

Lej. 127



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

«TECNICAS EMPLEADAS EN LA PERFORACION DE POZOS PARA LA EXPLOTACION DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS»

TESIS PROFESIONAL

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

PEDRO HELADIO PEÑA GUZMAN

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO

México, D. F.

Octubre de 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.

CONTENIDO

CAPITULO I

INTRODUCCION Y GENERALIDADES	1
Tipos de fuentes de abastecimiento	2
Agua subterránea: El abastecimiento del futuro	4
Comparaciones entre agua superficial y subterránea	4
Distribución del agua en el subsuelo	7
Acuiferos	10
Propiedades de las rocas	13
Comportamiento de los acuiferos	13

CAPITULO II

MÉTODOS UTILIZADOS	22
Métodos de perforación	23
Rocas ígneas	23
Rocas Sedimentarias	24
Rocas Metamórficas	24
Aluviones	24
Método de percusión	25
Perforación en formaciones suaves	31
Método Californiano	33
El método de rotación	35
Formación del filtro de lodo	33
Fluido de perforación	39
Control del lodo de perforación	42
Variables que intervienen en la perforación	44
Perforación en rocas blandas y plásticas	47
Perforación de circulación inversa	43
Perforación rotaria con aire comprimido	52
Otros métodos de perforación	54
Perforación a chorro	54
Método de percusión hidráulica	56
Perforación con taladro	57

Capitulo II

Pozos hincados o clavados	58
Programa de perforación	61
Muestreo	62
Registros eléctricos	63
Cementación	65
Tuberías de ademe	67
Colocación de las tuberías	67
Método para chequear la verticalidad	68
Tapón de fondo	74
Filtro de grava	74
Limpieza	77

CAPITULO III

REHABILITACION Y TRATAMIENTO	80
Tratamientos químicos	82
Tratamientos con ácido	82
Uso del ácido muriático	83
Empleo del ácido sulfámico	84
Tratamiento con cloro	87
Uso de los polifosfatos cristalinos	89
Agitación física	91
Importancia del diseño de la rejilla	92
Incrustación de pozos perforados en roca	95
Elección de la rejilla	95

CAPITULO IV

DESARROLLO Y AFORO	96
Acomodo en arco de los granos de arena	99
Sobrebombeo	101
Lavado a contracorriente	102
Lavado bajo presión	103
Oleada mecánica o pitoneo	105
Desarrollos con aire comprimido	107
Desarrollos con dinamita	111
Aforo	112
Definición de terminos	112
Objetivo de las pruebas	115

Capítulo IV

Medida de la descarga	116
Recipiente con orificios	121
Estimación de la descarga en tubos abiertos	124
Mediciones del nivel del agua	126
Método de la sonda eléctrica	127
Método de la cinta mojada	128
Método de la línea de aire	128
Registro del desarrollo	135
Registro del aforo	137

CAPITULO V

PRECIOS UNITARIOS	139
Rendimientos de equipos de perforación	142
Precios unitarios en la perforación	143
Análisis de costos	143
Análisis del cargo indirecto en porcentaje del cargo directo	147
Precios unitarios por metro lineal perforado	148

CAPITULO VI

CONCLUSIONES	157
Capítulo I	157
Capítulo II	162
Capítulo III	174
Capítulo IV	179
Capítulo V	186
BIBLIOGRAFIA	188

CAPITULO I

INTRODUCCION Y GENERALIDADES

Dentro de toda manifestación de vida animal o vegetal a través de los tiempos el agua ha sido en nuestro planeta el factor determinante, cualquiera que fuese el proceso fisiológico de que se trate.

No es de sorprenderse pues que mucho antes que el primer cavernícola se diera cuenta de que podía dejar huellas de su presencia sobre las paredes de su cueva haya descubierto que el agua era de vital importancia en el desarrollo de las civilizaciones.

Aunque ciertamente la cantidad de agua que nuestro cuerpo necesita para subsistir es relativamente pequeño comparado con su peso algo así como 2 1/2 litros por día en una persona moderadamente activa y en clima templado. El agua constituye una gran parte de la protección del embrión antes de su nacimiento, de la regularización de la temperatura de su cuerpo y de todo su desarrollo en general.

Cuando falta el agua para la realización de los procesos fisiológicos el hombre pierde su apetito, se desnutre y en cuestión de horas sobreviene la muerte.

Además de las demandas del cuerpo, existen otras imperiosas necesidades que exigen un adecuado abastecimiento de agua. Los alimentos que la tierra produce dependen de agua tanto para su crecimiento como para alcanzar su condición nutritiva ya que los minerales del suelo deben primero ser disueltos antes que la planta los pueda utilizar.

En las civilizaciones paganas que antecedieron a la era cristiana, el agua fué también una fuerza suprema; las excavaciones de ruinas en la India, que datan de 5000 años atrás han revelado la existencia de sistemas de abastecimiento de agua y de avenamientos tan completos que incluían piscinas y baños de uso público.

Los granjeros de arabía utilizaron los crateros de volcanes extinguidos como depósitos de agua para riego y excavaron pozos profundos para obtener su agua potable.

Hipócrates, el vetusto griego que a través de los siglos ha sido reconocido como el padre del movimiento de salud pública y creador del juramento que aún hoy hacen los médicos que empiezan a ejercer su carrera, advirtió los peligros del agua contaminada y previno la necesidad de filtrar y hervir la que se utilizara para tomar.

En los lugares en que se ha satisfecho la demanda de agua pura para tomar, el desarrollo nacional y el nivel de vida han aumentado. En los que esa meta no se ha logrado el nivel de vida permanece bajo.

Hoy en día el agua inadecuada o peligrosa representa uno de los más serios problemas que obstaculizan el desarrollo de un país y a la mejora del nivel de vida de cualquier parte del mundo.

TIPOS DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO

Sólo existen dos fuentes de abastecimiento de agua a disposición del hombre a saber, las de la superficie que comprenden los lagos, ríos, áreas de drenaje que envían el agua hacia los embalses y los procedimientos que permiten captar y retener el agua de lluvia y las subterráneas, que incluyen a los pozos, manantiales y galerías filtrantes.

En realidad, las fuentes superficiales y las subterráneas no siempre están separadas. La que en cierto lugar es superficial puede convertirse en subterránea en otro, pudiendo a su vez emerger como agua superficial en un tercer sitio.

Siempre ha sido más fácil comprender las aguas superficiales, puesto que se les puede ver y observar. De alrededor del agua subterránea que se ha creado una aureola de misterio, de superstición y de teorías infundadas que aún persisten.

Indudablemente que la falta de comprensión de las manifestaciones del agua subterránea pueden atribuirse al hecho de que los antiguos científicos y filósofos no tenían idea de donde provenía y hacia donde se dirigía ésta. A falta de estos conocimientos ellos y sus contemporáneos tuvieron que desarrollar teorías sin comprobación, muchas de éstas erróneas, para poder explicar la procedencia del agua en los pozos y el flujo de los manantiales.

