférica, al tener como techo y base, estratos impermeables. Al ser penetrado el acuífero por un pozo, el nivel del agua se elevará sobre el techo de la capa confinante.

El término "artesiano" es utilizado para aquellos acuí-

feros confinados que al ser penetrados por un pozo, manifiestan una altura piezométrica mayor que las capas geológicas que lo contienen, siendo fluyentes y el nombre genérico les fué dado por los pozos perforados en la región de Artesa, Francia, que mostraban esa característica; algunos autores utilizan este vocablo indistintamente para todos aquellos casos en los que el agua manifiesta su presión con una elevación sobre el techo confinante, independientemente de que aflore a la superficie o no.

Acuífero Semiconfinado. Es un término enteramente gradacional entre los acuíferos libres y confinados, y son: aquellos acuíferos confinados por capas ya no permeables sino semiimpermeables, que permiten la recarga o descarga a través de silos; son denominados semi-confinados y cobran importancia - debido a que, aunque la recarga sea muy pequeña por unidad de superficie, cuando el radio de influencia se extiende, las superficies que aportan esa pequeña cantidad son de tal magnitud que los volúmenes así obtenidos llegan en algunos casos a equilibrar las extracciones que se están efectuando.

La recarga de agua o la descarga de un acuífero representa un cambio en el volumen de almacenamiento o del volumen almacenado dentro del acuífero, en el caso de acuíferos no confinados, se expresa simplemente como el cambio del volumen almacenado en el acuífero, medido a través de los niveles que -



presenta durante un período de tiempo, el promedio de variación nos da la capacidad específica de la formación. En acuíferos confinados; sin embargo, suponiendo que el acuífero permanezca saturado, los cambios de presión producen pequeños cambios únicamente en el volumen almacenado.

III.3. AGUA EN EL SUELO

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 constituídos por rocas volcánicas o 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 materia; 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 se encuentra distribuída en dos

grandes zonas: la de aereación y la de saturación.

La zona de aereación, comprendida entre la superficie - del terreno y el nivel freático, está parcialmente saturada y se subdivide en zona de agua del suelo, zona intermedia y zona capilar. En la primera zona, constituida por suelo y otros materiales; el contenido de agua varía continuamente y está - influenciado por lluvia, riego, drenaje y evapotranspiración. La zona capilar se encuentra inmediatamente arriba del nivel freático; su altura depende de la granulometría del material y de las fluctuaciones de dicho nivel; en materiales finos la altura capilar puede ser de varios metros, pero el agua asciende lentamente; en materiales gruesos la altura capilar es del orden de centímetros, aunque asciende rápidamente. Entre la zona de agua del suelo y la capilar, se encuentra la zona intermedia que contiene agua, llamada pelicular, adherida a los granos y temporalmente, agua gravitacional que fluye verticalmente hacia la zona saturada, durante los períodos de infiltración.

La zona de saturación tiene como límite superior al nivel freático o superficie freática, la cual es definida por - el agua que se encuentra a la presión atmosférica. Todos los estratos situados abajo del nivel freático se encuentran totalmente saturados.

III.4. CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRANEA

DESCRIPCION

Las obras que se realizan para captación de aguas subterráneas nos permiten extraer el agua contenida en un acuífero, ya sea por gravedad, bombeo o por cualquier otro medio de elevación, en el caso de pozos de recarga o de absorción podemos considerar que realizan la función opuesta.

TIPOS DE CAPTACIONES SUBTERRANEAS

Captaciones naturales. En este tipo tenemos los manantiales, los ríos cuando actúan como descarga de acuíferos o como canales de recarga, los lagos o lagunas conectadas directamente al acuífero.

Captaciones artificiales. La más común de este tipo es la vertical a través de un pozo, aunque también existen otras de interés como galerías filtrantes y drenes.

HIDRAULICA DE LAS CAPTACIONES

Parámetros de los Acuíferos.

Permeabilidad (K). Se define como la medida de la facilidad del flujo a través de la formación.

Transmisividad o Transmisibilidad (T). Es la capacidad de un medio, en este caso la formación geológica de que se trate, para transmitir agua. Es el producto de la permeabilidad por el espesor del acuífero $T = K \cdot B$, si la permeabilidad varía T será la integral de K/B de 0 a B, se expresa en $M^2/Día$ o $Cm^2/Seg.$

Porosidad eficaz (me). Es el volumen de agua que se obtiene por drenaje gravitacional de un material previamente saturado, en relación con el volumen de la muestra, es adimensional y no debe confundirse con la porosidad total.

Coefficiente de Almacenamiento (S). Es el volumen de agua liberado por una columna de acuífero de altura igual al espesor del mismo y de sección unitaria al disminuir la presión en una unidad, en acuíferos libres coincide con la porosidad eficaz y su valor puede oscilar entre 0.01 a 0.4. En acuíferos cautivos el valor tiene menores órdenes de magnitud y se encuentra generalmente entre 10^{-3} y 10^{-5} , es adimensional.

Factor de Goteo (G). Es utilizado en el caso de los acuíferos semiconfinados y se expresa con la siguiente ecuación:

$$G = \frac{K - b}{K'/b'} = \frac{T}{K' / b'}$$

En general se expresa en metros o centímetros, según las unidades empleadas.

C A P I T U L O I V

DISEÑO DE POZOS

IV.1. DATOS DE DISEÑO

Para poder diseñar y seleccionar las especificaciones - correctas para la construcción y terminación de cada pozo en particular, se deberá contar cuando sea posible, con la siguiente información:

- A. PROPOSITO DEL POZO
- B. CAPACIDAD DEL POZO (GASTO QUE SE PRETENDE EXTRAER)
- C. CARACTERISTICAS DE LA FORMACION GEOLOGICA
- D. CARACTERISTICAS DEL ACUIFERO (S)
- E. METODO DE CONSTRUCCION

A. PROPOSITO DEL POZO.

Se deberá saber su(s) finalidad(es) más importante(s) - entre las siguientes:

- a. IRRIGACION
- b. MUNICIPAL

- c. ABREVADERO
- d. INDUSTRIAL
- e. DOMESTICO
- f. RECARGA DE ACUIFEROS
- g. DRENAJE

B. CAPACIDAD DEL POZO

Se deberá conocer el gasto (lts/seg) que llene los requerimientos en cada caso, aunque cabe aclarar que no todo el tiempo se pueden satisfacer las necesidades que se tengan con un solo pozo.

C. CARACTERISTICAS DE LA FORMACION GEOLOGICA

Si es posible, cuando se conozca en forma aproximada la geología del sitio, detallar las formaciones atravesadas, su nombre o nombres, su estructura, la presencia de fallas, intrusiones, alternancia, y contactos, de acuerdo con lo siguiente:

a) Materiales consolidados. En el caso de tobas compactas, areniscas, rocas sanas o poco fracturadas, etc.

b) Materiales consolidados pero inestables. Como arcillas, limos, arenas arcillosas, lutitas, algunos rellenos de talud, aglomerados, etc.

c) Materiales no consolidados. Si se trata de arenas, gravas, aluviones, boleos, depósitos de talud, rellenos, rocas fracturadas, etc.

d) La combinación de las tres formaciones anteriores, en cuyo caso es conveniente marcar los espesores aproximados de cada formación así como sus contactos.

D. CARACTERISTICAS DEL ACUIFERO

En este caso como en el anterior deberá obtenerse toda la información regional existente y que puede influir en el comportamiento del acuífero, así también aquella propia del acuífero mismo y en el caso más optimista, la información puntual que se tenga del sitio donde se pretende construir el pozo. Esta información deberá complementarse con todos aquellos datos adicionales de campo y de laboratorio que podamos obtener y generar, así como finalmente hacer una interpretación con el apoyo de todos los datos obtenidos y en la experiencia local, si es que se tienen.

En forma general, podemos enumerar la información más importante que de ser posible deberemos buscar, como es la información de pozos cercanos, la de los materiales atravesados en esos pozos durante su construcción, sus niveles estáticos y dinámicos, los registros eléctricos o sondeos geofísicos y las granulometrías de las zonas productoras y/o sus

características geológicas, los volúmenes y tipo de agua que se obtienen en los pozos, haciendo notar en especial los casos en que presentan problemas de salinidad o mineralización, que sea necesario aislar o que aún sea posible aprovechar. - Cuando se cuente con suficiente información, trataremos de de finir si se trata de acuíferos y cuáles formaciones son las productoras, cuáles las confinantes y cuál es su posición, - profundidad y características geológicas, así como la profun didad y características de la base del acuífero.

E. METODO DE CONSTRUCCION

Se deberá tomar en cuenta el que sólo se tenga disponible determinado equipo y sistema de perforación o si puede - escogerse el más adecuado entre todos los conocidos.

Los métodos de construcción utilizados son los siguientes:

a) Percusión. Que se lleva a cabo con una perforadora de - pulseta y es necesario conocer su capacidad y las herramientas con que se cuenta.

b) A Rotación. Se utiliza una máquina rotaria y el sistema dependerá del fluido de perforación que probablemente pueda ser utilizado, como agua, lodo o aire, y si la rotaria es pa ra perforación directa o inversa, se debe conocer su capaci-

dad y la herramienta por utilizar y los volúmenes de aire y presiones que se tengan disponibles.

c) Combinado. Percusión - Rotaria, con martillo neumático y máquina rotaria, se deberá tener el dato de los volúmenes de aire y las presiones disponibles.

Eliminamos aquí el procedimiento del hincado de ademe - por ser en la mayoría de los casos obsoleto y presentar además el peligro de falla de ademe o de que solamente se penetre hasta determinada profundidad del acuífero, dejando el pozo incompleto.

IV.2. DISEÑO DEL POZO

Con el diseño ya se definirán los siguientes datos:

1. Diámetro y profundidad de la perforación.
2. Registro eléctrico.
3. Selección del tipo de ademe y contra-ademe. Cementación del contra-ademe o del pozo.
4. Tipo de cedazos con ademe ranurado o de rejilla.
5. El desarrollo del pozo.
6. El aforo del pozo.

1. Diámetro y profundidad de la perforación.

El diámetro de la perforación de un pozo profundo depende prácticamente del gasto que se espera obtener y depende también de la formación que se atraviese; en formaciones geológicas recientes que son relativamente suaves y poco consolidadas (cenozoico y mezozoico) la regla es construir grandes agujeros para un determinado tamaño de ademe; en estratos más antiguos (paleozoicos) donde las formaciones son duras y las paredes no son fáciles de destruir, se pueden usar satisfactoriamente tamaños más pequeños en la perforación.

En sitios donde existe estratificación alternada de materiales de mayor o menor dureza, es necesario ampliar el diámetro de la perforación por las desviaciones que se presentan en los cambios de formación, así mismo se debe utilizar esta solución en los lugares donde se atraviezan fallas geológicas que dan lugar a muchas desviaciones.

La profundidad de un pozo está dada por la profundidad en la que se encuentra el acuífero y relacionada con el espesor del acuífero y el gasto que se espera tener.

2. Registro eléctrico.

El registro eléctrico es uno de los medios más valiosos y generalizados para obtener información por los barrenos -

perforados. El registro se logra haciendo descender un dispositivo explorador, (una sonda) unida a un cable eléctrico. La sonda encierra un sistema de electrodos por medio del cual se hacen de modo continuo medidas del potencial natural (comúnmente llamado el P.N.) y de la resistividad eléctrica de los estratos, desde el fondo hasta la parte superior del pozo. Las medidas son llevadas hasta la superficie y registradas automáticamente en una película fotográfica como función continua de la profundidad. La figura IV-1 muestra la sonda y la configuración de sus electrodos.

Curvas de Potencial Natural.- La curva P.N. es medida por el electrodo M. (figura IV-1). En la figura IV-2 se presentan las curvas P.N. idealizadas para varios tipos de rocas sedimentarias y fluídos contenidos en ellas. Básicamente, el potencial natural es una tensión eléctrica pequeña generada en los límites de las unidades de roca permeables (arenisca y caliza por ejemplo), y especialmente entre tales estratos y los de unidades menos permeables (pizarra por ejemplo). Otro factor en el potencial natural es la diferencia de salinidad entre el lodo de perforación y el agua, aún cuando ellos lleven petróleo y gas, y esta agua sea generalmente más salina que el lodo de barrenar. Enfrente de estas capas con agua salada, la curva P.N. se mueve en sentido negativo, es decir hacia la izquierda del registro. Si el lodo y el agua de la formación tienen la misma salinidad, la -

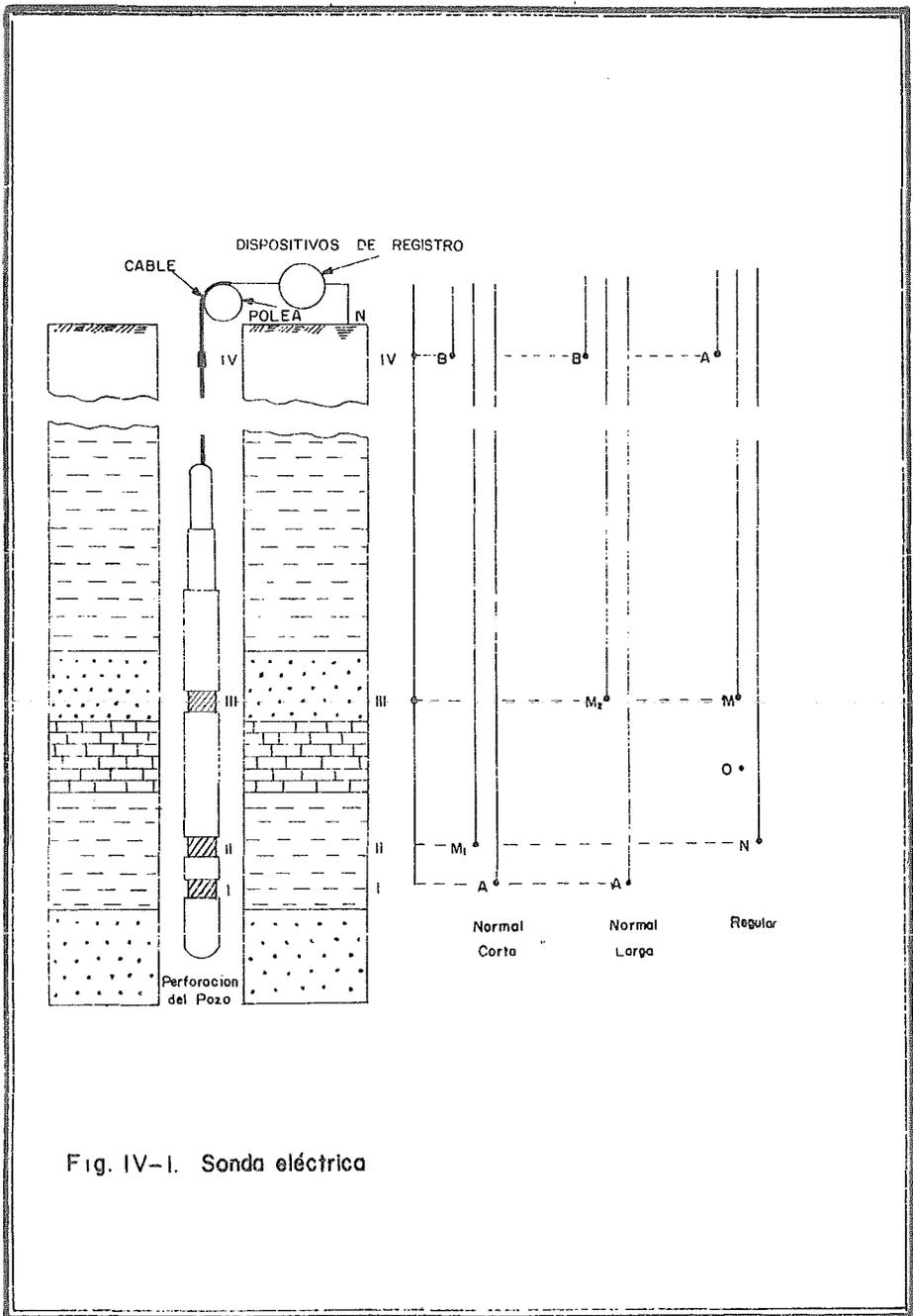


Fig. IV-1. Sonda eléctrica

curva P.N. no se aparta de un valor razonablemente uniforme asociado con las lecturas de la pizarra, al que se le llama comúnmente "línea de la pizarra".

Cuando los estratos contienen agua menos salina que el lodo, la curva P.N. se desplaza hacia la derecha de la línea de la pizarra.

Curvas de Resistividad.- La resistividad eléctrica de una roca (resistencia por unidad de volumen) depende primordialmente de la cantidad de fluido que contiene y de su resistividad eléctrica. La cantidad de fluido es, por supuesto, función de la porosidad; en consecuencia, la porosidad de una roca está relacionada con su resistividad. En términos generales, los estratos que tienen 10 por ciento de porosidad, tendrán una resistividad 10 veces mayor que los que tienen 30 por ciento de porosidad, aunque ambos contengan el mismo fluido. Una arenisca porosa llenada con petróleo (no conductor) tendrá una resistividad alta. Las calizas densas y las cuarcitas tienen muy baja porosidad y su capacidad para retener cualquier clase de fluido es pequeña, por lo cual tienen resistividades muy altas. Estos principios están expuestos por las curvas de resistividad de la figura IV-2.

En la perforación con barrenas rotatorias, las capas permeables próximas al barreno, pueden ser invadidas por el lo-

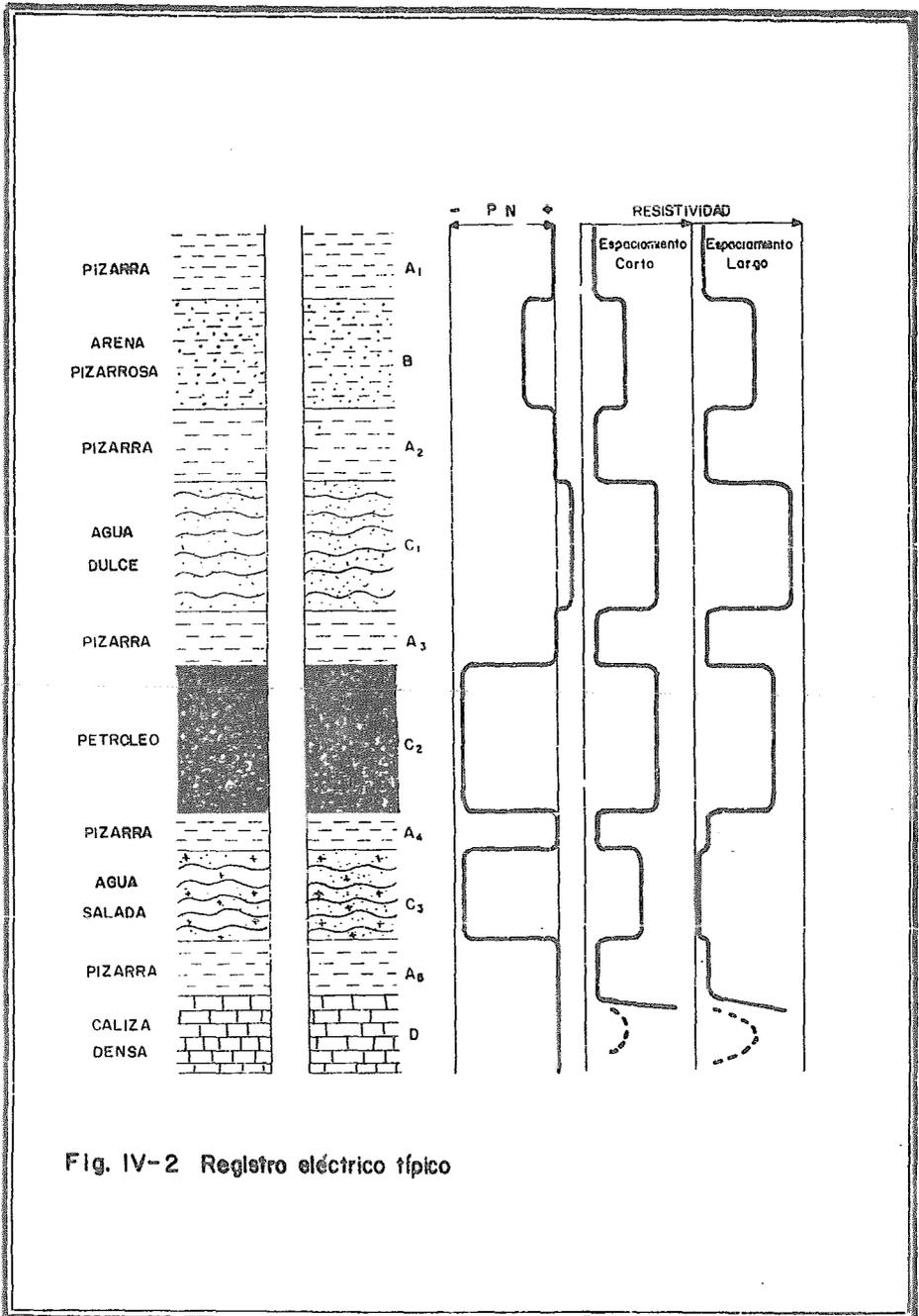


Fig. IV-2 Registro eléctrico típico

ta y larga están sobrepuestas y a la misma escala, mientras que la curva lateral se traza más a la derecha, a una escala independiente. Los picos o valores altos que se salen de la tira se transportan a la línea de base y pueden sombrearse - para distinguirlos.

La interpretación adecuada de los registros eléctricos requiere el conocimiento de varios factores que afectan el - carácter y el comportamiento de las diversas curvas. Las re laciones más o menos empíricas que se dan a continuación ba s tan para introducir al lector a los métodos interpretativos.

Las areniscas permeables muestran un gran potencial natural, y una arena gruesa está representada en el registro - eléctrico por una saliente algo redondeada en la curva P.N. que puede extenderse hacia afuera por 40 milivoltios o más. La resistividad de la arenisca depende en gran parte del fluí do que contenga. Si la arena contiene agua dulce o petróleo, las curvas de resistividad sobresalen hacia la derecha del - diagrama en una doble saliente en el registro eléctrico. Si la arena está interestratificada con pizarra, tanto la curva P.N. como la de resistividad muestran muchas muescas separadas por picos agudos o redondeados de ancho que varía en pro porción al espesor de las capas de arena interestratificadas.

La pizarra está típicamente representada por un poten-

cial natural y una resistividad baja. La caliza densa e impermeable muestra una curva P.N. pequeña y elevados valores de resistividad, especialmente en la curva lateral. La caliza porosa de curvas P.N. parecidas a las de la arenisca, en general, puede no dar valores tan grandes en milivoltios. Las evaporitas, como la sal y el yeso, tienden a tener una curva P.N. un tanto dentada con lecturas pequeñas de milivoltios, y resistividades muy altas, como es indicado por picos largos angostos en el registro de la resistividad.

Los principios de interpretación se aclaran considerando los distintos grupos de estratos y sus respuestas eléctricas que muestra el registro idealizado (fig. IV-2).

Las unidades A1, A2, A3, ..., son interpretadas como pizarras por las razones siguientes:

1. La curva P.N. no se aparta de la línea de la pizarra, indicando un medio no permeable.
2. Las unidades tienen una resistividad baja, indicando altas porosidades.
3. Ambas curvas de resistividad de espaciamiento corto y largo tienen el mismo valor, lo cual indica que los estratos son impermeables al lodo de barrenación.

La unidad B se interpreta como una arenisca pizarrosa

por las siguientes razones:

1. La curva P.N. se aparta moderadamente de la línea de la pizarra.
2. Ambas curvas de resistividad presentan un valor solo ligeramente más alto que la pizarra, indicando estratos de porosidad moderada.

La unidad C1 se interpreta como una arenisca que lleva agua dulce, por las razones siguientes:

1. La curva P.N. se aparta de la línea de la pizarra en sentido positivo.
2. Las dos curvas de resistividad presentan valores altos porque el agua dulce, que satura a la arena, es poco conductora.

La unidad C2 se interpreta como arenisca saturada de petróleo por las razones siguientes:

1. La P.N. tiene una fuerte deflexión negativa.
2. La resistividad de espaciamiento corto es bastante alta porque la parte de la arena medida por ese espaciamiento contiene petróleo residual y el líquido de barrenación que la ha invadido.
3. La resistividad de espaciamiento largo es alta porque la

arena más allá de la sección invadida se encuentra principalmente saturada de petróleo que es un mal conductor.

La unidad C3 se interpreta como una arenisca portadora de agua salada por las razones siguientes:

1. La P.N. se separa mucho de la línea de la pizarra en sentido negativo.
2. La resistividad de espaciamento corto es algo elevada - por estar la porción de arena medida llena de lodo infiltrado, no conductor, el cual ha desplazado mucha del agua salada conductora.
3. La resistividad de espaciamento largo es muy baja debido a que esta curva alcanza más allá de la sección invadida y se extiende hasta la arena saturada con agua salada conductora.

La unidad D se interpreta como una caliza impermeable por las razones siguientes:

1. La P.N. no se aparta de la línea de la pizarra, indicando una formación impermeable.
2. Las dos curvas de resistividad son muy altas, de hecho las curvas primarias están fuera de escala, y se registran las escalas reducidas. Esto indica una formación - muy densa conteniendo poca agua.

3. Selección de tipo de ademe y contraademe. Cementación - del contra-ademe o del pozo.

El ademe se instala en un pozo para prevenir se colapsen las paredes del pozo y para proveer junto con la cementación un aislamiento de determinadas formaciones atravesadas, para evitar la entrada de agua desde éstas al pozo o desde el pozo a la formación, también sirve de camisa protectora para las columnas de bombas, instalación de cables o de cualquier mecanismo que se instale dentro del pozo. Debe ser lo suficientemente fuerte para resistir las presiones ejercidas por el material que rodea al pozo, o por presiones impuestas durante su instalación, además deberá resistir la corrosión de los componentes del suelo y agua.

El material que se utiliza más frecuentemente para el ademado de pozos es el acero, pero ya se han estado utilizando plásticos aunque únicamente en pequeños diámetros (hasta 8") y en pozos someros (de menos de 60 mts.) en casos de corrosión también puede ser utilizado un ademe de asbesto-cemento, que actualmente ha sido utilizado hasta 14" de \emptyset y profundidad hasta de 80 mts. aproximadamente.

También existen ademes de acero inoxidable, aleaciones cupro-nichel, bronce, aluminio; que pueden ser usados para casos especiales donde el suelo o las condiciones de calidad del agua dicten su utilización.

Selección del tamaño adecuado.

A la fecha no existen especificaciones que regulen los tamaños y calidades de acero de los materiales que deben utilizarse, por lo que debemos atenernos a las que da cada fabricante en forma individual y a los tamaños y espesores que fabrican normalmente para el mercado, sin embargo, contando con tiempo suficiente, puede ser fabricado a una medida determinada en diámetro y espesor.

Los tamaños actualmente disponibles y que en forma general satisfacen las necesidades para construcción de pozos van desde 4" hasta 36" y generalmente en rangos cada 2", el espesor varía desde 3/16" hasta 4/16" normalmente.

Cuando va a ser utilizado el pozo para bombeo, deberá ser instalado el ademe de tal manera que quede prácticamente vertical y alineado, sobre todo esto último, de tal manera que nos permita la correcta instalación de la bomba.

A continuación damos una tabla de ademe recomendado según el gasto que deberá entregar la bomba por instalar.

GASTO L.P.S.	ADEME RECOMENDADO
Menos de 10 lts/seg	6" D.I. (15 cm)
De 5 a 15 lts/seg	6 a 8" D.I. (15 a 20 cm)

GASTO L.P.S,	ADEME RECOMENDADO
De 15 a 35 lts/seg	8 a 10" D.I. (20 a 25 cm)
De 35 a 60 lts/seg	10 a 12" D.I. (25 a 30 cm)
De 60 a 100 lts/seg	12 a 14" D.E. (30 a 35 cm)
De 100 a 140 lts/seg	14 a 16" D.E. (35 a 40 cm)
De 140 a 195 lts/seg	16 a 18" D.E. (40 a 45 cm)
De 195 o más lts/seg	18 o más D.E. (50 cm o más)

Cabe hacer la aclaración de que el pedir tubería entre 6" a 12" de diámetro, se estará hablando en diámetros interiores. En los casos en que haya instalación dentro del ademe de materiales o mecanismos, es lógico que deberá escogerse - un tamaño de ademe que dé una holgura suficiente para la instalación de los mismos.

Espesor de la pared.

El esfuerzo a la ruptura de tubería de acero para varios diámetros y espesores ha sido calculado suponiendo que el nivel del agua en su interior es rápidamente abatido y el nivel del agua exterior permanece estático.

El espesor recomendado para tubería de ademe para varios diámetros y que puede considerarse una buena solución, se muestra a continuación; sin embargo, en condiciones favorables podrá usarse una tubería más ligera:

DIAMETRO TUBERIA	ESPESOR DE PARED
6"	De 3/16 a 1/4"
8"	De 3/16 a 1/4"
10"	De 1/4 a 5/16"
12"	De 1/4 a 5/16"
14"	De 1/4 a 5/16"
16" en adelante	De 5/16 a 1/2"

Relación perforación - ademe.

La relación más importante que hay que observar en los pozos es el del tamaño de la perforación con respecto al ademe por colocar, y tomando en cuenta los puntos expuestos en el punto No. 1 donde se trata del diámetro de perforación en los pozos, se recomiendan los siguientes diámetros cuando hay que colocar filtro de grava:

PERFORACION	ADEMADO
De 36"	26"
De 30" a 36"	20" a 24"
De 24" a 30"	16"
De 20" a 22"	12" y 14"
De 17 1/2" a 20"	10" y 12"
De 12 1/4" a 14 3/4"	8"
De 12 1/4"	6"
De 8 3/4" a 9 1/2"	4"

Esto deberá ser ajustado de acuerdo con el tipo de material que se perfore y de su grado de consolidación.

4. Tipos de cedazos con ademe ranurado y de rejilla.

En materiales poco consolidados y en ciertas condiciones en materiales consolidados, en la zona bajo el nivel freático, debe proveerse al ademe de determinadas aberturas que permitan el paso del agua dentro del pozo, al mismo tiempo - que impidan o reduzcan al mínimo la entrada de materiales finos durante el bombeo. Lo anterior se logra con la combinación de material granular introducido entre el ademe y la pared del pozo y con aberturas apropiadas del ademe, de tal manera que sólo se permita la entrada de agua sin llegar por supuesto a una excesiva pérdida de carga en el recorrido de la misma desde la formación hasta el pozo.

Existen dos tipos de cedazos; secciones perforadas o troqueladas de ademe y secciones tubulares especialmente diseñadas para tener una gran área de infiltración y que se conocen comúnmente como "rejillas".

El tipo cedazo rejilla está empezando a ser utilizado en México y actualmente ya se obtiene el fabricado con alambre trapezoidal y galvanizado para aumentar su resistencia a la oxidación, en diámetros que van desde 6" hasta 14".

Sección del diámetro y la abertura adecuada.

La selección del diámetro está en función del tamaño de la bomba que va a ser colocada, se puede considerar que la solución ideal en este caso es la de utilizar una rejilla y ademe del cobre del tamaño de los tazones de la bomba, pero en el caso de pozos que se usen un tiempo relativamente corto, se deberá reducir el diámetro al que permita el acceso libre de la bomba por ser una solución económica.

La selección de la abertura está en función del gasto que se pretende obtener del acuífero y que puede ser estimado con bastante precisión conociendo la permeabilidad relativa obtenida al realizar pruebas de bombeo en la zona que se trate.

Cuando el acuífero presenta una granulometría homogénea, (coeficiente de uniformidad menor de 3.0 y tiene un tamaño efectivo menor de 0.01"), debe colocarse un filtro. El coeficiente de uniformidad es la relación entre el tamaño de la malla que retiene el 40% de los materiales del acuífero y el tamaño efectivo. El tamaño de la malla que retiene el 90% de los materiales del acuífero es el tamaño efectivo.

Area de infiltración de los cedazos. El total de área que permita la entrada de agua, debe ser como mínimo la diseñada para que la velocidad de entrada no exceda los 3 cm/seg.

La ranuración o troquelado o cualquier método que se utilice para obtener un área de infiltración determinada, debe efectuarse con espaciamientos, dimensiones y distribución uniforme; y en caso de los cedazos, deberán preferirse aquellas secciones cuya abertura aumenta del exterior hacia el interior (trapezoide).