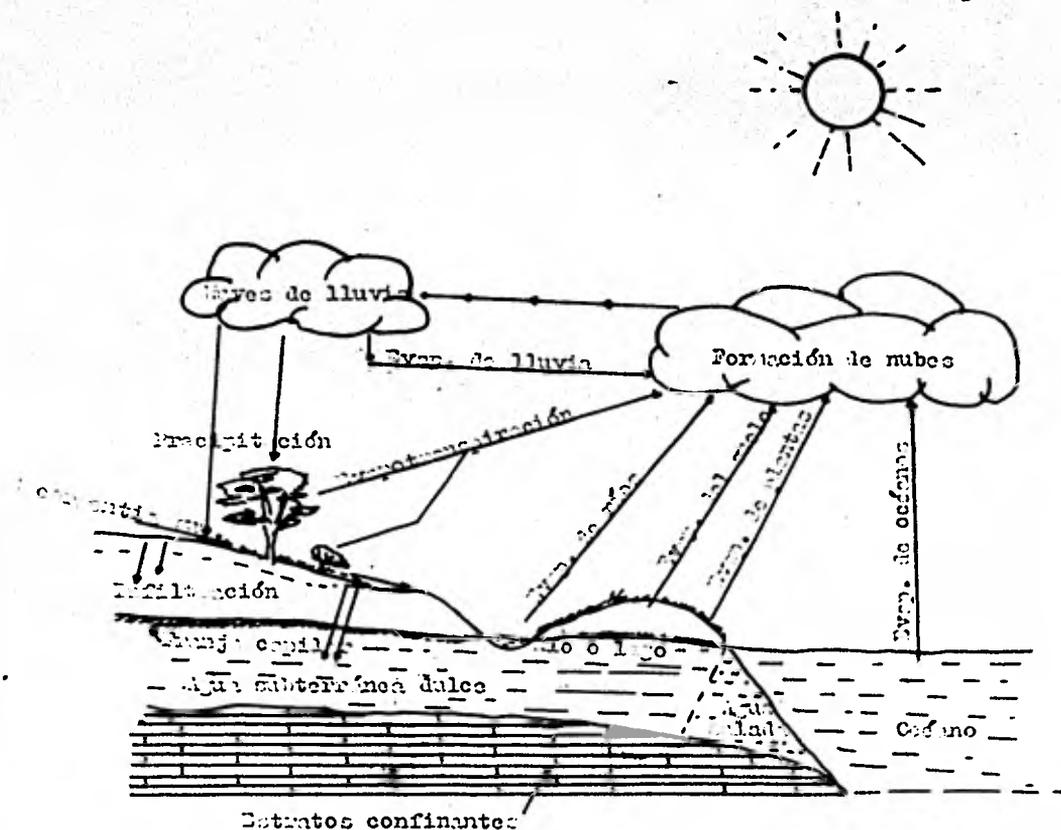


Fig.I.1 Diagrama esquemático del ciclo hídrico de la tierra - ciclo hidrológico.

Una creencia era la de que el agua de mar se convertía en agua dulce conforme ésta fluía del mar hacia los manantiales, por dentro de las cavernas subterráneas, cuando un pozo excavado lograba éxito en producir, el fenómeno se explicaba diciendo que éste había interceptado una corriente ya desalada.

El progreso que se ha hecho desde entonces en cuanto a la ampliación de nuestros conocimientos sobre el agua subterránea, ha sido inmenso, se ha logrado por ejemplo una mejor comprensión de la importancia que tiene el agua subterránea como fuente de abastecimiento de las necesidades del mundo.

AGUA SUBTERRÁNEA: EL ABASTECIMIENTO DEL FUTURO

Puesto que las aguas superficiales son tangibles y se han gastado sumas fabulosas de dinero en construir represas, diques, embalses superficiales, acueductos y canales de riego y todo tipo de obras visibles resulta lo más natural que nos inclinemos a pensar que ésta manifestación del agua constituye la mayor fuente para satisfacer las necesidades del hombre.

En realidad, estimaciones comparativas han revelado que a nivel mundial algo más del 3% de la disponibilidad de agua dulce corresponde a ríos y lagos y el 96% restante, algo así como 1230 km^3 de agua se encuentra en el subsuelo, otro de ellos indica que el volumen almacenado en el subsuelo es unas 20 veces superior que el del agua dulce superficial.

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

COMPARACIONES ENTRE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Además de su mayor abundancia, el agua subterránea presenta varias ventajas con respecto al agua superficial hacial-

do su aprovechamiento más atractivo.

a) Menores pérdidas por evaporación. Todos los recipientes de agua superficial pierden cantidades significativas de agua por evaporación. Por ejemplo en una zona en donde la lámina de evaporación es de 1000 milímetros por año, una masa de agua superficial perdería por este concepto un volumen del orden de 1 millón de mts.³ por km² de extensión superficial. Este volumen sería equivalente al extraído por un pozo que operara continuamente durante todo el año con un caudal de 30 lps. En cambio los recipientes subterráneos sólo perderían cantidades importantes de agua por evapotranspiración cuando los niveles freáticos se encuentran muy someros.

b) Menos exposición a la contaminación. Es bien sabido que uno de los grandes problemas de la actualidad es el de la contaminación: la gran mayoría de las corrientes y masas de agua superficial se están contaminando rápidamente en mayor o menor grado. El agua subterránea, en cambio, está relativamente salvaguardada de este perjuicio, gracias a que los materiales granulares funcionan como un gran filtro que retiene los contaminantes, especialmente los biológicos; y aunque existe la contaminación química provocada por un mal manejo del recurso, la baja velocidad con que el agua circula en el subsuelo no propicia su rápida propagación a grandes áreas como en la superficie.

c) Disponibilidad menos afectada por las variaciones climáticas. Uno de los problemas más serios que enfrenta el aprovechamiento de las aguas superficiales, es que su disponibilidad depende especialmente de las variaciones de la precipitación pluvial, al grado de que en uno o dos años secos tal disponibilidad puede ser prácticamente nula. Por el contrario, los recipientes subterráneos resultan, en general, mucho menos afectados por esto, gracias a que existe una reserva almacenada, acumulada durante siglos, generalmente mucho mayor que la recarga anual, permitiendo una explotación más flexible del recurso.

d) Distribución más amplia del área. El agua superficial es un recurso transitorio y su presencia es relativamente localizada en las partes más bajas de las cuencas. Su aprovechamiento en gran escala, por tanto, requiere de obras de almacenamiento y conducción. En cambio, en el subsuelo el agua tiene una di-

tribución muy amplia, lo que permite su captación en el sitio donde va a ser utilizada, o en sus inmediaciones. El vaso de almacenamiento ya existe en el subsuelo, construido por la naturaleza, y funciona al mismo tiempo como un gran conducto.

e) No hay pérdida de la capacidad de almacenamiento. Todo vaso superficial pierde gradualmente su capacidad de almacenamiento al ser alzóvado por los materiales acarreados por las corrientes que lo alimentan, hasta que eventualmente puede quedar inutilizado. La capacidad de almacenamiento de los vasos subterráneos no es afectada significativamente en la mayoría de los casos.

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

Por lo demás, el recurso subterráneo presenta también algunas desventajas. La primera y principal desventaja ya se mencionó: el agua subterránea no es visible, y esto dificulta seriamente su estudio, su cuantificación, su explotación, manejo. Para ilustrar esto también es útil la comparación de los acuíferos con sus equivalentes superficiales. Imagínese que se desea construir una presa y necesitamos estudiar el área donde se pretende emplazar. Podemos apreciar por inspección visual la forma y dimensiones del probable vaso, fotografiarlo y realizar levantamientos; también podemos medir directamente las alimentaciones mediante egresos de aforo; conocer sus pérdidas por evaporación a través de observaciones en tanques; muestrear el agua para conocer su calidad mediante análisis.