Selección de tamaño de abertura. El ancho de la abertura deberá ser usado de acuerdo con el siguiente criterio, que está basado en el material de la formación que deberá ser retenido.

a) Cuando el coeficiente de uniformidad de la formación es mayor que 6 y el ademe se coloca en una zona de formaciones compactas que no presenten tendencias a disgregarse, la abertura deberá ser aquella que retenga el 30% de la muestra de la formación.

b) Cuando el coeficiente de uniformidad de la formación es mayor que 6 y el ademe se coloca en una zona de formación suelta, la abertura deberá ser aquella que retenga el 50% de la muestra de la formación.

c) Cuando el coeficiente de uniformidad de la formación es 3 o menos y la formación es inestable, la abertura deberá ser de un tamaño tal que retenga el 60% de la muestra de la formación.

Para condiciones intermedias de la formación se deberán interpolar los criterios marcados.

d) Cuando la formación atravesada presente una granulometría poco uniforme, se deberá seleccionar la abertura con base en el material más fino.

e) Si el agua de la formación es corrosiva o se tiene poca seguridad en las muestras obtenidas, se deberá escoger una - abertura un 10% menor que la que se obtenga siguiendo el criterio marcado.

Filtros de grava.

Selección del tamaño y granulometría adecuada. Un filtro artificial consiste en un material granular de una determinada medida y graduación que se instala en el espacio anular entre el cedazo y la formación. El filtro tiene usualmente un menor coeficiente de uniformidad que el material de la formación y un tamaño efectivo mayor, lo que permite el - uso de la mayor abertura de ranura y en consecuencia de un - gran área de filtración con una baja velocidad de entrada y una reducida pérdida de carga.

El filtro debe tener una permeabilidad considerable - más alta que la formación, de tal manera que viene siendo un aumento del diámetro efectivo.

Los factores anteriores tienden a aumentar la eficiencia y la capacidad específica del pozo y se reduce así mismo la posibilidad de producir exceso de acarreo de arena dentro del pozo.

La grava debe consistir en un material limpio, granular bien redondeado de preferencia de una gravedad específica mayor que 2.5, no se deberá tener más del 1% del material con un peso específico menor que 2.25.

La grava deberá contener cuando mucho el 2% de material delgado, laminado y deberá estar prácticamente libre de arcilla, mica o materia orgánica.

El tamaño del filtro por utilizar se determinaría multiplicando el tamaño de la malla que retiene el 50% de la formación más fina atravesada multiplicada por 4, el punto así obtenido es el tamaño correspondiente al 50% del material por usarse.

El coeficiente de uniformidad del filtro no deberá ser mayor de 2.5 y la curva granulométrica deberá ser gradual y continua, el 90% del material deberá ser retenido por la abertura del cedazo.

El espesor de la capa filtrante debe ser 4" como míni-

mo y 8" como máximo. (Fig. IV-2.b)

5. El desarrollo del pozo.

Esta es una de las actividades más importantes para la terminación de un pozo para extracción de agua, de un adecuado desarrollo puede depender el buen funcionamiento del pozo, y en un momento dado él no efectuar un buen desarrollo, puede provocar que aunque se atravesase un buen acuífero, no se tenga la capacidad específica real del acuífero.

Con el desarrollo se elimina cualquier gel que se encuentre en las paredes del pozo y los finos que hayan penetrado la formación segando algunos acuíferos importantes, además se extraen los finos que están en contacto con el material filtrante, formando un verdadero filtro natural con una permeabilidad mayor a la de la formación. Además se reacomoda el material del filtro y de la formación adyacente estabilizándolo, evitando en esta forma, el paso de finos y contribuyendo a tener un pozo más eficiente con mayor vida y bajos costos de mantenimiento y operación.

Existen varios métodos de desarrollo de pozos y los más comunes son los que se enlistan a continuación:

BOMBEO

SUCCION

SUCCION Y BOMBEO

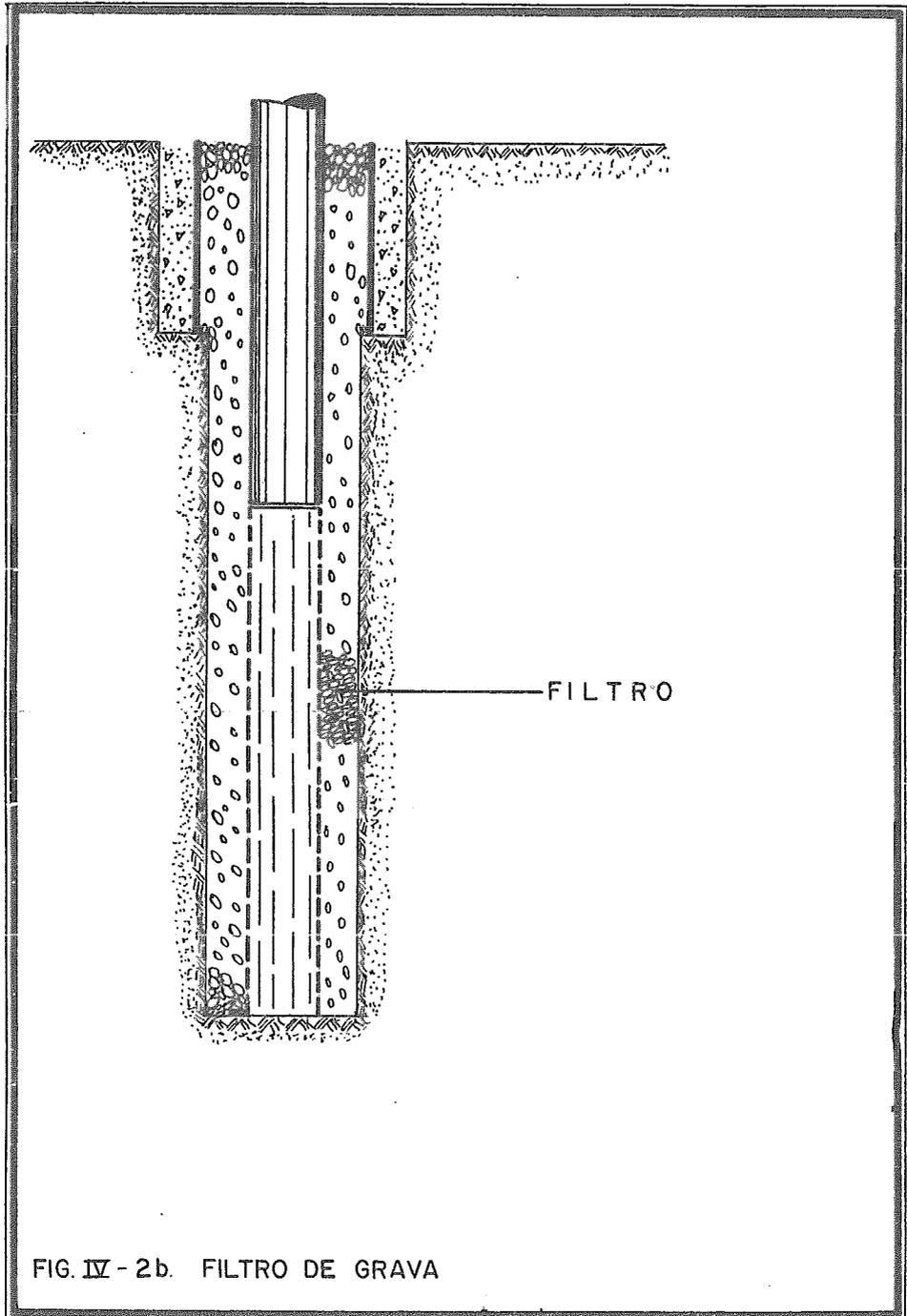


FIG. IV - 2b. FILTRO DE GRAVA

FRACTURAMIENTO

LAVADO

No es posible anticipar como responderá un pozo a determinado desarrollo, por lo que en el caso de la utilización de cualquier método, se deberán ir observando los resultados que se van obteniendo e ir incrementando la acción de desarrollo conforme vayan aumentando los gastos y disminuyendo las extracciones de arena, hasta que se obtenga agua limpia, libre de sólidos, después de una interrupción momentánea de la acción de desarrollo.

Método de desarrollo con aire con doble tubería (Airlift).

Este método se lleva a cabo utilizando una doble tubería, cuyas funciones son de introducción de aire y de extracción de agua y arenas. La tubería interior que se utiliza es de 1 1/4" y 1 1/2" de \emptyset y alimenta el aire necesario - proporcionado por un compresor con una capacidad desde 365 - PCM o hasta de 750 PCM y de preferencia de alta presión (250 PSI) que permite el bombeo aún con cargas de agua hasta de - 140 mts. La tubería exterior es de 4" de \emptyset , lo cual permite la libre circulación del agua con arena a una alta velocidad.

La operación de desarrollo se inicia con un 20 a 25% - de sumergencia y se prosigue hasta el fondo del pozo, el proceso de descenso es lento, estacionándose el tiempo suficien

te para permitir la limpieza y desarrollo en toda la zona de donde se presenta el acuífero, esta acción se altera con descargas y paros que provocan un mejor reacomodo del material y una menor extracción de las arenas, cuando el agua obtenida se presenta libre de impurezas o con una pequeña cantidad de finos, el sifoneo se prolonga aproximadamente 2 hrs. sin ninguna interrupción que provoque el acomodo final del filtro.

Como una continuación de la operación anterior, se hace el desarrollo antes del aforo y al iniciar el bombeo las extracciones de agua se hacen con la válvula casi cerrada, - produciéndose así bajas velocidades de entrada de agua al - pozo, no presentándose succiones fuertes que puedan provocar - fuerzas importantes dentro del pozo y los movimientos consiguientes, que llegan a ocasionar colapsos de la rejilla, así se prosigue el bombeo, incrementando el gasto y controlando - la reducción del contenido de arenas en el agua, se continúa aumentando paulatinamente el gasto hasta que se obtiene el - deseado, ya sin extracción de arenas.

En la forma descrita se obtienen magníficos resultados durante el funcionamiento de los pozos, extrayendo así casi la totalidad del agua existente en las formaciones atravesadas.

6. El Aforo.

Una vez terminado el desarrollo del pozo se procede a su aforo.

A la profundidad medida de la superficie del suelo al espejo del agua, cuando no se está bombeando el pozo, se denomina Nivel Estático.

A la profundidad medida de la superficie del suelo al espejo del agua, cuando se está bombeando el pozo, se denomina Nivel Dinámico o de Bombeo.

A la diferencia de profundidades entre el Nivel Dinámico y el Nivel Estático se denomina Abatimiento.

Método de Medición de los Niveles del Agua.

La medición de los niveles estáticos y dinámicos o de bombeo, es una operación que se ejecuta por un método indirecto que puede consistir en un circuito eléctrico.

Hay varios dispositivos portátiles que son adecuados para la medición de los niveles sea estático o dinámico por medio de un circuito eléctrico. Son aparatos de fácil manejo llamados sondas eléctricas y constan principalmente de un

electrodo protegido y una longitud de alambre aislado que al cance a bajar el electrodo unido a un extremo desde la superficie del terreno hasta el nivel del agua que se va a deter-minar; el otro extremo del alambre está conectado a una fuente de potencia que puede ser un magneto o una batería que produce cierto voltaje, suficiente para inducir una señal lumi-nosa, sonora o registrar en un miliamperímetro una intensidad de corriente, cuando se ha cerrado el circuito a través del electrodo dentro del agua. El cable puede estar marcado en -tramos para saber en un momento dado la distancia del electrodo a la superficie o lo que es lo mismo el nivel del agua al cerrarse el circuito.

Medición del Gasto en el Aforo de Pozos.

Al mismo tiempo que se hace la medición de los niveles del agua deben hacerse las mediciones de la cantidad de agua que está siendo bombeada a esos niveles, lo que es en reali-dad lo importante y finalidad de la prueba.

El método más fundamental y exacto para medir la cantidad de agua de una corriente continua es por medio de la me-dición directa de un determinado volumen, éste es conocido - como el método volumétrico el cual debe ser hecho con toda -precisión. Implica, la medición del volumen del agua bombeada, colectándola en un recipiente en un período de tiempo da

do; para grandes cantidades de agua este método es poco práctico y raras veces es usado; sin embargo para pequeñas cantidades da muy buenos resultados. Ya que el método anterior - presenta algunos inconvenientes y no es práctico para la mayoría de los pozos, se utilizan otros métodos basados sobre el comportamiento del flujo de los líquidos bajo ciertas condiciones de restricción. Estos métodos incluyen el uso de - medidores de corrientes, orificios calibrados, vertedores y otros dispositivos variando en pequeños porcentajes en relación con las cantidades exactas del gasto verdadero. La mayoría de estos dispositivos son de fácil instalación pero deben, ser sin embargo, correctamente instalados y las lecturas deben tomarse cuidadosamente. La necesidad de un dispositivo que dé una aproximación razonable, que sea compacto y de fácil instalación, se ha conducido a aceptar la medición del gasto sobre el tubo de descarga del equipo de prueba usado, este puede hacerse y como comprobación debería hacerse por - los 2 métodos más comunes: "La escuadra y descarga libre del chorro" o con "piezómetro y orificio calibrado".

Escuadra y Descarga Libre del Chorro.

Este método, ver Fig. IV-3, está basado en la determinación de la velocidad del agua por el sistema de coordenadas rectangulares en donde "D" es la componente horizontal de la distancia que recorre un punto de la vena líquida y "y" es -

la distancia vertical de ese punto. Despreciando la resistencia del aire y considerando una velocidad constante de la vena líquida tenemos:

$$v = \frac{2.215 A}{y}$$

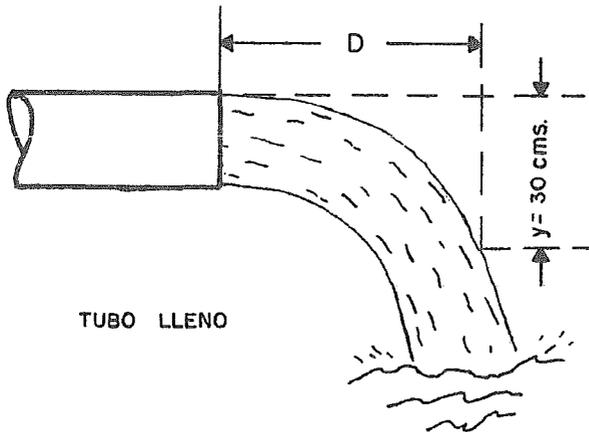


FIG. IV-3

Conocida la velocidad de descarga de la vena líquida, el gasto lo tendremos multiplicando por el área a través de la cual ocurre esa velocidad.

$$Q = \frac{2.215 A D}{y}$$

Simplificando la operación de la medición del gasto, empleando para ello un valor constante para "y",

el cual por razones comerciales se escoge de 30.5 m (12"), finalmente se tienen:

- Para:
- Q lts/seg = 0.004 A D
 - y = 30.5 cm
 - D en centímetros
 - A en centímetros cuadrados

Piezómetro y Orificio Calibrado.

Dada la fórmula para la velocidad de una partícula en una vena líquida que pasa a través de un orificio,

$$v = \sqrt{2gh}$$

el gasto correspondiente lo encontramos multiplicando la velocidad por el área del orificio.

$$Q = A \sqrt{2gh}$$

En la Fig. IV-4 se observa un dibujo con la disposición de los elementos usados para la medición del gasto por el método de "piezómetro y orificio calibrado". Debe insertarse a medio tubo de la tubería de descarga de la bomba de pruebas, un pequeño tramo de tubo de 6.35 mm o 12.7 mm (1/4" ó 1/2") de diámetro, que por la parte interior del tubo de descarga quede al ras, continuándose con un dispositivo para instalar un tubo de vidrio vertical o una manguera de plástico que sea transparente y cuya situación respecto al extremo del tubo de descarga, se localice a una distancia mínima de 2 1/2 veces el diámetro de dicho tubo de descarga. El valor de h llamado también altura piezométrica, precisamente se mide a partir de medio tubo de descarga hasta la altura que haya alcanzado el agua dentro del tubo de vidrio o de la manguera de plástico.

El orificio calibrado debe ser de pared delgada y adap

tarse a una unión con rosca, la cual precisamente se enrosca en el extremo libre de la tubería de descarga. Para obtener una mayor precisión en la determinación del gasto por aforar debe calibrarse periódicamente el área del orificio.

En virtud de que el concepto de bomba de aforos, debe ser un equipo de pozo profundo cuya capacidad sea mayor que la que se espera de un pozo por aforar y siendo requisito indispensable que la altura piezométrica que se vaya a leer - tenga una magnitud mínima de 3 veces el diámetro del orificio calibrado; deberá seleccionarse una relación conveniente entre diámetro del orificio calibrado y diámetro de la tubería de descarga, a esa relación la designaremos con la letra "K" y constituye un factor de corrección a la ecuación del gasto.

$$Q \text{ lts/min} = 5/3 KA \sqrt{2gh}$$

Para: K = Coeficiente menor que la unidad

A en centímetros cuadrados

g aceleración debida a la gravedad, 9.81 m/seg²

h en centímetros

En la Fig. IV-5 se aprecia un sistema de ejes rectangulares con la curva representativa de la variación de K en función de la relación de diámetros del orificio calibrado al diámetro del tubo de descarga.