Ahora imaginemos que deseamos explotar el acuífero de un valle. Mediante reconocimientos de campo podemos medir o tener una idea de la extensión del acuífero, de los materiales que lo forman y de los que los limitan. Pero, ¿cuál es la geometría del acuífero en el subsuelo? ¿a qué profundidad se encuentra el agua subterránea? ¿qué alimentación recibe el acuífero y cuál es su volumen almacenado? ¿qué volumen de agua podemos extraer en forma permanente sin efectos perjudiciales, contestar estas inte-

interrogantes es más difícil porque sólo podemos "ver" al acuífero a través de los pozos.

Contestar a estas interrogantes es el objetivo de los estudios geohidrológicos, en cuya realización interviene en forma complementaria, diversas disciplinas.

DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO.

Es muy difundida la creencia de que en el subsuelo el agua se encuentra formando enormes lagos subterráneos o corrientes muy localizadas que fluyen a lo largo de conductos de gran tamaño. Sin embargo, aunque así se presenta en algunos acuíferos constituidos por rocas 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 material; es decir, en un medio poroso.

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

En el subsuelo el agua se encuentra distribuida 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 prácticamente 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 constantemente y está influenciada por la 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 de saturación, durante los períodos de infiltración.

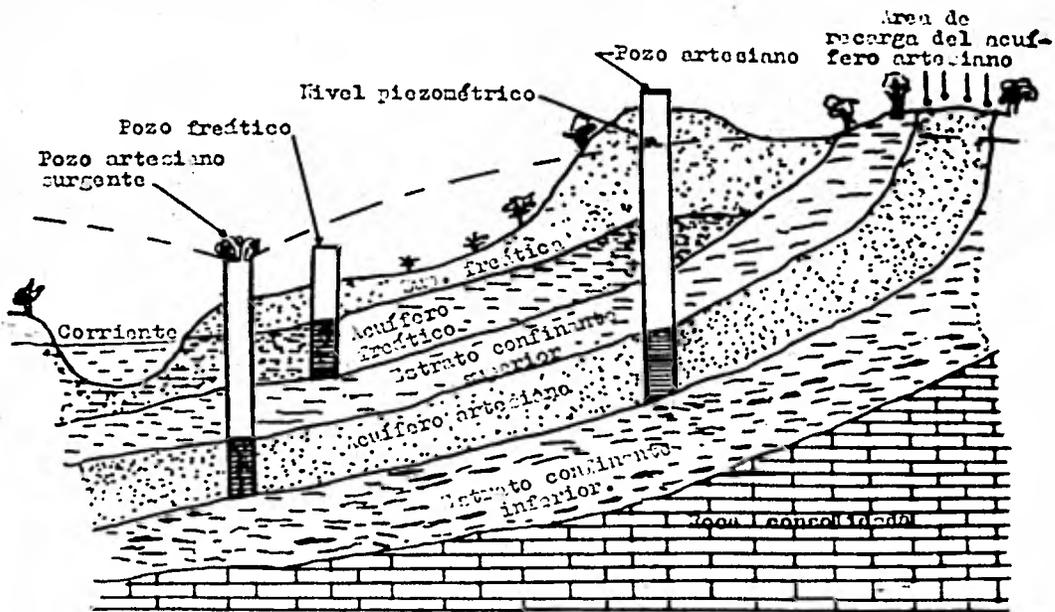


Fig. 1.2 Fases subsuperficial y del agua subterránea dentro del ciclo hidrológico.

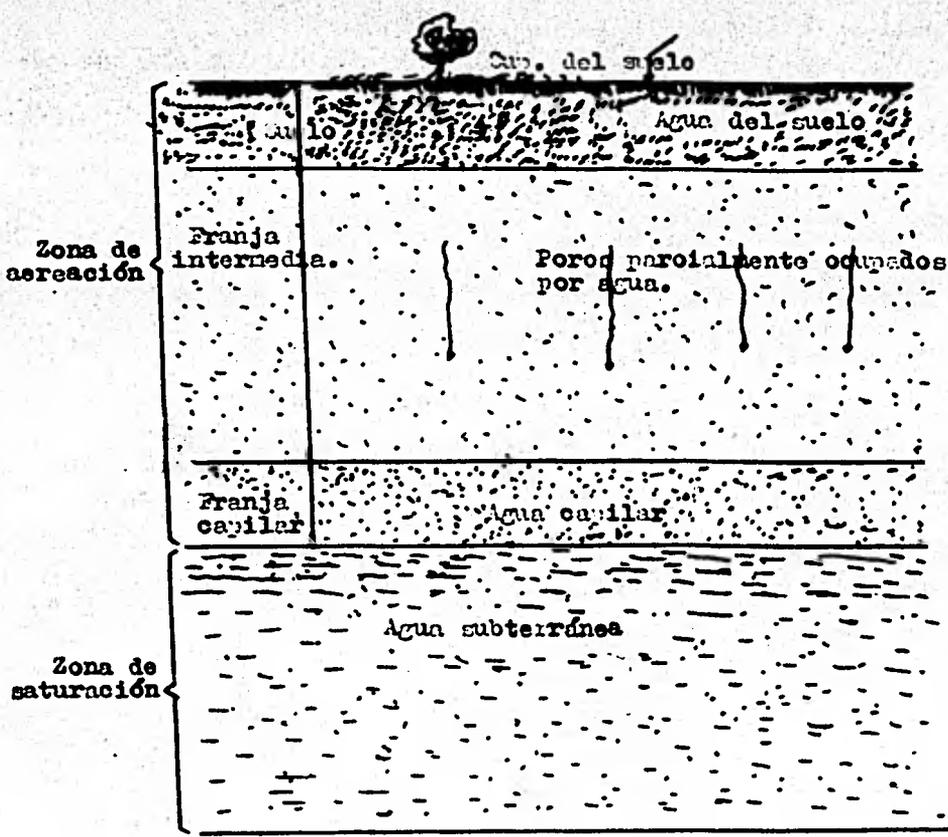


Fig.I.3 Distribución del agua en el subsuelo.

ACUIFEROS.

Se llama " acuíferos " a aquellos estratos que pueden proporcionar agua en una cantidad aprovechable, desde luego, esta definición es muy relativa, pues depende de las condiciones existentes en cada zona: en una zona árida donde sea difícil la obtención de agua subterránea, una formación que proporcione unos cuantos litros por segundo puede considerarse un acuífero; mientras en una zona con elevada disponibilidad de agua subterránea, esa misma formación podría considerarse como semi-impermeable.

Desde el punto de vista hidráulico los acuíferos pueden considerarse o clasificarse en tres tipos principales: confinados, semiconfinados y libres.

A un acuífero limitado superior e inferiormente por formaciones relativamente impermeables, que contiene agua a mayor presión que la atmosférica, se le da el nombre de acuífero confinado.

Si un acuífero está limitado por formaciones menos permeables que él mismo, pero a través de las cuales puede recibir, o ceder, volúmenes significativos de agua, se le llama acuífero "semiconfinados".

Llamamos acuitardo a la formación que almacena agua - pero que la cede muy lentamente, como ejemplo se puede mencionar una arcilla arenosa.