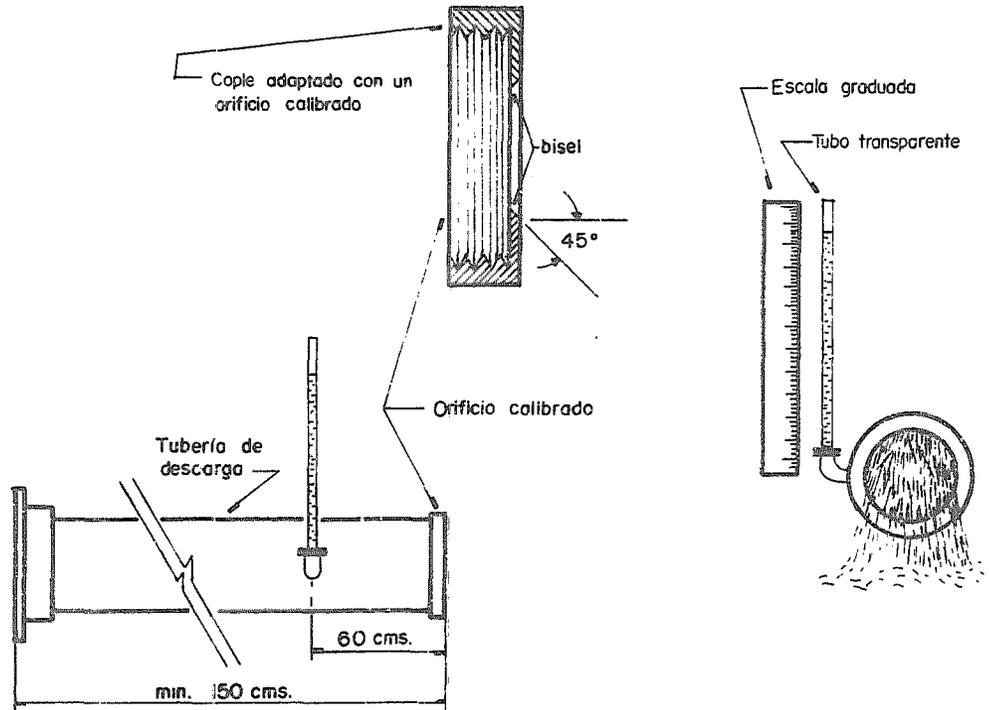


Fig. IV-4. AFORO CON PIEZOMETRO Y CRIFICIO CALIBRADO.

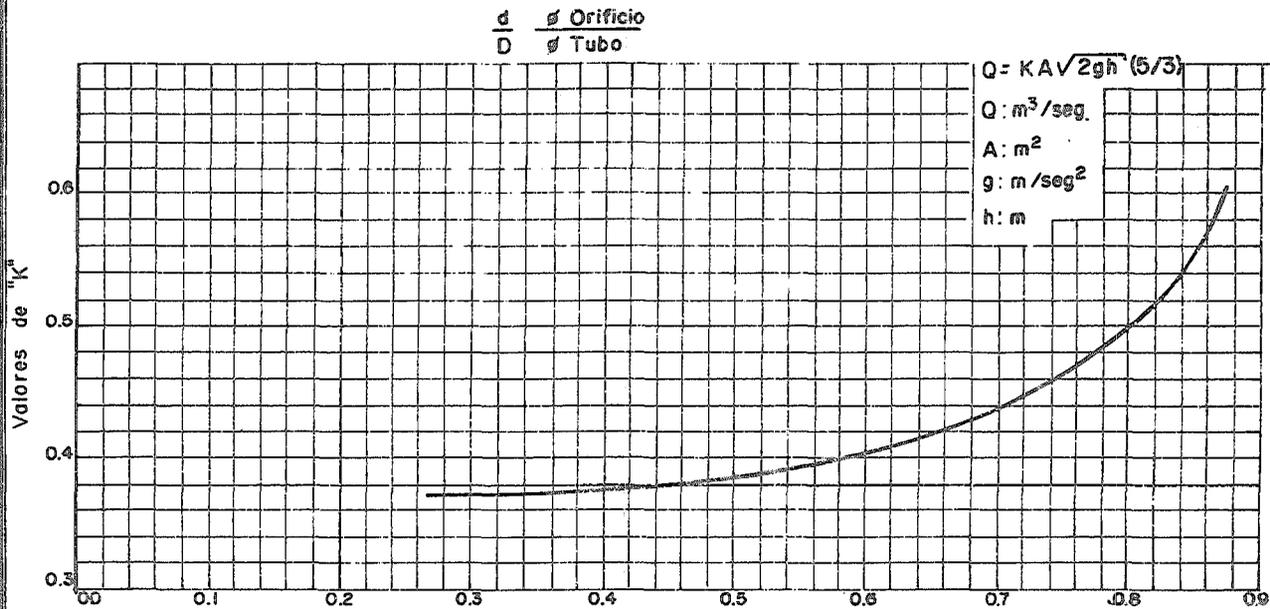


Fig. IV-5 CURVA DEL FACTOR DE FLUJO "K"

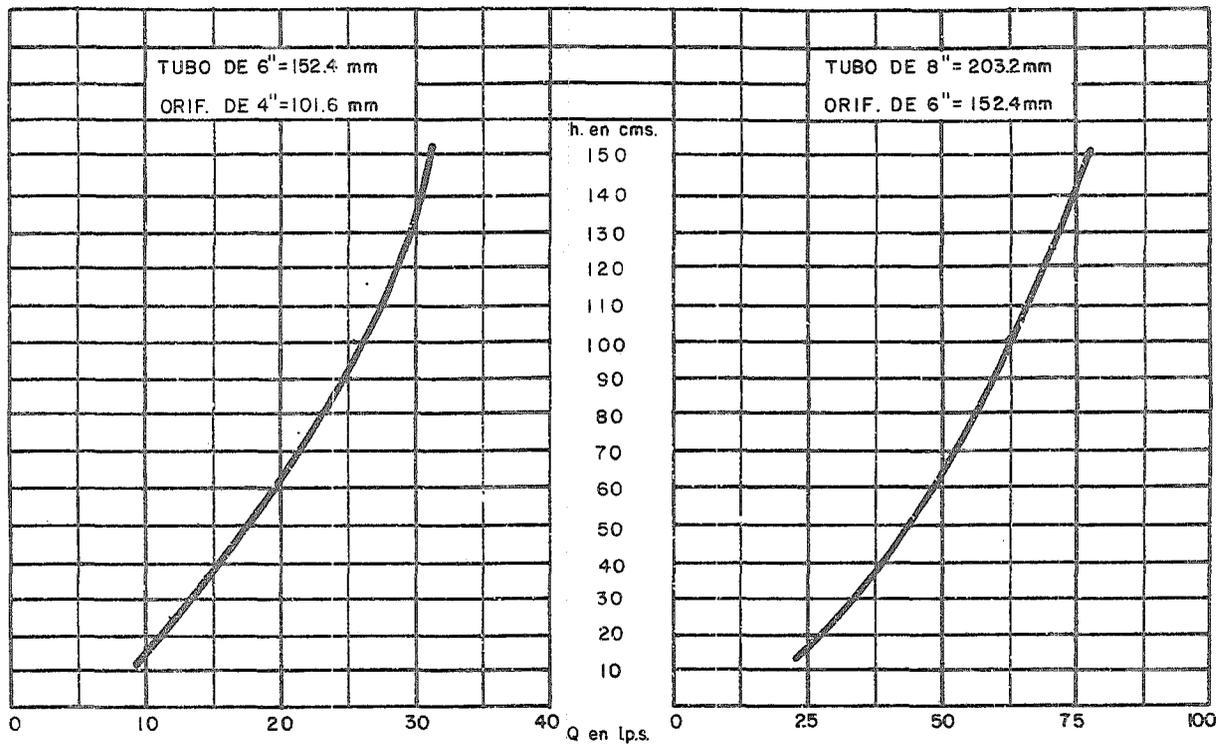


Fig. IV-6 AFORO CON PIEZOMETRO Y ORIFICIO CALIBRADO

C A P I T U L O V

PERFORACION DE POZOS

V.1. PERFORABILIDAD DE LAS ROCAS

Es muy importante hacer notar que a pesar de la gran variedad de procedimientos de perforación existentes, es básico escoger el procedimiento aquel que nos permite llevar a cabo la perforación de la formación y no el pensar que un procedimiento determinado pueda ser utilizado con éxito en cualquier formación. Como se verá mas adelante, cada procedimiento nos permitirá perforar en forma adecuada en determinadas condiciones geológicas y de abastecimiento de materiales y el éxito - de nuestro trabajo dependerá en muchas ocasiones, en escoger aquel procedimiento con el cual "se puede perforar determinada formación".

Las formaciones geológicas presentan características - muy variables en cuanto a dureza, estructura, compacidad, etc., y a continuación se enumeran algunas características que se - consideran importantes y que influyen en la perforabilidad de

las rocas.

V.1.a. ROCAS IGNEAS

Las rocas ígneas son particularmente difíciles de perforar, especialmente cuando se encuentran en estado inalterado o poco intemperizado. Lo anterior provoca que generalmente se tenga una vida muy corta de las brocas y velocidades de penetración muy bajas. En general puede decirse que las rocas granodioritas son muy duras, quebradizas y abrasivas; las básicas, que contienen menos cuarzo y más minerales ferromagnesianos como por ejemplo; el gabro, basalto, etc., son menos abrasivas, pero debido a la textura y disposición natural de los minerales ferromagnesianos tienden a ser más difíciles de perforar a pesar del hecho de ser menos duras y abrasivas.

V.1.b. ROCAS SEDIMENTARIAS

Como las rocas sedimentarias son formadas por la acumulación del sedimento en un medio acuoso, seco o una combinación de ambos mas el efecto agregado de la evaporación durante el proceso, su naturaleza es muy variable y depende como es natural del tipo de rocas que las originan, de su composición química, tamaño de partículas, tipo de cementante que -

contiene y de las cargas que soportan o hayan soportado. Todo lo anterior hace que su grado de perforabilidad sea muy variable, pudiendo encontrar rocas muy difíciles de perforar - por su dureza o abrasividad, así como algunas areniscas y algunos tipos de lutitas cuya dificultad de perforación no estriba en su dureza o abrasividad, sino en su coeficiente de abundamiento que provocará problemas al hidratarse y cerrar el pozo y en algunos otros casos se tiene el problema para su - perforación de la falta de cementante, como es el caso de algunos rellenos del cuaternario.

V.1.c. ROCAS METAMORFICAS

En el caso de las rocas metamórficas como en el de las rocas ígneas, sus características de perforabilidad son producidas por su composición mineral, el tamaño de los cristales y su grado y tipo de alteración y/o recristalización, por lo que se tendrán también variaciones, sin embargo los cambios químicos producidos, generalmente generan rocas más blandas - que la roca madre; como por ejemplo, la alteración de las tobas a arcillas y de los granitos que por la alteración de sus feldespatos, generan también arcillas.

En los tres tipos de rocas hay varios factores a considerar durante la perforación que se agregan a lo ya menciona-

do, como son:

- a) Estructura
- b) Fracturamiento
- c) Fallamiento
- d) Estratificación
- e) Espesor de los Estratos
- f) Alternancia de los Estratos
- g) Intrusiones
- h) Tipo de Foliación
- i) Grado de Intemperismo
- j) Tipo de Intemperismo (físico o químico)

Las diaclasas que ocurren prácticamente en todos los tipos de rocas conocidas y son producidas por las tensiones a que están siendo sometidas, así como el fracturamiento y/o el fallamiento, nos provocan una pérdida de eficiencia durante la perforación, debido a pérdidas de circulación que pueden ser desde ligeras hasta totales, con la consiguiente disminución de velocidad de retorno aún en aquellos casos en que la pérdida del fluido es mínima, creando durante el recorrido, zonas con variaciones importantes en las velocidades de circulación por los cambios bruscos de áreas; esto produce en algunos casos la acumulación y el anillamiento de corte y la disminución del potencial del fluido utilizado para el acarreo de los cortes; además de lo anterior, el fracturamiento provo

ca que se tenga que usar menos velocidad de rotación de la herramienta de perforación para evitar la rotura de diamantes, insertos de carburo de tungsteno o de los dientes de la broca y la transmisión de impactos severos al equipo a través de la herramienta de perforación.

El ángulo en que se atraviesan las diferentes capas, - fracturas, fallas o estratos, nos afecta la perforación debido a la tendencia a desviar el agujero, por la diferente compacidad de las capas, estructura, dureza, estabilidad ante de terminado fluído de perforación, etc.

El grado de intemperismo de las rocas generalmente permitirá una mayor facilidad de perforación en las rocas superficiales, aumentando su dureza conforme se penetra a capas - más profundas que son generalmente más antiguas y han estado sometidas a mayores cargas durante un mayor tiempo.

Puede concluirse que la clasificación geológica no es - el único punto a considerar cuando se va a efectuar una perforación y que la dificultad de realizarla será tan variable como sea la presencia de todos los factores mencionados, por lo que deberá hacerse un análisis muy cuidadoso para poder llegar a la programación y selección de los sistemas más adecuados de perforación y a tener una idea más clara de las posibilidades de variación de los costos, que serán influídos direc

tamente por las dificultades naturales de realización de la o
bra y que aún vistos desde el punto de vista de una misma cla
sificación geológica, presentan un amplio rango de variación
que debe ser tratado objetivamente en cada caso.

Cuando se carece de información, que es en un gran núme
ro de casos, se pueden encontrar condiciones totalmente dife-
rentes a las planteadas, llegando hasta el caso en que se lle
ga al cambio no sólo de procedimiento sino hasta de tipo de -
perforadora durante el proceso ya de trabajo.

V.2 METODOS DE PERFORACION

V.2.a PERFORACION A PERCUSION

Este método es el más antiguo conocido y a la fecha si-
gue siendo muy utilizado y aunque durante el transcurso de los
siglos tuvo algunas pequeñas mejoras, como ha sido el uso de -
motores de combustión interna, cables de acero, engranes, amor
tiguadores, sistemas de transmisión, etc., el procedimiento -
básico de subir y bajar una herramienta de determinado peso -
para golpetear la formación con trépano con puntas en forma -
de cincel, sigue siendo el mismo y actualmente se realiza accio

nando el trépano, al cual se le ha agregado peso a través de un barretón, y se maneja por medio de un cable conectado a unas tijeras de perforación que permiten el golpeteo constante del fondo del pozo disgregando los materiales, poniéndolos en suspensión en un lodo que se agrega al pozo, siendo extraídos los cortes posteriormente mediante el uso de una cuchara para limpieza.

La sarta de perforación está formada por las siguientes herramientas que están colocadas de abajo hacia arriba, como sigue:

El trépano o broca. Es la herramienta de ataque y está diseñada conteniendo un filo de penetración que fractura y disgrega la formación, un cuerpo que transmite el peso necesario para el impacto y que con su cambio de sección provoca una agitación mecánica del lodo que se adiciona o que se forma al ir perforando, logrando poner en suspensión gran parte de los cortes, dependiendo de su tamaño y peso.

Los tipos de brocas son las regular o tipo californiano, dos aguas, de cruz y cuatro aguas, cuyos alerones proporcionan un mayor soporte en formaciones con tendencia a desviarse, o en espiral que permiten una mayor agitación del lodo dentro del pozo y un mayor giro de la herramienta que permite dar la forma redondeada sobre todo en materiales suaves y arcillosos,

alisando y remoldeando las paredes hasta lograr su compactación; los hombros pueden ser oblicuos (normal) o rectos; en el primer caso, se trata de evitar el atascamiento, y en el segundo, permitir golpetear hacia arriba cuando sea necesario.

En cuanto a la forma de ataque, se escogerán brocas con ángulo de penetración agudo y amplio ángulo de despeje para rocas suaves, y brocas con ángulo de penetración obtuso y pequeño ángulo de despeje en rocas duras y abrasivas. En el caso de arcillas y margas, la principal función ya no es la de ataque, sino la mezcladora para poner en suspensión el mayor número de cortes y efectuar limpiezas continuamente, por lo que en este caso el ángulo de ataque no es muy agudo, pero se cuenta con un amplio ángulo de despeje y gran superficie de trituration.