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

Cuando un acuífero tiene como límite superior al nivel freático, se le da el nombre de acuífero "libre". Las variaciones de este nivel corresponden a variaciones en el espesor satura-

Infiltración de lluvia

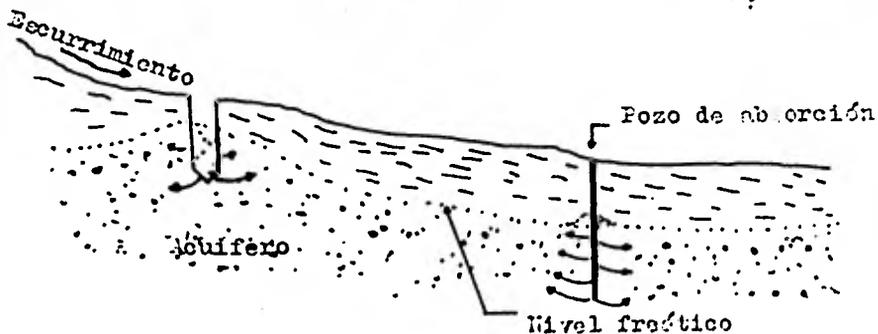
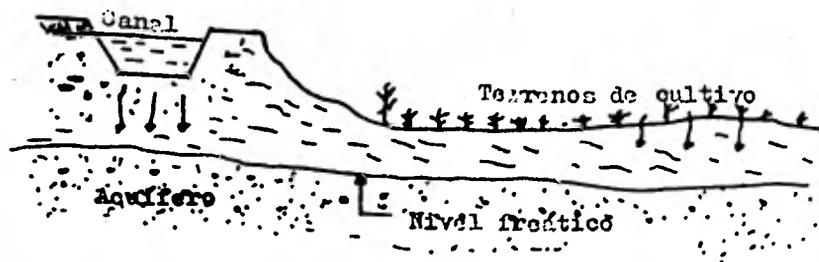
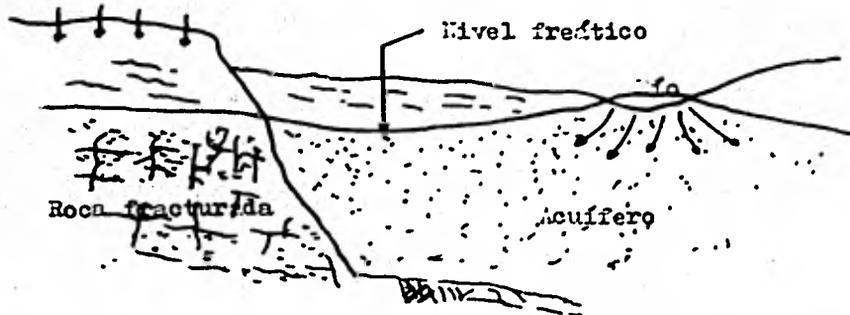


Fig. 1.4 Recarga de acuíferos.

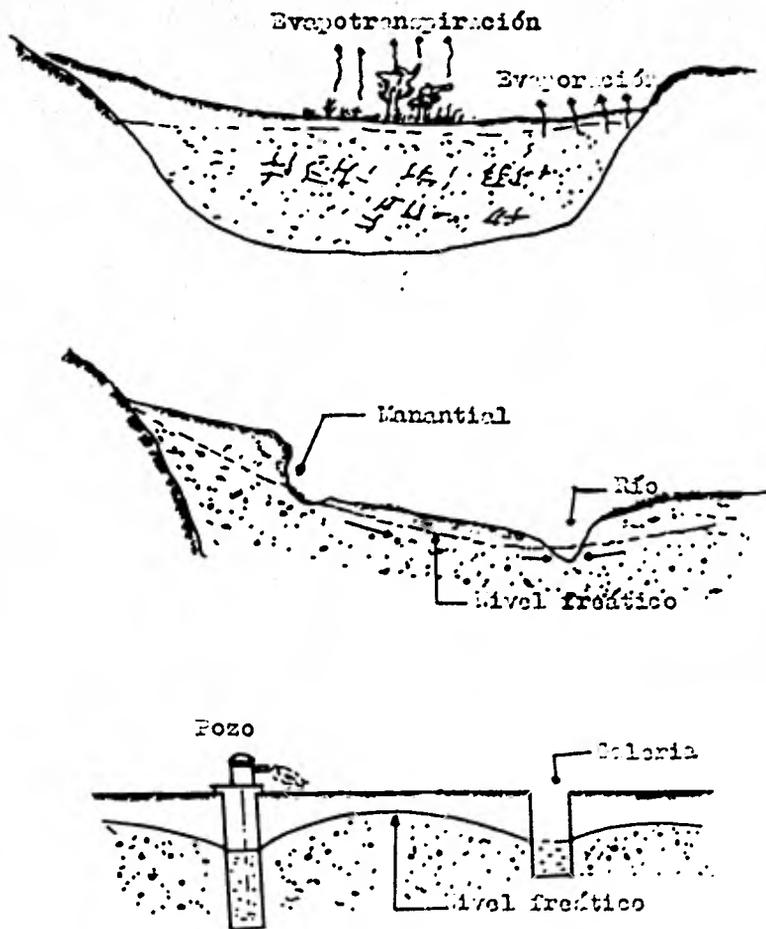


Fig. 1.5 Descarga de acuíferos.

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

PROPIEDADES DE LAS ROCAS.

Las propiedades de las rocas desde el punto de vista del estudio del agua subterránea, son las siguientes:

Porosidad (n).-

La porosidad de una roca es una medida del volumen de vacíos que contiene, y se expresa como porcentaje del volumen total.

Puesto que en la zona de saturación los vacíos están totalmente saturados, la porosidad se toma como una medida de la cantidad de agua que la roca contiene por unidad de volumen.

Rendimiento específico (S_y) y retención Específica (r).-

Cuando un cierto volumen de roca totalmente saturada, se deja drenar bajo la acción de la gravedad, no toda el agua que contiene es liberada: una parte de agua es retenida en los poros por fuerzas de atracción molecular, adhesión y cohesión. La cantidad de agua retenida es directamente proporcional a la superficie de las partículas e inversamente proporcional al tamaño de los poros.

Se define como rendimiento específico de una roca a la cantidad de agua que libera, por unidad de volumen, cuando el nivel freático experimenta un abatimiento unitario. La retención específica, (r), mide la capacidad de la roca para retener el agua, y se define como el volumen de agua retenido en contra de la gravedad, por unidad de volumen de roca.

De acuerdo con las definiciones anteriores, se tiene la siguiente relación:

$$n = S_y + r$$

En la mayoría de las rocas, el agua no es liberada en forma instantánea, sino que existe un cierto retraso entre el descenso del nivel freático y el drenado total de los poros. En las formaciones granulares tal retraso es tanto mayor cuanto menor es el tamaño de los granos.