Barretón. Sobre la broca va conectado el barretón, que es la pieza que adicionada a la broca nos proporciona el peso adecuado para dar el impacto deseado, y además sirve de guía a la broca, es una pieza cilíndrica de acero que exige un gran cuidado de sus cuerdas y del apriete en la conexión para evitar roturas.

Tijeras o Percusor. Es la herramienta conectada a la parte superior del barretón que tiene dos funciones esenciales, en forma similar a los eslabones de cadena, permitirle -

el juego entre la herramienta de perforación y el cable reduciendo el chicote del mismo, y además se emplea como un elemento de seguridad, puesto que en un caso de derrumbe de la formación o de haberse atrapado la herramienta permitirá el golpeo hacia arriba para desatascarla.

Soquet. Es la pieza que nos sirve para unir el cable a la sarta de perforación y que además nos transmite una acción de rotación que permite el cambio del sitio de ataque de los filos de la broca, el cable se une al soquet pasándolo por su interior, deshaciendo los torones del cable, abriéndolos y aprisionándolos con una pieza metálica y vertiendo en el interior metal fundido.

Los puntos débiles de nuestra sarta son la unión en el soquet y las cuerdas, las cuales son construídas siguiendo las normas del A.P.I.

Cable. El elemento de mayor importancia es el cable de perforar, del que depende la sarta de perforación y es el que le transmite la fuerza tensora que permite elevar y soltar la herramienta para lograr el impacto necesario, está sometido por lo tanto a un esfuerzo continuo y violentas sacudidas al tensar la herramienta, sufre un desgaste continuo por la fricción con las partículas que contiene el lodo, así como la producida por el roce con las paredes de la perforación al

chicotear el cable, el rozamiento al enrollarlo y subir y bajar la sarta y las cubetas de limpieza, a la torción que se produce en los contactos con las poleas, etc.

Los cables más adecuados para adaptarse al funcionamiento descrito son los formados de alambres con calidad de acero de arado, torcido izquierdo para que al aflojar y ponerse en tensión el descableado lo haga girar de izquierda a derecha o sea en el sentido del apriete de las roscas que unen los componentes de la sarta, con alma de cáñamo (tipo Seale) y generalmente con el arreglo 6 x 19 (torones, alambres).

Debe existir además una relación adecuada entre el diámetro del cable y el de las poleas de la máquina así como debe tenerse el cuidado para que el cable asiente debidamente. Los fabricantes de cables nos dan las siguientes tolerancias.

TOLERANCIAS EN EL DIAMETRO DE LA RANURA EN
RELACION AL DIAMETRO DEL CABLE

DIAMETRO DEL CABLE		DIAMETRO DE LA RANURA
6.5.8 mm. (1/4 - 5/16")	+	0.4.0.8. mm. (1/64 - 1/32)
9.5.19 (3/8 - 3/4)	+	0.8.1.6. (1/32 - 1/16)
20.28 (13/16 - 1.1/8)	+	1.2.2.4. (3/64 - 3/32)
30.38 (1.3/16- 1.1/2)	+	1.6.3.2. (1/16 - 1/8)
40.50 (1.19 - 31-2)	+	2.4.4.8. (3/32 - 3/16)

Y además se deberá seguir la siguiente relación de cable con los tambores y poleas dependiendo de su arreglo.

CABLE	DIAMETRO DEL TAMBOR O POLEA
6 x 7	42 Ø
6 x 19	30 Ø
6 x 37	18 Ø
8 x 19	21 Ø
8 x 7	34 Ø

Otra regla general puede ser la siguiente:

Diámetro de Tambores $D = 400$ d.

$d =$ (diámetro de los alambres más gruesos del cable).

Diámetro de Polea $D = 450$ d.

V.2.b POZO GUIA DINAMITADO

La perforación de rocas de gran dureza como basalto, ríolitas y andesitas sanas, suele en algunos casos, ser muy lenta y presenta gran dificultad, retardando los tiempos de construcción.

El método consiste en la perforación previa de un pozo con el sistema de rotación y a un diámetro de 6 1/2" o con martillo o rotación del mismo diámetro, esta labor se efectúa rápidamente y durante su desarrollo se confirma la posición de los estratos duros existentes; una vez realizada la perforación se procede a su voladura tratando de lograr la mayor fragmentación y su mayor penetración; la carga del barreno y su voladura sólo se realizan en las zonas duras y se empaqueta el pozo con arena en las demás zonas hasta su llenado.

El método de voladura que se debe utilizar es el siguiente:

Como cebo se utiliza una gelatina que se coloca en el fondo y como detonador un estopín eléctrico, a partir del ce-

bo se rellena el pozo de 6 1/2" de diámetro, con un explosivo a base de nitrato de amonio hasta llegar a los estratos suaves donde se rellena con arena gruesa para evitar un puenteo.

En caso de alternancia de estratos importantes, se hace repetitivo este sistema de carga, teniendo la precaución de usar un iniciador de cada sección separada de voladura.

Una vez debidamente cargado el pozo, se efectúa la explosión del mismo y se inicia el trabajo de perforación con pulseta al diámetro de proyecto, generalmente se obtienen en todos los casos magníficos resultados, no solo en la reducción del tiempo de perforación, sino también en la verticalidad del pozo.

Es necesario hacer notar, que lo esencial en este método es efectuar una voladura adecuada, para lo cual se deberán seguir las siguientes reglas:

No es necesario perforar el pozo guía a un diámetro mayor de 6 1/2", el hacerlo conduce únicamente a una reducción en el rendimiento de perforación y un aumento en el costo, no sólo de la perforación sino del explosivo por utilizar, así como no se deberá reducir el diámetro de perforación a menos de 6".

No deberá usarse Primacord u otro tipo de cordón explosivo para iniciar la perforación, esto solo provoca que el nitrato de amonio no alcance su velocidad óptima dentro del pozo, así como en forma muy importante, la fragmentación del material y la penetración de la onda.

No deberán ponerse varios cebos a lo largo de una misma carga, en lugar de reforzar la explosión en esos lugares como erróneamente se cree, únicamente provocará el mismo efecto del cordón explosivo reduciendo la velocidad de la onda y un aumento del costo de los explosivos usados.

Como en todos los casos de voladuras, la carga deberá - estar debidamente confinada para lograr su mayor efecto.

Siguiendo estas precauciones se pueden asegurar el mejor resultado en el método del pozo guía.

V.2.c PERFORACION A ROTACION CON AGUA

Existen varios sistemas de perforación a rotación directa y el proceso constructivo que se utiliza, es prácticamente el mismo en todos, y la única variación que se tiene es la utilización de diferentes fluídos de perforación, para el desalojo del corte de la formación y mantener limpio el fondo..

El procedimiento de perforación contempla la utilización de una torre de perforación con Kelly o flecha de transmisión y mesa rotaria o con cabezal de rotación; la sarta de perforación completa consistente en las tuberías de perforación, las trabarrenas con sus combinaciones para hacer las conexiones - entre las diferentes roscas, sus portabarrenas, las llaves, - cuñas y collarines adecuados para el manejo de la sarta y por supuesto la broca adecuada; para el manejo del lodo es necesario contar con la bomba adecuada para la perforación.

METODO DE PERFORACION

La acción perforadora es debida a la rotación de una broca en el fondo del pozo, transmitida ésta por una sarta de perforación manejada desde la superficie por un kelly y una mesa rotaria o un cabezal de rotación, todo sostenido a través de cables por los malacates o por sistemas de transmisión a base de cadenas o una combinación de ambos.

La broca al girar corta y desmenuza el material conforme penetra en la formación y una vez realizada esta operación se limpia el fondo del pozo y desalojan los cortes con el fluido de perforación que se alimenta a través de la herramienta y - que al descargar a través de la broca golpea el fondo del pozo limpiándolo de las partículas quebradas y ayudando en algunos casos a fracturar la roca, el fluido prosigue desplazándose -

hacia afuera del pozo acarreando los cortes a la superficie - dejándolo limpio, mientras la tubería y la broca prosiguen su movimiento hacia abajo profundizando el pozo, el fluido descarga en la superficie, donde se separan los cortes utilizando - la decantación en fosas para tal efecto o por vibración mediante el uso de mallas adecuadas.

Para que pueda realizarse el trabajo de la broca es necesario aplicar peso sobre la misma, lo que se logra utilizando una parte del peso de los lastrabarrenas, el peso aplicado dependerá de las características y estructuras propias de la formación por atravesar y además de la capacidad de la máquina rotaria utilizada. Pudiendo decirse que en forma general las formaciones suaves necesitarán la aplicación de un menor peso que las duras y en el caso de las máquinas para perforación de pozos de agua, que son por regla general prácticamente someros, no se tiene la capacidad suficiente en la torre para aplicar el peso adecuado y no se tiene la capacidad para alcanzar las especificaciones del fabricante de brocas en cuanto - al esfuerzo que deben transmitir para su funcionamiento óptimo, lo que provoca su desgaste por fricción, esto tiene sus excepciones en algunas perforaciones profundas como es el caso de los pozos para abastecimiento de agua potable de la Ciudad - de Monterrey y algunos otros.

FUNCIONES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

1.- Enfriamiento de la Broca.- Es una de las funciones más simples y esenciales. Prácticamente cualquier fluido que pueda ser bombeado, cumplirá esta función.

2.- Remover el Corte del Fondo del Barreno.- Al perforar un material o formación, los cortes producidos por la broca deben removerse continuamente del barreno. En algunos casos, ocurren caídos en la pared del barreno, éstos también deberán ser removidos.

La capacidad de un fluido de perforación para remover el corte, dependerá de los siguientes factores:

- Peso específico de la roca que se está cortando
- Tamaño del recorte
- Densidad del fluido
- Viscosidad del fluido
- Velocidad de circulación del fluido en el espacio anular

Es sumamente importante el último punto, ya que puede suceder que en secciones del barreno donde se han erosionado mucho las paredes, el espacio anular sea muy grande y la velocidad del fluido no sea suficiente para mantener los cortes -

en movimiento hacia afuera del pozo, lo cual produce acuífamiento o atascamientos de la tubería de perforación.

La remoción de los cortes de una medida y densidad dadas utilizando un fluido de baja densidad, requiere de una velocidad de circulación superior a la que se necesitaría con cualquier fluido que presente una mayor densidad, éste es el caso del aire, por lo que en ese caso se agrega agua espumante que le proporciona un soporte adicional a las partículas por la tensión superficial de la espuma que se forma. Cuando el fluído de perforación posee una determinada densidad, los cortes - una determinada medida y peso específico serán removidos fuera de la perforación bajo la misma velocidad de ascenso, y diferencias en tamaño y peso, provocan una cierta segregación dentro del pozo.

PREVENSIÓN DE DERRUMBES

Dando una suficiente presión hidrostática diferencial - dentro del agujero, se pueden mantener formaciones poco consolidadas en su lugar. La columna de fluido de un pozo ejerce una determinada presión en cualquier dirección en un punto - que se encuentre a una profundidad determinada. Teóricamente esta presión puede ser aumentada hasta que sea suficiente para mantener en su lugar cualquier formación, que de otra manera sin este soporte podría derrumbarse dentro de la misma. En

la práctica, en la mayoría de los casos los fluidos empiezan a perder agua hacia la formación atravesada, por lo que, cuando esto se considera de importancia, es necesario mejorar las características del fluido de perforación, tratando de evitar que el agua filtrada altere la formación y que el depósito del gel en las paredes llegue a tener espesores importantes que nos puedan provocar el taponamiento de las formaciones permeables y/o el atascamiento de la herramienta por una pegada diferencial al adherirse la sarta de perforación con el lodo que se deposita en las paredes del pozo, lo que nos provoca la retención de la sarta por la pequeña fuerza de adherencia, pero multiplicada por un área muy grande dándonos una acción similar a la de un pilote hincado, ésta es una de las pegaduras - menos deseadas por la dificultad de su rescate. En algunas arcillas y otras formaciones que en forma natural no están en contacto con el agua, cuando un fluido de perforación las alcanza en cantidad suficiente, se expanden y con ella cierran el calibre del pozo impidiendo la libre circulación, así mismo, cuando la columna de lodo (fluido de perforación), se llena de burbujas de gases, decrece su peso unitario y consecuentemente se reduce la presión hidrostática del lodo. También cuando se saca la herramienta, se ejerce una acción de pistón o émbolo que succiona, especialmente cuando el lodo tiene una apreciable resistencia de gel, o cuando se ha permitido la formación de una capa importante de bentonita gelificada (Cake) por la pérdida de agua hacia la formación. Cuando se presen-

tan algunas pérdidas de circulación se reduce la altura de la columna dentro del pozo y se disminuye proporcionalmente la presión hidroestática, cosa que puede causarnos problemas similares a los ya enunciados.

En el caso de la perforación con aire, se pierden las características de prevención de derrumbes y control de presiones de fluido existentes en la formación, por lo que es evidente que no se debe utilizar en formaciones sueltas o fácilmente deleznable que no presenten una compacidad suficiente que evite su desmoronamiento, sino solo en el caso de formaciones compactas (esto es, independiente de su dureza).

LUBRICACION DE LA TUBERIA DE PERFORACION, DE LAS PAREDES DE PERFORACION, DEL ADEME Y DE LA BROCA

Un buen fluido de perforación cubre todo con una película que sirve para lubricar reduciendo pérdidas por fricción durante la rotación.

Impedir la Corrosión.- Un buen fluido de perforación tiene un adecuado porcentaje de coloides que tienen que impedir la corrosión. Para condiciones corrosivas muy severas, es aconsejable agregar inhibidores químicos, como el nitrato o el cromato de sodio.

SOSTENER TODOS LOS SOLIDOS EN SUSPENSION EN EL FLUIDO -
DENTRO DE LA PERFORACION, PARTICULARMENTE DURANTE INTE-
RRUPCIONES DE LA PERFORACION

La fuerza de gel de un fluido debe ser suficiente para prevenir que los cortes y otros sólidos se asienten en el fondo del agujero. De una manera similar, los materiales sueltos en grietas e intersticios deben ser sostenidos y evitar su entrada a la perforación. La fuerza de gel varía sobre límites amplios, según el peso, viscosidad y medida de los cortes o - partículas de caídos que contenga el lodo.

DEPOSITAR TODAS LAS ARENAS Y CORTES EN LA ZANJA O EN LA FOSA DE SEDIMENTACION

Así como es importante la remoción de todas las arenas y cortes fuera del agujero y tenerlas en suspensión durante - las interrupciones de la perforación, es igualmente importante, que la consistencia del fluido permita el asentamiento de la arena o de los cortes en el canal o en la fosa de sedimientos. Estas funciones aparentemente opuestas, pueden obtenerse a través de un control muy cuidadoso de la viscosidad y de la fuerza de gel, en conjunto con un apropiado arreglo de los canales, mallas, vibradoras y fosas.

FACILITAR MOVIMIENTOS DE LA TUBERIA DE PERFORACION Y DE ADEME

Este movimiento es facilitado por medio de una correcta lubricación del fluido de perforación y manteniendo el agujero libre de una capa de cake gruesa, y de los cortes caídos.

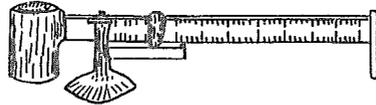
NOTA: La habilidad de un fluido de perforación de llenar las funciones anteriores, excepto aquellas dadas por el peso unitario, es debido grandemente a la concentración de materiales coloidales en el fluido de perforación.

PROPIEDADES DE LOS LODOS DE PERFORACION

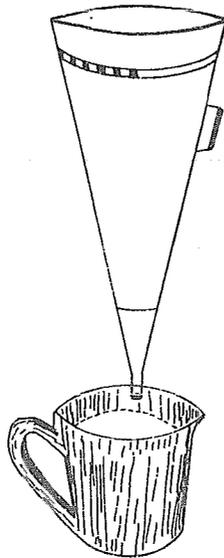
1. Peso del Lodo o Densidad
2. Viscosidad del Lodo
3. Resistencia de Gel
4. Filtración

MEDIDA DE LAS PROPIEDADES DE LOS LODOS

1. Densidad Balanza de Lodos
2. Viscosidad Cono de Marsh
3. Resistencia de Gel Viscosímetro de Rotación
4. Filtro Prensa



Balanza de Densidades



Viscosimetro de Marsh

Fig. V-1

vés del orificio en su fondo.

Cuando se perfora con un fluido a base de aire, a diferencia del lodo de perforación que mantiene limpio el agujero con una velocidad angular que puede considerarse baja, del orden de 70 - 125 pies por minuto, es necesario alcanzar velocidades de retorno de aproximadamente 3000 pies por minuto, por lo que el recorte es removido casi tan rápidamente como se forma, incrementando con esto la velocidad de penetración sobre todo cuando se atraviesan materiales suaves y la producción de corte es abundante.

El aire como no proporciona el soporte en las paredes - puede ser utilizado únicamente en formaciones que se sostengan aún después de perforar, no puede utilizarse en arenas, materiales de acarreo o sueltos, que no presenten determinada cementación. Es particularmente útil en lugares donde se tienen graves problemas de abastecimiento de agua o en formaciones que presentan pérdidas totales de circulación que obligan a un gasto excesivo de bentonita y agua y que no solucionan el problema de la extracción de los cortes.

Existe otra propiedad que se utiliza con una gran ventaja en la perforación con aire, entre menos densidad y viscosidad presenta un lodo de perforación es mayor el rango de penetración de la formación por el incremento de la velocidad de

retorno, sin que se tenga un fuerte aumento de las pérdidas - de carga por fricción; luego entonces, se perfora más rápidamente con aire que con agua y más rápidamente con agua que con lodo; por lo anterior siempre que sea posible y en lugares - donde existen pequeñas o grandes pérdidas de circulación, el perforar con aire puede ser usado con ventajas, esto es posible por el incremento en la velocidad de extracción del corte como ya se mencionó.

A poca profundidad puede utilizarse aire únicamente como fluido de perforación (25 m) pero el profundizar o al encontrar materiales fracturados se tiene dificultades en el acarreo de los cortes a la superficie y para facilitar la extracción de los materiales se adiciona una mezcla de agua espumante con una bomba de mayor presión que el compresor utilizado, produciendo con esto una columna que aunque presenta un peso específico muy bajo tiene una gran capacidad de acarreo de las partículas de la formación por la tensión superficial de la película de las burbujas de espumante.

El fluido aire agua espumante es una mejor solución para la extracción del corte y la lubricación y enfriamiento - de las herramientas de perforación en pozos profundos, que - el uso únicamente de aire.

V.2.d PERFORACION A ROTACION UTILIZANDO AGUA COMO FLUIDO DE PERFORACION

Cuando la formación por atravesar así lo permita para lograr la mayor eficiencia se puede utilizar agua como fluido de perforación. Ello requiere se tomen las siguientes precauciones: Se debe disponer durante todo el tiempo, de agua suficiente para evitar al máximo los paros durante la perforación, se debe realizar la perforación lo más rápido posible, para evitar que el agua inyectada a presión socave un mismo lugar y provoque caídos que pueden atrapar la herramienta o cerrar el pozo.

Al perforar o extraer la tubería del pozo, se debe tener la precaución de ir llenándolo de tal manera que todo el tiempo se mantenga la presión hidráulica en las paredes (esto es indispensable). El utilizar agua nos impide por supuesto, extraer algunos materiales del corte, siendo estos los más pesados que no pueden ser molidos durante la perforación, como puede ser el caso de gravas o arenas gruesas, esto obliga a esperar un volumen de azolves bastante fuertes, en vista de lo cual, siempre que se utilice agua es necesario perforar de 10 a 15 metros más de la longitud a donde se debe llevar el ademe; esta cámara de azolves puede ser establecida en cada una de las formaciones que se perfora, tomando en cuenta el tiempo que se tarda la operación de colocación de ademe dentro del

pozo y la velocidad de depósito de azolve.

Al perforar, se crea una diferencia de presiones en la broca puesto que en el anillo que existe entre la formación y la herramienta, se tiene un fluido formado por agua con recorte en suspensión y dentro de la tubería existe agua prácticamente limpia, menos pesada que el fluido que va ascendiendo a la superficie; la diferencia de presiones creada por la situación anterior y la de suspender la circulación para hacer una conexión, provoca un flujo ascendente en el interior de la tubería de perforación, como este fluido tiene corte, al circular hacia dentro obstruye el interior de la broca, cosa que obliga a sacarla para destapar; esto se impide colocando una válvula check lo más cercana a la broca, esta precaución puede evitar que la herramienta sea atrapada en un momento dado, en el fondo del barreno.

Otras de las precauciones que se deben tener, es la de observar si se tienen rellenos superficiales en la zona de la localización en cuyo caso será necesario llevar contra-ademes hasta pasar dichas zonas. En zonas donde la formación superior presenta capas de arena suelta, sobre todo si éstas se encuentran en zona cercana al nivel freático superficial es muy conveniente llevar el contra-ademe a un nivel inferior al del nivel freático. Esto es debido generalmente a que en la zona de oscilación del nivel, se presentan grietas y en con

secuencia grandes pérdidas de circulación que aunque no sean totales provocan deslaves que pueden ascender hasta la superficie y colapsar el pozo, sobre todo en este caso de perforación con agua. Siguiendo las recomendaciones anteriores, se podrá esperar la mínima presentación de problemas al perforar con agua en materiales suaves, siempre y cuando se trate de pozos someros (100 mts.) que puedan ser perforados rápidamente.

PROBLEMAS ESPECIFICOS DURANTE LA PERFORACION Y SOLUCIONES POSIBLES

Los factores que determinan el éxito o fracaso en la perforación de un pozo son numerosos y generalmente interrelacionados; los más significativos son:

1. Propósito y Objetivo.- Cuales son los requisitos en cuanto a recuperación del núcleo, muestreo, profundidad y tiempo necesario.
2. Litología.- Tipo, profundidad de las formaciones y condiciones estructurales relacionados con la estabilidad del pozo.
3. Equipo de Perforación.- Capacidad, limitaciones y estado actual del equipo.

4. Agua.- Calidad, cantidad y fuentes de obtención.
5. Personal.- Experiencia, capacidad y supervisión.
6. Local.- Acceso de provisiones, plano de perforación y designación de área para excedentes.
7. Clima.- Temperaturas extremas.

Estos factores son necesarios considerarlos durante la planeación previa de los trabajos; sin embargo, durante la perforación pueden presentarse diversos problemas que dependen - en general, de las características de los tipos de formaciones rocosas que se atraviesen, y que en numerosas situaciones, pueden ocasionar un retraso considerable en los avances. Algunos de los problemas más comunes son:

- 1) Derrumbes
- 2) Pérdidas de Circulación
- 3) Atrapamiento de Herramienta
- 4) Caídos
- 5) Gas
- 6) Corrosión
- 7) Desviaciones
- 8) Sales
- 9) Artesianismo, etc.

En los siguientes párrafos se analizan brevemente cada uno de ellos.

1) Derrumbes.- Se producen cuando las paredes del pozo se caen hacia el interior de la perforación. Puede ocurrir en las siguientes situaciones:

- Saturamiento con agua de una estructura inestable.
- En rocas en estado alterado y sensibles al agua en donde puede ocurrir una descomposición mecánica puede ser causada por altas velocidades de circulación en el espacio anular; cambios de presión causados por el levantamiento o introducción de los tubos de perforación; rotación excesiva; vibración de la tubería (a veces porque está torcida), el no mantener el pozo lleno de lodo mientras se saca la tubería y las presiones excesivas producidas por la bomba que pueden derrumbar formaciones consolidadas frágilmente.

Los materiales frágiles se distinguen en contacto con el agua, siendo las principales las arcillas. Estas cuando toman agua se hidratan hinchándose de tal forma que las formaciones que están aglutinadas por arcillas se desintegran fácilmente.

mente.

La solución a este problema es a base del fluido de perforación, así, para las arcillas expansivas y formaciones sueltas se recomienda tener:

- Materiales Pesados.- Con una suficiente presión hidrostática en la columna del fluido de perforación - puede sostener muchas formaciones inestables.
- Cualidades de Filtración.- Manteniendo un eficiente fluido de perforación que permita la entrada de la menor cantidad de agua posible en la formación, con el fin de evitar la hidratación de las arcillas.
- Película (Cake).- Debe ser delgada para impedir el pistoneo al remover las herramientas.

Si las alternativas a base de fluidos de perforación no solucionan el problema, será necesario utilizar tubería de ademe hasta la profundidad, en donde el problema se ha agudizado, aunque un buen programa de lodos resultaría más económico.

2) Pérdidas de Circulación.- La pérdida del fluido de circulación es el problema más frecuente y serio que se encuentra en las perforaciones y las causas que lo originan son

difíciles de identificar.

Es importante antes de establecer una solución al problema, el tener plena conciencia de la profundidad en que ocurrió la pérdida y no suponer de antemano, que todas las pérdidas de circulación se producen en el fondo de la misma. Es necesario conocer los materiales que se van atravesando, su posible estructura, así como el determinar los tramos en que posiblemente pudo haber ocurrido la pérdida.

Puede suceder que el mismo operador induzca la pérdida del fluido, por lo que tratando de mantener la circulación se recomienda observar los siguientes puntos:

- La operación de entrada o salida de la tubería debe hacerse despacio y con cuidado.
- No se debe perforar con mucha rapidez acumulando recorte en el pozo. En posibles zonas de pérdida esto se debe hacer con mucho cuidado.
- La tubería debe girarse lentamente antes de empezar a bombear; una vez con el lodo hasta el nivel deseado, se pueden proseguir las operaciones normalmente.
- La bomba debe ser operada a la velocidad más baja po

sible que asegure la limpieza del pozo y el enfriamiento de la broca, para evitar erosiones fuertes de la formación.

- Si se está perforando con agua y se presenta una pérdida, se necesita cambiar el agua a lodo antes de que la situación se haga crítica.

- Evitar que se acumule material del recorte alrededor de la barrena, no perforando muy rápidamente las formaciones blandas.

- Hacer frecuentes exámenes de las propiedades del lodo y mantener las siguientes propiedades:
 - a) Peso Mínimo
 - b) Viscosidad Mínima Anular
 - c) Filtración Mínima (Restricción y Control del -
" Cake ")

Si con las observaciones anteriores se producen pérdidas de circulación se debe proceder a la colocación o inyección - de tapones. Estos pueden ser:

a) Tapones de Cemento.- La lechada agua-cemento tiene un ángulo de reposo muy bajo y a esto puede deberse que no sean

muy eficientes. Se colocan por desplazamiento y a gravedad, con la tubería franca situada unos 5-10 m. arriba de la zona de pérdidas. Se debe tener mucho cuidado al colocar este tipo de tapones ya que se puede pegar la tubería de perforación, por un mal fraguado de la mezcla o bien porque pueden desprenderse fácilmente pedazos de cemento ya fraguado con el movimiento de la tubería, una vez que se reanuda la perforación. Cabe mencionar que debido a la dureza de estos tapones y cuando la roca presenta una consistencia menor que la del cemento fraguado, la perforación puede desviarse de su posición original.

b) Tapón de Cemento, Bentonita Expandido.- Esta lechada tiene un ángulo de reposo mayor que la anterior. La perlita sirve para formar puentes y detener la pérdida de la lechada en la formación, y para disminuir la densidad de la lechada hasta el mínimo de 1.32 g/cc. Como dato comparativo, la lechada de cemento y agua pesa alrededor de 1.85 g/cc. Si no se dispone de la perlita, se puede usar en su lugar tierra diatomea en concentraciones hasta de 40% en peso que reducen la densidad de la lechada hasta 1.33 g/cc., aproximadamente. - El tiempo de fraguado inicial del cemento, no se modifica por la adición de esta tierra, pero sí se reduce la resistencia a la compresión.

El mejor procedimiento para obturar cavernas con este -

tipo de tapones, es colocarlos relativamente pequeños y repetirlos las veces que sea necesario. En este caso debe darse tiempo suficiente entre cada tapón, para que frague el anterior, o por lo menos para que adquiriera una consistencia pastosa y no fluya fácilmente a la formación cuando reciba el peso del siguiente. Es conveniente dejar un testigo de la lechada (en agua si es que está debajo del nivel freático), y observar su fraguado inicial.

c) Tapón de Cemento y Bentonita.- Tienen un ángulo de reposo alto, pero la densidad de la lechada no es tan baja como cuando se adiciona perlita. El porcentaje máximo de bentonita puede ser del 12%, pero a partir del 10% colocado será necesaria la adición de un dispersante (ligno sulfonato) para evitar presiones de bombeo.

d) Tapón Diesel - Bentonita.- Estos tapones tienen la ventaja de no expandir la bentonita antes de que entre en contacto con el agua de la formación. La lechada se hace mezclando desde la superficie bentonita con diesel, aunque también puede hacerse adicionando cemento al diesel y bentonita.

Las siguientes observaciones deben hacerse al colocar - un tapón:

- Reportar profundidad de la tubería franca y volumen de diesel usado en la mezcla.
- Anotar hora en que se colocó el tapón (al terminar - de contar las emboladas de desplazamiento).
- Anotar si circuló en la superficie al desplazar.
- Anotar si se sostiene el nivel después de llenar el pozo.
- Reportar si al sacar la tubería, el lodo se tira por el interior de la misma y/o si al desconectar la flecha o kelly se oye succión en el tubo de la rotaria.
- Anotar cualquier aumento de presión al desplazar el tapón.
- Si se tarda más de 90 min. en sacar la tubería por - causas imprevistas, vigilar el indicador de peso.
- Reportar a qué profundidad se tocó la parte superior del tapón, al bajar la herramienta con barrena.

3) Atrapamientos.- Las causas que originan un atrapamiento de la tubería pueden ser:

- Derrumbamientos por inestabilidad de las paredes y por pérdidas de circulación.
- Asentamiento del corte y minerales pesados.
- " Cake " demasiado grueso.
- Presiones diferenciales dentro del pozo.

El tratamiento normal e inmediato para cuando se pega la tubería, es introducir petróleo (crudo o diáfano según el caso), ya que debido a su densidad menor que el agua o lodo, reduce la presión diferencial. El desplazamiento del lodo con aceite o petróleo también reduce el acumulamiento de la costra de lodo. La facilidad del petróleo al penetrar entre la tubería y el " cake ", proporciona una lubricación al acero de la tubería.

Una vez que se ha colocado el aceite en el pozo, se tratará de sacar la tubería con esfuerzos de tensión dados con la máquina misma, y si esto no diera resultado, se le ayudará al equipo utilizando gatos hidráulicos de capacidad mayor al dado con el equipo de perforación.

Si la tubería continúa pegada, será necesario llevar un ademe entre el espacio anular con el fin de cortar el bloqueo

de la herramienta.

Recomendaciones a base del fluido de perforación, para prevenir o reducir las pegaduras:

- a.- Mínima densidad para mantener la menor presión diferencial y asegurar un contenido bajo de sólidos en la película de arcilla (cake).
- b.- Una pérdida de filtración baja para reducir la acumulación de arcilla en el "cake" cuando se para la circulación.
- c.- Fricción mínima entre el "cake" y la tubería, que se consigue, manteniendo el lodo libre de arena.

4) Caídos.- Ocurren cuando se desprenden fragmentos de la roca que se está perforando a cierta profundidad, debidas al intenso fracturamiento de la misma.

Esto se puede evitar con fluidos de perforación como los recomendados anteriormente, o bien colocando tubería de ademe hasta la zona de caídos.

5) Corrosión.- Se presenta cuando el agua de la formación contiene sales en solución que dejan en la herramienta

M-00 28625

de perforación. Puede evitarse parcialmente agregándole al lodo, aditivos a base de una substancia que contrarreste o neutralice a la de la formación.

6) Gas.- En algunos lugares cercanos a yacimientos petrolíferos o zonas geotérmicas, se puede encontrar una bolsa de gas que puede o no ser inflamable y que al perforar esa zona, éste salga en forma inesperada y abrupta ("blow-out"). Esta situación es bastante peligrosa, ya que si el gas es inflamable puede ocurrir que salga con una presión tal, que lanza al espacio la herramienta de perforación, o en el menor de los casos se establezca una presión diferencial que derrumbe las paredes del pozo y atrape la herramienta.

Cuando se tienen antecedentes de que puede haber gas en el área en donde se está perforando, será necesario observar el fluido de perforación que sale del espacio anular y ver si no se presentan burbujas de gas o aire. De ser así, se necesitará elevar la densidad del lodo a base de barita y continuar vigilando la salida del fluido de perforación en el espacio anular. Se recomienda además, el no seguir perforando si no solamente circulando este lodo durante algún tiempo, a fin de dejar escapar en forma lenta la mayor parte de gas.

Si la presión es demasiado grande, no se podrá continuar la perforación sin la colocación de preventores en la boca del

pozo.