Coefficiente de almacenamiento específico (S_a) y de almacenamiento (A).-

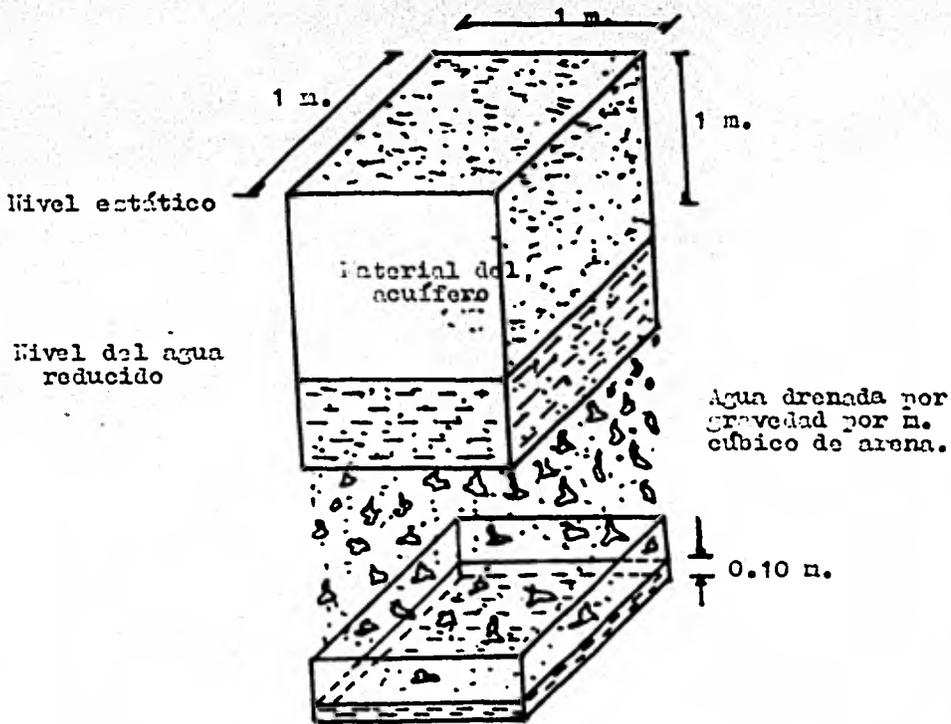


Fig. I.6 Visualización del rendimiento específico de una arena. Su valor en este caso es de 0.10 m^3 de agua por cada m^3 de material.

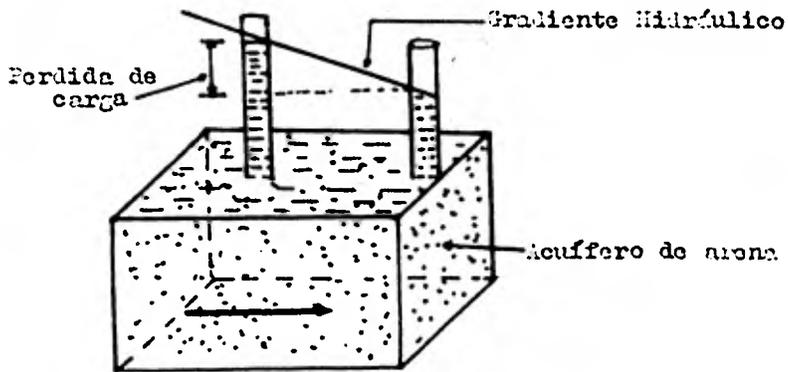


Fig. I.7 En el diagrama se muestran los elementos necesarios para que se establezca un flujo y que son, el gradiente hidráulico y la pérdida de carga.

En el subsuelo, un punto cualquiera está sometido a una presión total, p , cuyo valor es numéricamente igual al peso de la columna de material, de área unitaria, que gravita sobre el punto considerado; esto es:

$$p = \gamma_s \cdot Z$$

en que γ_s y Z son el peso específico del material y la profundidad a que se encuentra el punto con respecto a la superficie del terreno, respectivamente.

La presión total está soportada en parte por el esqueleto sólido de la roca, y en parte por el agua contenida en sus vacíos. A la presión p , que soporta el esqueleto se le denomina -- "presión efectiva" o "presión intergranular"; la presión a que está sometida el agua contenida en los vacíos recibe el nombre de -- "presión intersticial" o "presión de poro", y es numéricamente igual al peso de la columna de agua, de área unitaria, que gravita sobre el punto. Por tanto, la presión total puede expresarse, en términos de sus dos componentes, como sigue:

$$P = p + \gamma h$$

siendo γ y h el peso específico del agua y la carga hidráulica sobre el punto, respectivamente.

Cuando la carga hidráulica desciende, la presión intersticial disminuye y, como consecuencia, las moléculas de agua se expanden; al mismo tiempo, puesto que la presión total es constante (a menos que se modifique artificialmente, por ejemplo, construyendo una estructura o efectuando una excavación) la presión efectiva aumenta en la misma proporción, lo que provoca la compactación del material. Como resulta de ambos procesos un cierto volumen de agua es liberado.

Se define como coeficiente de almacenamiento específico, S_s , a la cantidad de agua liberada por unidad de volumen de material, cuando la carga hidráulica decrece una unidad. Se expresa en unidades de longitud.

Un concepto relacionado con el anterior es el coeficiente de almacenamiento, S , definido como la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la carga hidráulica decrece una unidad. Es un coeficiente adimensional.

De las definiciones anteriores se desprende que la relación entre ambos coeficientes es:

$$S = S_s \cdot b$$

en que b es el espesor del acuífero.

La compresibilidad del agua es muy reducida; por tanto, la cantidad de agua que puede liberar un acuífero confinado o semi-confinado depende fundamentalmente de la compresibilidad de su esqueleto sólido: mientras más compresible es el material, mayor es la cantidad de agua que libera al compactarse. Así, por ejemplo, el coeficiente de almacenamiento de un estrato arcilloso es mucho mayor que el de una formación densa del mismo espesor.

Pese a que existe materiales muy compresibles el volumen de agua cedido por compactación es relativamente pequeño; por ello, el coeficiente de almacenamiento de acuíferos confinados o semi-confinados tiene valores muy reducidos: en el rango de 10^{-2} a 10^{-5} .

En cambio, en un acuífero libre, al volumen de agua liberado por compactación del acuífero y expansión del agua, se agrega el volumen liberado por el drenado del material (representado por el rendimiento específico). Como el primer volumen es muy pequeño en comparación con el segundo, se puede considerar que el coeficiente de almacenamiento de un acuífero libre es igual a su rendimiento específico.

Permeabilidad (K) y Transmisibilidad (T).-

La permeabilidad es la capacidad de una roca para permitir la circulación del agua a través de ella. Cuantitativamente su valor está dado por el coeficiente de permeabilidad, el cual se define como el caudal que circula a través de una área unitaria, transversal al flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario. Esta propiedad depende de la forma, acomodo y distribución granulométrica de las partículas constituyentes, y del grado de compactación o cementación de las mismas, factores que controlan, a su vez el tamaño e interconexión de los intersticios. El coeficiente de permeabilidad se expresa en unidades de velocidad; generalmente, en el sistema métrico, en m/seg o cm/seg.

Un concepto relacionado con el de permeabilidad es el coeficiente de transmisibilidad, el cual se define como el producto