7) Desviaciones.- Es muy común que se presenten desviaciones, ya sea por cambio en la dureza de la roca o por perforar en terrenos que tienen una disposición en capas y con cierta inclinación.

Cuando se conoce la estructura de la roca a perforar, - se debe proceder con mucho cuidado en el peso que se le aplica a la herramienta, además que será necesaria la utilización de estabilizadores.

Cuando se está utilizando un equipo a base de percusión, se puede corregir la desviación rellenando con piedras el tramo que se ha desviado y volverlo a reperforar. Otra solución podrá ser el uso de explosivos dentro del pozo para corregir la desviación. La aplicación del peso adecuado a la barrena es fundamental para evitar en lo posible las desviaciones, ya que el hecho de aplicarle mucho peso a la formación ayuda a - que se produzcan las desviaciones.

8) Sales.- Situación similar a la de Corrosiones.

9) Artesianismo.- Se presenta cuando al llegar con la perforación a algún manto acuífero, éste sube por el agujero hasta salir a la superficie, aunque no necesariamente esto

siempre ocurre.

Se puede controlar, adicionando peso al lodo de perforación hasta lograr que el agua deje de salir, el aditivo recomendado en estos casos es a base de barita. Si el pozo no presenta problemas como los mencionados en los incisos anteriores, se puede continuar la perforación hasta finalizarla.

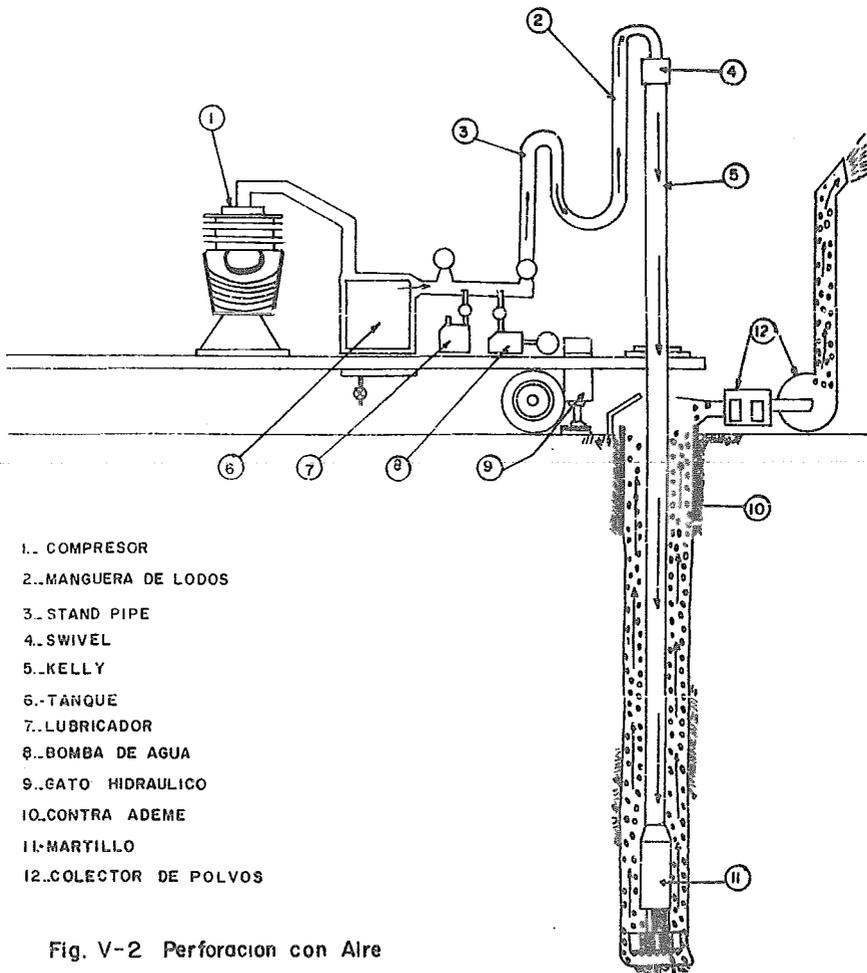
V.2.e PERFORACION A ROTACION CON AIRE

El proceso constructivo que se utiliza es prácticamente el mismo que el de los sistemas rotarios de circulación directa y el único cambio que se tiene, es la utilización del aire como fluido de perforación.

El procedimiento con aire contempla la utilización de una torre de perforación con su rotaria, la sarta completa, llaves, cuñas y collarines para su manejo y por supuesto la broca adecuada.

En lugar de utilizar una bomba para el manejo de los lodos debemos contar con compresor, mangueras con conexiones de alta presión y una bomba de pistones que nos permita incluirle agua espumante al aire utilizado durante el proceso.

ESQUEMA DE UN EQUIPO ROTATORIO NEUMATICO



- 1.- COMPRESOR
- 2.- MANGUERA DE LODOS
- 3.- STAND PIPE
- 4.- SWIVEL
- 5.- KELLY
- 6.- TANQUE
- 7.- LUBRICADOR
- 8.- BOMBA DE AGUA
- 9.- GATO HIDRAULICO
- 10.- CONTRA ADEME
- 11.- MARTILLO
- 12.- COLECTOR DE POLVOS

Fig. V-2 Perforacion con Aire

METODO DE PERFORACION

La acción perforadora es debida a la rotación de una broca en el fondo del pozo, transmitida ésta por una sarta de perforación manejada desde la superficie por un Kelly y una mesa rotaria o un cabezal de rotación, todo sostenido a través de cables por los malacates o por sistemas de transmisión a base de cadenas o una combinación de ambos.

La broca al girar, corta y desmenuza el material conforme penetra en la formación, el fluido de perforación que se alimenta por el interior de la herramienta, descarga a través de la broca golpeando el fondo del pozo, limpiándolo de las partículas quebradas y ayudando en algunos casos a fracturar la roca, el fluido prosigue desplazándose hacia afuera por el espacio anular acarreando los cortes a la superficie y mientras la tubería y la broca prosiguen su movimiento hacia abajo profundizando el pozo, el fluido descarga en la superficie, donde se separan los cortes.

Las funciones del aire como fluido de perforación son las siguientes:

1. Lubricación de las herramientas
2. Enfriamiento de la broca
3. Limpieza del fondo del pozo

4. Extracción de los cortes de barreno

Se puede observar que con el uso del aire, se dejan de efectuar funciones que se consideran en la utilización de lodos.

Se pierden las características de prevención de derrumbes y control de presiones de fluidos existentes en la formación, por lo que es evidente que no debe utilizarse en formaciones sueltas o fácilmente deleznable que presenten una compacidad suficiente, sólo es posible hacerlo en formaciones compactas, lo anterior, independientemente de su dureza.

La remoción de cortes de una determinada medida utilizando un fluido de poca densidad, requiere de una velocidad de circulación hacia arriba superior a la que se necesitaría con cualquier fluido que presente una mayor densidad; éste es el caso del aire, el incremento en la velocidad de retorno es muy notable, el aire se desplaza a grandes velocidades y así puede acarrear partículas de tamaño similar a las que se obtienen con lodo y en ocasiones hasta mayores, para lograrlo, las velocidades de retorno deberán variar entre dos y tres mil pies por minuto, aparece así una primera ventaja sobre otros métodos que es la de tener el corte en la superficie prácticamente en el momento de producirse.

La pérdida de la capacidad de soporte, nos obliga a una

limpieza total de pozo antes de suspender la inyección del fluido, por lo que antes de cualquier paro se deberá circular hasta dejar de tener producción de corte en la superficie.

Por las velocidades tan altas que deben alcanzar en el retorno, no es posible trabajar con este procedimiento en formaciones deleznables o fácilmente erosionables.

No se contará con la capa de gel, que en el uso de los lodos nos permite aislarnos de la formación atravesada; pero sin embargo, el intercambio iónico por el uso de aire será prácticamente nulo, debido a la alta velocidad de circulación en el pozo.

En resumen, el aire como no proporciona la acción de soporte de las paredes, puede ser utilizado únicamente en formaciones que se sostengan aún después de ser perforadas, no pudiendo utilizarse en arenas, materiales de acarreo o sueltos, que no presenten determinada cementación.

Es muy importante hacer notar, que es particularmente útil en lugares donde se tienen graves problemas de abastecimiento de agua o en formaciones que presentan pérdidas totales de circulación, que obligan a un gasto excesivo de bentonita y agua, al tener la fuente de fluido de perforación en el sitio.

Presenta como una gran ventaja, que entre menos densidad y viscosidad presenta el fluido de perforación, se tiene una mayor velocidad de circulación, mayor rapidez en la limpieza y por lo tanto, un mayor rango de penetración de la formación; es decir, se perfora más rápidamente con aire que con agua y más rápidamente con agua que con lodo. Por lo anterior, siempre que sea posible y aún en lugares donde existen pequeñas pérdidas de circulación, este método puede ser usado con ventaja, por el incremento en la velocidad de extracción del corte.

A poca profundidad puede utilizarse aire únicamente como fluido de perforación (más o menos a veinticinco metros), pero al profundizar o encontrar materiales fracturados, se tiene dificultades en acarreo de los cortes a la superficie, y para facilitar la extracción de los materiales, se adiciona una mezcla de agua espumante con una bomba que lo haga a una mayor presión que el compresor utilizado, obteniéndose así una columna que aunque presenta un peso específico muy bajo, tiene una gran capacidad de "soporte" de las partículas, por la tensión superficial de la película de las burbujas formadas por el espumante.

El fluido aire-agua-espumante es una mejor solución para la extracción del corte, la lubricación y el enfriamiento de las herramientas de perforación en pozos profundos, que la simple

utilización de aire.

V.2.f PERFORACION CON MARTILLO NEUMATICO (SISTEMA DOWN THE -
HOLE)

ANTECEDENTES

La perforación de roca fué probablemente la primera herramienta neumática, originalmente fué diseñada para ser operada por vapor de agua, pero su aplicación en el tuneleo y la minería bajo la superficie, forzó al uso de aire comprimido y consecuentemente al desarrollo de los compresores. En 1861 - se usó por primera vez en Europa, la perforadora neumática para tuneleo y en la construcción del primer túnel en los Estados Unidos en el año de 1866, se utilizaron perforadoras neumáticas. Desde entonces su uso ha hecho posible muchas cosas, industrias enteras dependen de la explotación de bancos de materiales rocosos y yacimientos mineralógicos; las vías férreas, caminos y supercarreteras, han podido construirse con mayor - facilidad, grandes presas, plantas hidroeléctricas, canales, túneles, sistemas de abastecimiento y de drenaje y muchas otras obras existen en la actualidad, debido a las facilidades que ha otorgado el uso de esta herramienta tan importante.

La primera perforadora estaba conectada al final de un

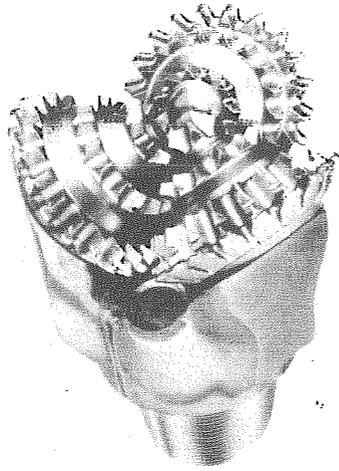
recipiente que daba la acción pulsadora para quebrar la roca, fué conocida como la perforadora de pistón. No fué perfeccionada sino hasta 1890, año en que se usó por primera vez la perforadora de percusión o martillo; en la actualidad los martillos están constituidos por un pistón colocado dentro de un cilindro que se mueve rápidamente hacia adelante y atrás, golpeando directamente en la tubería de perforación o en la broca; este método reproduce el diseño original y es el denominado "DOWN THE HOLE".

La perforación con esta herramienta es una variante de la perforación con aire, pero presenta mayores ventajas sobre todo en formaciones con tendencias a desviar la herramienta o de una dureza tan alta, que prolongue demasiado los tiempos de penetración.

En la fig.V-3 se presenta un corte de un tipo de martillo que puede manejar brocas tricónicas o de botón. Existen varias medidas desde 4 3/4" hasta 17 1/2" de diámetro, pudiendo perforar directamente en estos diámetros; sobre pedido ya se fabrican hasta de 30" como los usados en el caso particular del tendido del oleoducto en Alaska.

EL MARTILLO NEUMATICO "DOWN THE HOLE"

Este es el martillo más eficiente de todos, el pistón -



De Cortadores

De Botón

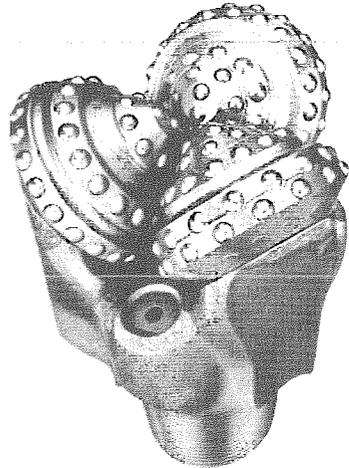


FIG. V-3 Brocas tricónicas

golpea directamente sobre la broca y prácticamente la sigue - dentro de la perforación.

La broca utilizada, generalmente es parte integral del martillo; pero sin embargo, es posible la utilización de brocas tricónicas acopladas en lugar de las usuales de carburo - de tungsteno.

El aire necesario es suministrado a través de la tubería de perforación, y proporciona en este caso, la potencia - y el fluído de limpieza del fondo del agujero, para acarreo y desalojo de las partículas cortadas hacia la superficie.

En barrenaciones de bancos para voladura de rocas, se - puede utilizar aire seco y será necesario contar con colectores de polvo en la superficie, con lo que se facilita el trabajo y se evita el deterioro del equipo de perforación; en el caso de perforaciones para exploración o construcción de pozos profundos, no es necesario utilizar el aditamento citado por ser obligado el uso de aire con agua-espumante.

La rotación necesaria para la operación, le es transmitida por la mesa rotaria o cabezal de rotación, desde la superficie a través de la sarta de perforación.

Cuando se utiliza el martillo, se trabaja a bajas revo-

luciones de la rotaria (entre 10 y 20 RPM) y se debe transmitir a través de la herramienta, un peso que va únicamente de 1,000 a 3,000 lbs. Lo anterior es una gran ventaja cuando se atraviesan formaciones que puedan dar lugar a desviaciones, - por lo que la mejor práctica para evitarlas, es la de aplicar poco peso a través de la columna de perforación. Debido al - uso de poca velocidad en la rotaria y la aplicación de poco - peso, es muy pequeño el esfuerzo que se transmite al equipo, aún cuando se perforen materiales de alta dureza, lo que redunda en un menor deterioro de éste.

El método exige la utilización de aire a una presión de cuando menos 280 lbs/pulg², y sólo podrá utilizarse un compresor de 100 lbs/pulg², usando martillos que operen a baja presión y sólo en aquellos casos en los que el pozo al perforarse no proporcione agua.

Con un compresor de 100 lbs/pulg² solo podrá llegarse - al nivel freático, en algunos casos de pozos para procesos - constructivos, se puede utilizar el martillo con suministro - de aire a baja presión.

De acuerdo al diámetro de perforación, se utilizan volúmenes de aire entre 450 y 2,100 PCM, resultando la velocidad de penetración en relación directa al volumen de aire utilizado, que en el caso de los martillos, influye no sólo en la vel

locidad de extracción de los cortes, sino en el número de golpes que transmite a la formación.

Con una buena operación y supervisión de los trabajos de perforación, se puede considerar, que la realizada con martillo neumático es la más rápida, tratándose de formaciones compactas o duras; sin embargo, obliga a la utilización de herramientas de alta presión, así como el uso de espumantes adecuados, por lo que al método incrementa el rendimiento, pero también los costos de perforación en una forma notable; su mayor ventaja, es por lo tanto, la reducción del tiempo de construcción de un pozo y la posibilidad de construirlo lo más vertical posible.

Durante la perforación con martillo pueden encontrarse estratificaciones de materiales sueltos, zonas en las que deberá repasarse lo suficiente hasta que el material que esté fluyendo encuentre su ángulo de reposo y se contenga; también pueden encontrarse estratos de arcillas, en cuyo caso será necesario incrementar la rotación y aumentar la cantidad de espumante para mejorar la extracción del corte, es necesario que el perforista cuide sobre todo, el no encajarse por aplicación de peso excesivo, lo que provocaría que se embole la broca y se suspenda la circulación del aire, o sea, atrapado por la formación.

EL EFECTO DEL VOLUMEN DE AIRE UTILIZADO

En el caso de perforación directa con broca tricónica, entre mayor volumen de aire se utilice, se tendrá una mayor velocidad de retorno y de transporte de los sólidos, y se mantendrá mas limpio el agujero, con esto se permitirá un avance mayor al no tener que remoler, obteniendo además un tamaño mayor de esquirra.

En el caso del martillo neumático a mayor volumen utilizado (con la presión adecuada para vencer la carga dentro del pozo), se tendrá un mayor número de golpes del martillo a la formación y consecuentemente una mayor velocidad de penetración, además de la que se produce por la buena limpieza del fondo y el arrastre de partículas mayores.

El martillo es un motor reciprocante y tiene una cámara donde además se impulsa el aire proporcionando la energía necesaria al pistón, entre mayor sea el volumen de la cámara, será la potencia del golpe transmitido y mayor será el avance en materiales que necesitan de este impacto para hacerlo fallar; en el caso de perforación de materiales un poco más suaves, será conveniente utilizar el martillo con menor cámara de admisión por que dará un mayor número de golpes por minuto, aunque de menor impacto.

Es evidente, que si utilizamos un compresor de determinado volumen para mover el martillo, nos dará un número de golpes por minuto y si se ponen 2 compresores en paralelo, la velocidad de retorno se duplicará y así mismo para fines prácticos el número de golpes; esta acción podrá ser incrementada en función del volumen de aire comprimido disponible. Lo ideal según gráficas americanas de perforación con aire, es utilizar en un agujero de 12 1/4" de \emptyset cuando menos 1,900 PCM, para lograr el máximo rendimiento.

Deben considerarse esos datos sólo como una guía de un trabajo ideal, puesto que son datos de los realizados en petroleras norteamericanas y considerando condiciones de optimismo en la realidad. En la República Mexicana, hemos perforado con volúmenes de aire menores en diámetros que no cabrían dentro de esas especificaciones.

Prácticamente se ha perforado a diámetros de 12 1/4" y 17 1/2" con volúmenes entre 1,500 CFM y 2,100 CFM, con la correspondiente reducción en los rendimientos de perforación, comparados con las normas americanas.

En forma por demás eficiente, se realizan perforaciones exploratorias de 6 1/2" de diámetro y tubería de 3 1/2" con 450 PCM, lo que nos da una velocidad de retorno de 2,750 pies /min.; aún la perforación de 8 5/8" de diámetro con tubería -

de 4 1/2", nos da 2,450 pies/min. con 750 PCM; al perforar 12 1/4" de Ø con tubería de 5 1/2" de Ø y 1,500 PCM tenemos velocidades de retorno de 2,300 pies/min.; el rendimiento óptimo en este caso se obtendrá al utilizar 2,100 PCM, con una velocidad de retorno de 3,200 pies/min.

PRESIONES NECESARIAS

Cuando se perfora directamente con broca tricónica y aire, se necesitará una presión suficiente para vencer la carga piezométrica en el acuífero por atravesar, mas las pérdidas - de carga en el sistema; lo que nos permite perforar en algunos casos con compresores de baja presión, con las limitaciones - que esto nos produce. Siempre es recomendable la utilización de compresores que nos den una presión adicional que nos permitan resolver cualquier problema que se presente, que impida la circulación y pueda atrapar la herramienta.

Cuando se utiliza el martillo neumático, deberá considerarse la presión de trabajo del mismo, adicional a la necesaria para circular el fluido en el sistema y a la carga producida por el agua que penetra el pozo.

En la práctica, las profundidades que se pueden alcanzar con la presión del aire disponible, pueden verificarse durante la perforación llevando una gráfica de presiones-profundi-

dades con las lecturas dadas en los manómetros; por ejemplo, - en el caso del uso del martillo, la presión inicial que nos marcará, será la suma de las pérdidas de carga en el sistema, mas la presión de operación del martillo, conforme se va profundizando van aumentando las pérdidas de carga en el sistema y la pendiente que se obtiene, es la causada por las pérdidas de carga por conducción; la pendiente proseguirá hasta donde se manifieste el nivel piezométrico, que podrá mostrarse con un incremento violento de la presión de trabajo en nuestros manómetros y en forma evidente, en el volumen de agua que retorna del pozo, esto en el caso de acuíferos confinados, podrá observarse únicamente un cambio dependiente que corresponde a la carga adicional producida por el agua que penetra el acuífero y el incremento del volumen de agua que retorna del pozo, en el caso de acuíferos libres.

Manejando en esta gráfica las pendientes que se va obteniendo, se puede pronosticar la profundidad a la que se puede llegar con las presiones disponibles en el compresor, lo anterior será evidente al reducirse bruscamente la velocidad de penetración de la formación y que en ocasiones es confundido con problemas dentro del pozo.

Así se puede programar, hasta donde se llegará a perforar con el martillo, que generalmente alcanza las profundidades de diseño de las cámaras de bombeo.

Cuando es necesario profundizar y no se cuenta con mayor presión, se deberá quitar el martillo y proseguir con broca tricónica y aire, puesto que se dispondrá de la presión que se utilizaba para operar el martillo para proseguir el pozo, la nueva profundidad que se podrá alcanzar es fácilmente programable, reduciendo en el último punto, la presión utilizada por el martillo y llevando una paralela a nuestra última pendiente, hasta llegar al límite de presión disponible, que corresponderá a la profundidad que puede programarse.

Cuando se dispone de un "Booster" o multicompresor, se integra al sistema y se podrán alcanzar mayores profundidades dependiendo de su capacidad.

Se puede observar la gran versatilidad que se obtiene con la combinación del sistema de perforación con martillo neumático, y posteriormente, con el uso de broca tricónica y aire. Con el martillo se logra perforar la parte correspondiente a la cámara de bombeo con la mayor verticalidad posible en esa zona, el ritmo de perforación tratándose de una misma perforación, es prácticamente el mismo desde el inicio del pozo, a pesar de que no se puede aplicar el peso de lastrabarrenas; además se transmite el menor esfuerzo a la perforadora logrando así, que se tenga el menor deterioro posible del equipo.

Cuando ya no es posible utilizar el martillo, se tiene

la posibilidad de usar el peso de los lastrabarrenas para proseguir con buen ritmo de avance. Es necesario aclarar que aún utilizando martillos, es indispensable el uso de lastrabarrenas ya no para proporcionar peso, sino para rigidizar la sarta e impedir la desviación de la perforación por la acción pendular al encontrar el martillo plano de contacto entre materiales duros y suaves.

Es recomendable diseñar el sistema compresor, perforadora, mangueras y conexiones con diámetros amplios y válvulas - de seguridad adecuadas, así como con sus válvulas check horizontales para evitar contrapresiones que nos dañen el compresor. Se debe dar preferencia al uso de tubería de perforación de diámetro exterior grande (4 1/2", 5 1/2"), y por lo mismo, un diámetro interior grande que nos reduzca al mínimo las pérdidas de circulación. Sobre el martillo, deberá de colocarse (cuando no viene integrado al mismo) una válvula check que tiene la función primordial de evitar que se invierta la circulación al interior de la tubería cuando se tenga un paro inesperado o cuando se hacen las conexiones; sin esta precaución, - se tapaná la broca y el martillo se clausurará con partículas de corte, lo que provoca algunas veces, hasta el atrapamiento de la herramienta y en el mejor de los casos, se tendrá que - sacar toda la sarta para desarmar y limpiar el martillo con - la pérdida de tiempo correspondiente.

Para la correcta operación, es indispensable una limpieza absoluta en la tubería y conexiones, por lo que se deberá sopletear perfectamente cada tubo antes de su conexión a la sarta; así mismo, se debe contar con el sistema de lubricación de aceite que alimente en forma continua, sarta y martillo.

BROCAS

Existen brocas especialmente diseñadas para la perforación con aire, y como en todos los casos, cada fabricante tiene una diferente nomenclatura para sus tipos de barrenas para utilizarlas de acuerdo al tipo de materiales de que se trate; en el caso de los martillos de perforación, generalmente son de insertos de carburo de tungsteno y construídas formando una sola pieza con el zanco, sobre el que se golpea el pistón, pero también pueden ser utilizadas las brocas tricónicas conectadas a través de un zanco especial construído con ese objeto. Los fabricantes de brocas tricónicas no las garantizan en su uso para martillos por no estar construídas para este tipo de trabajo, pero pueden utilizarse adecuadamente, teniendo la precaución de solicitar la broca para aire "air blast". En el caso de perforación de basaltos y otras rocas de muy alta dureza, es conveniente una revisión periódica para poder detectar cualquier falta en los planos de contacto de los conos con toda oportunidad.

ESPUMANTES

El espumante ("Perfoam") es un detergente sintético - que tiene propiedades de producción de alta espuma y que se - obtiene neutralizando un ácido con un alcali dando una sal so luble con la propiedad de hacer más espuma que jabón. Además, se le adicionan fosfatos solubles que tienen la función de re ducir la dureza de los iones de Ca. y Mg., formando un comple jo soluble en agua, ablandándola, lo que se haga más espuma, además con estos fosfatos se logra mejorar las condiciones de tensión superficial de la espuma.

Vienen envasados en tambores y aislados con bolsas imper meables para evitar su contacto con la atmósfera, puesto que se producen hongos en la superficie que dan mal olor cuando - han estado almacenados por un tiempo largo, es necesario agi tar nuevamente la solución, pues suelen precipitarse algunas de las sustancias en solución, y en esta forma se obtiene la recuperación total de sus funciones.

Para incluirlo en el aire comprimido, se utilizan bom bas pequeñas y de alta presión, la que deberá ser mayor que - la del aire comprimido usado; la línea de presión, debe con tar con su válvula check para evitar algún daño por inversión de la presión, y además integrarse con los tanques donde se - prepara y se alimenta el espumante.

Hay una gran variación en los porcentajes de mezcla, se preparan entre el 2 y el 6% del volumen de agua y el consumo llega a estar entre 5 y 20 lts por metro perforado, dependiendo de la importancia de las pérdidas de circulación y de la dificultad de perforación que presente la formación atravesada.

La mezcla agua-espumante varía de acuerdo a lo soluble de la formación atravesada y a los iones que contenga, y en cada caso debe experimentarse en los primeros metros perforados, hasta encontrar aquella que maneje los cortes del tamaño adecuado rápidamente.

En la práctica la cantidad adecuada de espumante que debe incluirse al aire, es aquella que proporcione: las menores pulsaciones en la circulación, cuando la producción de espumante y corte que se observa a la salida del pozo es continuada y sin variaciones notables, podemos considerar que se tiene balanceada la mezcla.

En resumen, podemos decir que la perforación con aire es un procedimiento que se debe de utilizar cada vez mas, sobretudo en zonas áridas o en zonas con problemas específicos de perforación y en donde la formación geológica lo permita, y para poder realizar programas masivos de perforación en acuíferos en rocas duras o compactas en el menor plazo posible.

V.2.g PERFORACION A ROTACION INVERSA

Los principios en que se basa este método son los mismos que los del método directo y los propios de los fluidos que se utilizan para la perforación en general.

Con este procedimiento podemos utilizar como fluido agua, lodo o una combinación de estos con aire, conforme sea necesario, de acuerdo a la formación que se vaya a perforar.

El método como su nombre lo indica, consiste en una inversión del flujo, teniéndose así que el lodo es alimentado directamente de las fosas al pozo, y el retorno se hace a través del interior de la tubería, para lo cual es necesario utilizar una bomba de vacío para iniciar la circulación y una bomba centrífuga de alto gasto para realizar este trabajo.

Con el sistema se tiene la gran ventaja de que el área de retorno es bastante pequeña comparada con la perforación, por lo que la velocidad de retorno es mayor y consecuentemente el acarreo de los cortes y la limpieza mejor y más rápida.

Este procedimiento permite trabajar con la mayor eficiencia en cuanto a la hidráulica del pozo y esto nos permitirá acarrear partículas mucho mayores de cortes y prácticamente el tamaño de gravas o cortes acarreados estará limitado al diámetro

tro interior de la tubería y por los quiebres que obligadamente damos en la parte correspondiente al swivel.

Otra característica adecuada es que se disminuye la erosión de las paredes y el arrastre de partículas del pozo y que además, el aumento del área por caídos y derrumbes no disminuirá nuestra velocidad de retorno por lo que se seguirán acarreando los cortes con la misma eficiencia, además se cuenta con la ventaja de poder usar lodos de baja densidad, teniendo así muy limpias las paredes del pozo.

Por las características citadas anteriormente, este procedimiento es muy adecuado para atravesar aluviones o materiales totalmente sueltos y la única desventaja es la de que como se perfora directamente a diámetros grandes el torque que se genera es alto, lo que obliga a velocidades bajas de rotación, además como no es posible agregarle peso desde un principio, su operación es lenta en los inicios del pozo, hasta - que se cuenta con peso suficiente para atravesar la formación.

Cuando se produce la diferencia de niveles por pérdua de circulación se tiene el problema, de que el vacío producido por la bomba ya no es suficiente para producir el efecto - de sifón, y además cuando la profundidad se va incrementando, lo van haciendo las pérduas de carga por el retorno del fluido mezclado con el corte y que es bastante alto; lo que nos -

da como resultado que no pueda utilizarse este procedimiento a mucha profundidad.

Cuando ya no se puede perforar por las cargas que se tienen que vencer, se recurre a la inyección de aire para formar una columna de baja densidad en el interior del varillaje de perforación, la que tenderá a equilibrarse con el nivel existente en el pozo, por lo que se eleva hasta alcanzar el cabezal de la tubería de perforación pudiendo ya descargar, iniciándose así nuevamente la circulación y perforación. La velocidad de retorno en este caso es mayor por la baja densidad de la columna que incluye el aire, la profundidad que se puede alcanzar dependerá de la sumergencia que se tenga, y llegará un momento en que la presión de aire no podrá vencer la carga producida por la columna, por lo que siempre se estará limitados a este equilibrio.

Con el uso de compresores de alta presión, actualmente es posible alcanzar profundidades bajo el nivel estático que variarán entre 50 y 125 mts. bajo éste, dependiendo también de la productividad del acuífero atravesado.

Para incluir el aire en la tubería de perforación se utilizan dos tubos exteriores con sus empaques integrados a los tubos de perforación o doble tubería concéntrica que nos permite incluir aire a través del anillo que se forma y retorna

por el interior de la tubería de perforación.

Actualmente se han desarrollado dos sistemas del tipo anterior llamados Duo-Tube y Con-Core, que presentan la ventaja de poder añadir pero que nos permite perforar rápidamente las formaciones duras.

Este procedimiento es muy efectivo particularmente en zonas donde el abatimiento de agua es problemático y además se presentan grandes pérdidas de circulación en la formación.

C O N C L U S I O N E S

A pesar del gran impulso que han tenido los métodos de perforación para el aprovechamiento del agua, se siguen presentando problemas técnicos durante el procedimiento constructivo debido a una infinidad de fallas humanas, mecánicas y naturales, aunque algunas de éstas se han ido reduciendo gracias a los avances logrados dentro de la planeación y el diseño de la perforación.

Un punto muy importante para el máximo rendimiento de la máquina durante su operación, son los estudios geológicos que se deberán hacer en la zona donde se vaya a localizar la fuente de abastecimiento, ya que mientras más profundo sea el estudio, nos indicará éste el método más conveniente a aplicar.

La importancia de estos trabajos previos a la ejecución de la obra se manifiesta claramente al observar la gran variedad de tipos de perforadoras que existen en el mercado, por lo que también es necesario conocer a fondo el funcionamiento y las variaciones de éstas, para que la elección esté de acuerdo a las necesidades que se tengan, sea la que nos de un mayor rendimiento.

Durante la ejecución de la obra, es necesario llevar un control que nos permita conocer las características de los elementos que intervienen en ella, además que nos servirán como datos estadísticos para la planeación de futuras obras en la zona que se esté trabajando.

El control del personal en obra deberá ser muy cuidadoso, ya que gran parte de las fallas que nos ocasiona retrasos durante la perforación de un pozo, como son tubería degollada, atrapamiento de herramienta, etc., son debidas a la mala operación de las máquinas ya sea por descuido o por falta de capacidad del operador.

B I B L I O G R A F I A

- * " HIDROLOGIA SUBTERRANEA "
E. Custodio, M. R. Llamas.
Ed. Omega.

- * " PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION EN
LA PERFORACION DE POZOS "
Amado Sánchez M.
Tesis Profesional UNAM

- * " EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS POZOS "
Johnson Division
UOP, Inc.

- * " PERFORACION DE POZOS PROFUNDOS "
Secretaría de Recursos Hidráulicos

- * " PERFORACION DE POZOS PARA AGUA "
Ing. A. Benton C.
Centro de Educación Continua UNAM