Abastecimiento de agua
a carga constante

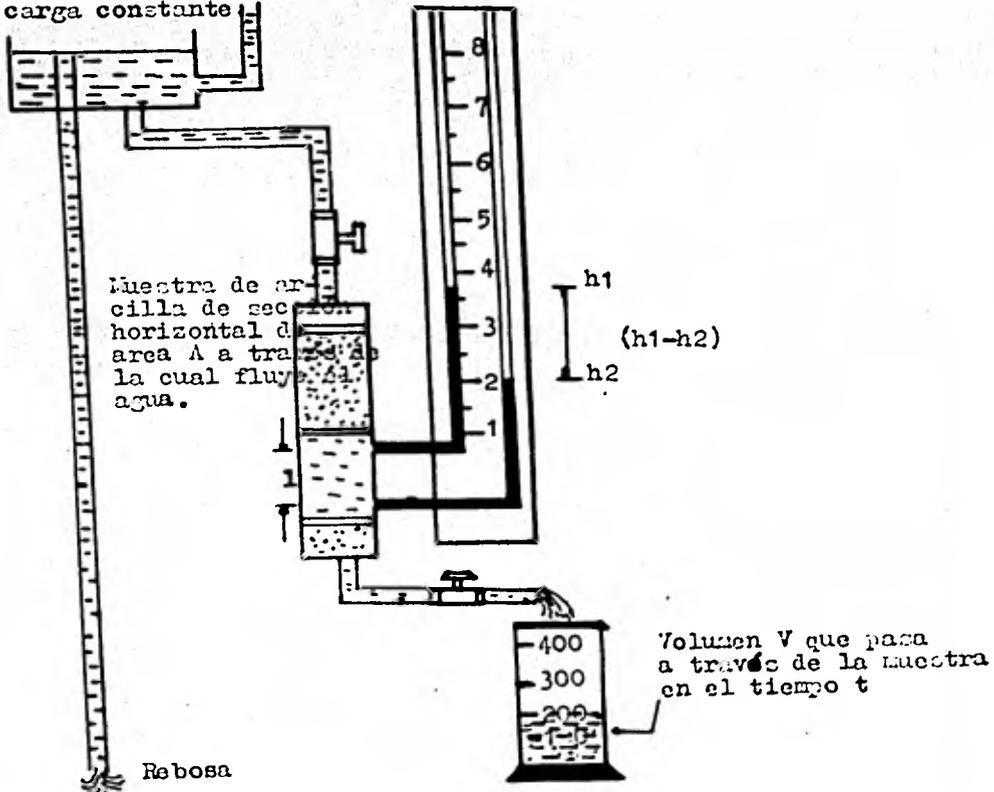


Fig. I.8 Permeámetro de carga constante que sirve para medir la permeabilidad de una cierta muestra de material.

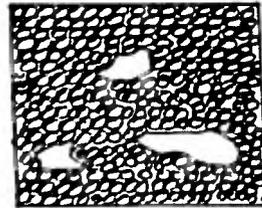
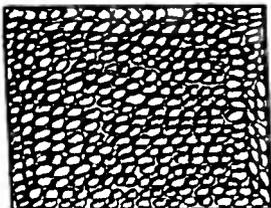


Fig. I.9 Los granos grandes de grava absorbidos en la masa de arena desplazan un volumen igual de arena fina. El resultado es que la porosidad y la permeabilidad se reducen al compararlos con la arena de gradación uniforme.

del coeficiente de permeabilidad y el espesor saturado del acuífero. Se expresa en m^2/seg o $m^2/\text{día}$.

En la siguiente tabla se expresan los rangos representativos de porosidad, rendimiento específico y permeabilidad para las rocas más comunes.

Roca	n(%)	Sy(%)	K(m/seg)
Arcilla	45 a 55	1 a 10	10^{-10} a 2×10^{-7}
Arena	35 a 40	10 a 30	10^{-5} a 3×10^{-4}
Grava	30 a 40	15 a 30	10^{-4} a 1.5×10^{-3}
Grava y Arena	20 a 35	15 a 25	10^{-5} a 5×10^{-4}
Arenisca	10 a 20	5 a 15	10^{-3} a 5×10^{-6}
Caliza	1 a 10	.5 a 5	muy variable

Es importante destacar que una elevada porosidad no implica necesariamente una elevada permeabilidad; por el contrario, en algunas rocas mientras mayor es la porosidad, menores son su permeabilidad y su rendimiento específico, como puede verse en la tabla anterior. De aquí se desprende una conclusión interesante: para que una roca sea favorable como acuífero, no basta que contenga un gran volumen de agua almacenado, es necesario, además, que permita su fácil circulación hacia las captaciones.

Contenido de humedad (θ).-

El contenido de humedad de una roca es la cantidad de agua que contiene por unidad de volumen; cuando la roca se encuentra totalmente saturada el contenido de humedad es numéricamente igual a la porosidad.

Grado de Saturación (Gs).-

El grado de saturación de una roca es la relación entre la cantidad de agua que contiene y su volumen de vacíos; se expresa como un porcentaje. En la zona saturada todos los materiales tienen un Gs de 100%.

Deficiencia de Humedad (Dh).-

Se define como la diferencia entre la retención específica y el contenido de humedad, cuando éste es inferior a aquélla. Dicho de otra manera, es la cantidad de agua que requiere una roca para satisfacer su retención específica.

COMPORTAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS.

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

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

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

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

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

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

Ahora bien una vez que hemos comprendido las principales características del comportamiento hidráulico del agua subterránea, podemos definir la perforación de pozos como la horadación del terreno efectuada por medio de máquinas y herramientas mecánicas. Cuando esta horadación es mayor de 30 mts. podemos considerarlo como un pozo profundo, lo cual es el caso más común en cual-

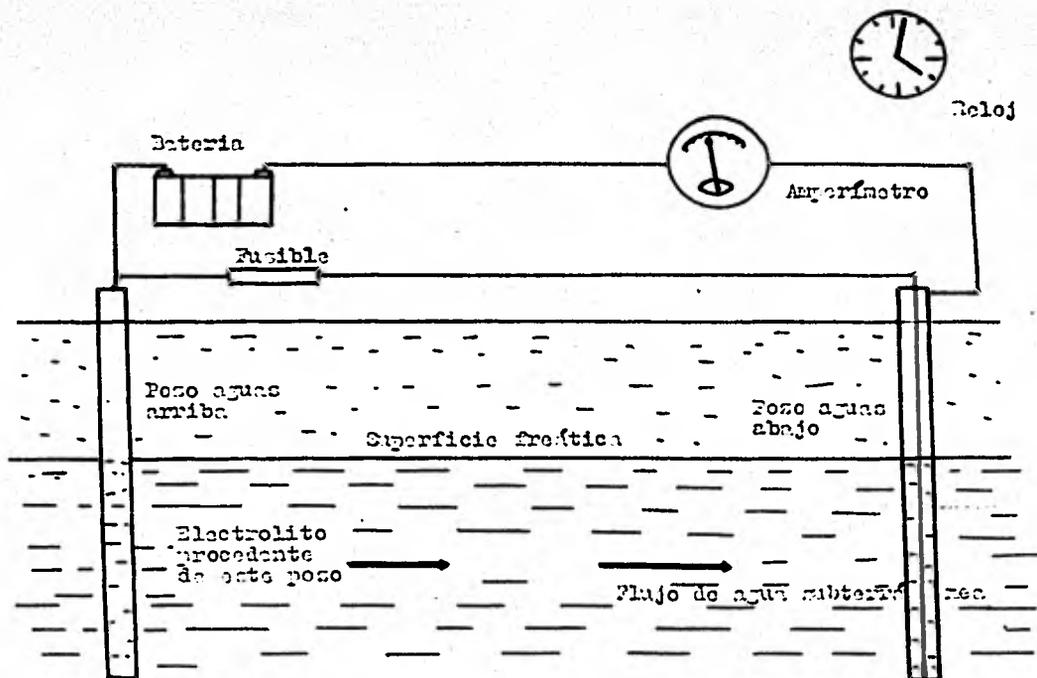


Fig. 1.10 Esquema que muestra la determinación de la velocidad del flujo subterráneo mediante el uso de una sal como trazador. El aumento en la conductividad eléctrica en el pozo situado aguas abajo indica la llegada del trazador.

quier parte de nuestro planeta cuando se perforan con fines de explotación de agua subterránea.

Los pozos que se construyen en la República Mexicana con este fin, pueden variar, desde 50 mts. en promedio en estados como Sinaloa y Nayarit y hasta 300 mts. en lugares cercanos a la ciudad de Monterrey; y sus diámetros pueden variar entre 13" y 30" dependiendo de las necesidades que se tengan y de la capacidad productora del acuífero.

En capítulos posteriores se definirán en detalle las técnicas utilizadas hasta que la perforación se encuentre en las mejores condiciones para hacer la explotación racional del acuífero y obtener los mayores beneficios del mismo.

CAPITULO II

MÉTODOS UTILIZADOS

Dentro de la perforación de pozos muchas personas se preguntan ¿cuál es el método más adecuado para perforar un pozo? sin embargo, no existe una respuesta única a esta pregunta. Cada método tiene sus ventajas en lo que respecta a facilidad de construcción, factores de costos, carácter de las formaciones que han de atravesar, diámetro y profundidad del pozo, protección sanitaria y otros usos que se vaya a dar al pozo.

Una vez que se ha determinado la zona donde ha de necesitarse el agua se procede en base a la cercanía, accesibilidad, localización de cuencas y algunos otros factores, a la realización de estudios geofísicos, sondos eléctricos verticales (SEV) o de la información de pozos cercanos perforados anteriormente, a dar la localización precisa de donde ha de perforarse el próximo pozo.

Entre otras informaciones que nos proporcionan los estudios mencionados anteriormente podemos mencionar: tipo y dureza de las formaciones que han de atravesarse, localización y profundidad del acuífero si es que existe, cuantificación del volumen almacenado, calidad del agua etc.

Toda esta información esta condicionada a la interpretación que un especialista en la materia pueda darle.

Se recomienda que cuando menos se proceda a realizar 3 ó 4 SEV antes de dar la localización definitiva ya que esto influye en gran medida al costo del pozo.

Las condiciones geológicas imponen dos tipos generales de construcción. Un pozo que penetre hasta un acuífero constituido por roca consolidada consiste básicamente de una porción adernada, que usualmente se extiende a través de los materiales sueltos sobreadyacentes, y de un agujero abierto en la roca inferior. Un pozo que intercepte un acuífero de arena debe necesariamente dotarse de un aleta en el intervalo correspondiente a los materiales sueltos y de una rejilla en el tramo correspondiente al acuífero.

Es conveniente concebir la construcción de un pozo en términos de cuatro diferentes etapas. Estas incluyen la perfo-

ración, la instalación del ademe, la rejilla, el sellado, cuando éste último se necesita para protección sanitaria, y el desarrollo, para obtener un funcionamiento libre de arena a un rendimiento máximo. Cuando se impone el uso de un filtro artificial de grava, su colocación se considera parte de la instalación de la rejilla.

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

Los procedimientos para desarrollo y aforo se explican con más detalles en un capítulo posterior.

MÉTODOS DE PERFORACION

En la perforación de pozos para el alumbramiento de aguas subterráneas existen diversos métodos o sistemas utilizados. El de percusión llamado también de cable ó de pulceta es uno de los más antiquísimos. El rotatorio, que en la actualidad emplea el tipo convencional o de circulación directa y que utiliza como fluido de perforación lodos bentoníticos principalmente ó el también común sistema rotatorio de circulación inversa en la perforación de aluviones o materiales granulados (arena, y grava), o también últimamente se ha difundido el empleo del aire como fluido de perforación llamado generalmente método neumático.

Antes de mencionar en que consiste cada método en particular vamos a mencionar algunas recomendaciones para perforar con éxito las formaciones predominantes en la República Mexicana la cual tiene un subsuelo formado por materiales rocosos que cubren toda la gama litológica. Lo mismo es hablar de formaciones Igneas, como Sedimentaria o Metamórficas.

ROCAS IGNEAS

Pueden ser intrusivas o extrusivas, siendo la más común de las intrusivas el granito y de las extrusivas los basaltes, andesitas, riolitas o tobas, que pueden perforarse con equi-

po de percusión o rotatorios, empleando el martillo y como fluido de perforación aire o espumante. Sin embargo, como generalmente todas estas rocas se encuentran cubiertas por aluviones de espesores variables, de acuerdo con la permeabilidad y su índice de almacenamiento, se recomienda estudiar la conveniencia de cada método para perforarlas. Cuando las formaciones anteriores presentan alternancias, no cambia el criterio de utilizar el equipo mencionado, siendo factible de variar el sistema de perforación neumático al convencional.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas comunes son las calizas, margas, conglomerados, areniscas y lutitas. Tomando en cuenta que las calizas por su composición tienen una permeabilidad secundaria y localizada, sólo mediante estudios hidrogeológicos detallados podrán perforarse con éxito. Puede emplearse el sistema de percusión o el rotatorio neumático con martillo y el de "doble tubo" o "Con-Cor" y el rotatorio convencional. Dentro del grupo de las rocas sedimentarias se consideran no productoras por su alto contenido de arcilla, las lutitas y las margas y por lo que respecta a las areniscas, generalmente son acuíferas de acuerdo con su tipo de cementante; en consecuencia, sólo se perforarán aquellos materiales que cubran a estas rocas o como en el caso anterior cuando presenten alternancias. Para estos casos es recomendable el empleo de equipos de perforación rotatorio directo.

ROCAS METAMORFICAS

Las más conocidas son las de origen metamórfico regional, estando representadas por pizarras, filitas, esquistos y gneisses. Dentro de este grupo se consideran no productoras por su naturaleza arcillosa la filita y la pizarra; los esquistos y gneisses, pueden ser productores cuando han desarrollado una permeabilidad secundaria (fracturamiento). Se recomienda el empleo de equipos rotatorios.

ALUVIONES

Son formaciones no consolidadas formadas generalmente por alternancias de capas de gravas, arenas y arcillas o depó-

sitos heterogéneos de las mismas. Es conveniente perforarlas empleando equipos rotatorios de circulación directa utilizando lodos bentoníticos como fluidos de perforación.

Todo lo anteriormente expuesto, se deberá considerar como recomendaciones generales, ya que no se han mencionado los problemas que presentan los fracturamientos tanto en las rocas ígneas y metamórficas, como las zonas de disolución en algunas sedimentarias. - En ambos casos si al estar se empleando equipos rotatorios las pérdidas de circulación no son controlables obligarán a cambiar el tipo de perforación del sistema rotatorio al de percusión.

Es muy importante considerar la finalidad de la perforación, ya que está en función directa con la selección del equipo o el adecuado es decir, su capacidad, herramienta por utilizar, tipo de fluido de perforación y en consecuencia el diseño del pozo. No es lo mismo proyectar la perforación de un pozo con fines de riego en una zona conocida que otro para usos domésticos en una área desconocida.

Generalmente cuando se tiene necesidad de perforar en formaciones deleznableles, se recurre al equipo rotatorio, estando la capacidad de este en función de la profundidad que se pretende alcanzar. Al utilizar este tipo de equipo se cuenta con la ventaja de emplear lodos bentoníticos como fluido de perforación, los cuales producen un enjarre en las paredes del pozo ayudando con ésto a tenerlas estables. Sin embargo, si se tiene un mal control del lodo de perforación se corre el riesgo de obturar temporal o permanentemente los acuíferos productores; por lo cual se recomienda tener un buen control de la viscosidad y peso del lodo.

En algunas ocasiones se llegan a encontrar arcillas hidrófilas, llamadas también plásticas o hinchables que tienden a cerrarse y atrapar la tubería de perforación cuando se hidratan con el agua del lodo de perforación; en este caso, una vez que son detectadas se deberá reparar el agujero hasta lograr que se tenga un diámetro uniforme y continuar los trabajos con suma precaución.

METODO DE PERCUSION

La perforación de percusión es el método más antiguo -- que se conoce al que se han incorporado técnicas y materiales actuales que lo mantienen al día, por lo que sigue siendo uno de los pro-

cedimiento más usados hoy en la perforación de pozos.

Este método es adecuado cuando se perforan formaciones rocosas consolidadas también en rocas con caverna o formaciones permeables, donde había mucha pérdida de fluido de inyección y es igualmente preferido cuando se necesita obtener muestras representativas de las formaciones atravesadas. El barreno fractura o desmorona la roca dura la convierte en pequeños fragmentos.

El método de percusión lleva a cabo la operación de perforar, levantando y dejando caer con regularidad una pesada sarta de herramientas dentro del agujero que se va abriendo.

Cuando se está perforando en materiales suaves y no consolidados, el barreno afloja el material. En ambos casos la acción de vaivén de las herramientas entremezcla con agua las partículas fracturadas y desprendidas, formando así un lodo. El agua necesaria para formar éste es agregada al agujero cuando no se encuentra presente en la formación que se está penetrando.

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

Una sarta completa de herramientas de perforación — se halla constituida por cuatro elementos. Estos son: el barreno, la barra de peso, las tijeras de perforar y el portacable giratorio. La barra le imprime un peso adicional al barreno y el efecto de su longitud ayuda a mantener un agujero recto cuando se perfora en roca dura. Las tijeras consisten en un par de barras de acero articuladas. Cuando se está perforando en aquellos materiales en los que el barreno está propenso a quedar aprisionado, se utilizan las tijeras para aflojar las herramientas. Esta es la única función que desempeñan. Las tijeras no sirven para otro propósito en la función misma de perforar.

Cuando ha quedado trabado, el barreno puede liberarse fácilmente mediante un golpeteo de las tijeras dirigido hacia arriba, en tanto que si se aplicara una tensión sostenida, ello h

ría que el cable fallara o se rompiera. La carrera o desplazamiento de las tijeras es de solo unos 15 a 23 centímetros. El término tijeras de perforación se emplea para distinguir las de las tijeras de pesca, que desarrollan carreras desde 45 hasta 75 centímetros.

El portacable giratorio establece la conexión de las herramientas al cable; además, su peso suministra parte de la energía de los golpes ascendentes dados por las tijeras cuando se necesita usar éstas. También permite que las herramientas giren ligeramente con respecto al cable.

Los elementos de la sarta de herramientas se acoplan entre sí mediante extremos roscados de la designación estándar API (American Petroleum Institute).

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

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

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

La línea de arena se hace pasar por sobre una polea separada, en la cumbre de la torre, y luego desciende hasta su tambor de arrollado.

La acción de subir y bajar le es impartida a las herramientas de perforar y al cable correspondiente, por un brazo excéntrico. Este brazo excéntrico pivotea en uno de sus extremos. El extremo exterior, que lleva una polea por la que pasa el cable de perforación, se mueve hacia arriba y hacia abajo mediante la ac-

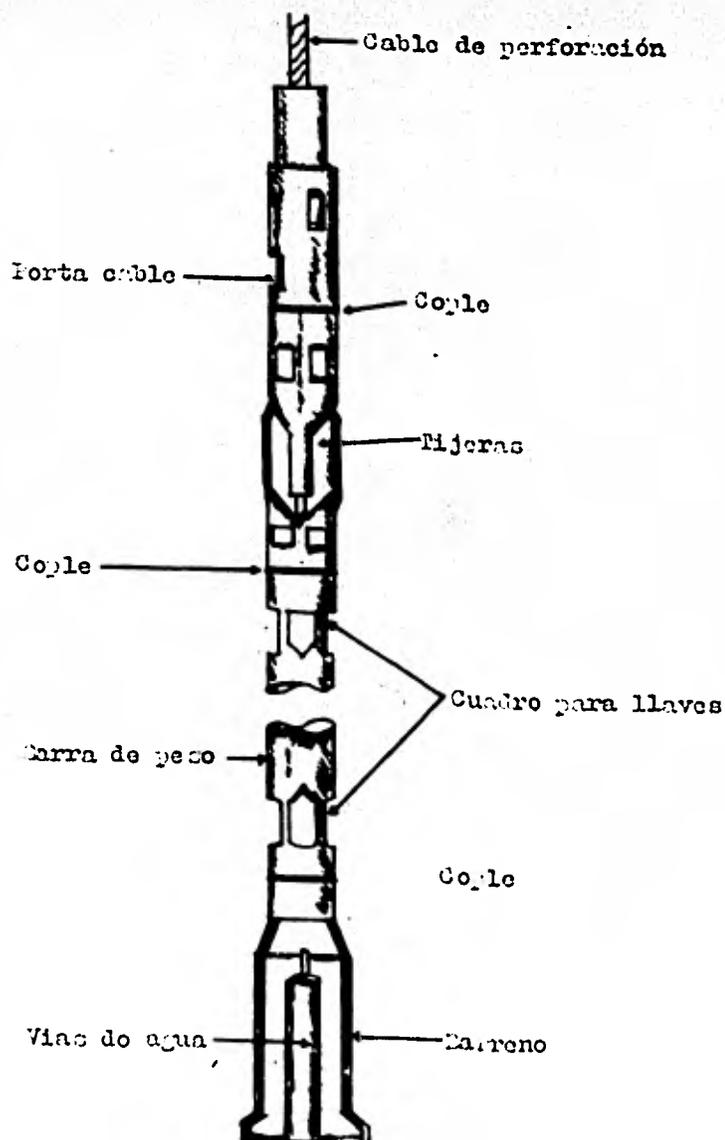


Fig. II.1 Los cuatro elementos que componen una línea de herramientas para perforar por el método de percusión.

ción de una excéntrica sencilla o doble, la cual se halla conectada al brazo del cigüeñal. Tanto la carrera o desplazamiento vertical, como también la velocidad de acción, pueden cambiarse a voluntad.

El brazo del cigüeñal está movido por un piñón de engranajes montado en un freno de fricción. Este freno, como también el de la línea de arena y el piñón del tambor del cable de perforar, se hallan todos montados en el mismo contraeje.

El desplazamiento vertical del brazo del cigüeñal, y el de las herramientas, puede hacerse variar ajustando la posición del eje de la excéntrica en el piñón de aquél; en esta forma, se puede cambiar el número de golpes por minuto con sólo hacer variar la velocidad del eje.

El tercer tambor de arrollado, llamado el tambor de ademado, viene por lo general incorporado también a la maquinaria básica de perforación. El tambor de ademado es capaz de ejercer una tensión poderosa sobre un tercer cable, el de ademado. Este se utiliza para manipular tubería, herramientas y bombas; o también para otras pesadas labores de izado. Asimismo, puede utilizarse este tambor para subir una tubería de ademas cuando el cable se acondiciona con un motor para constituir una línea múltiple de izado. En estos casos, bien podría necesitarse reforzar estructuralmente la torre o mástil para poder aplicar al máximo empuje.

Otro implemento de izar que a menudo se suministra con el equipo de perforación, es un cabrestante pequeño. Para utilizarlo, se necesita una cuerda guiada por una polea separada, colocada a su vez en la cumbre de la torre. Esta línea se utiliza para manipular cargas livianas o para levantar o dejar caer herramientas tales como un bloque de hincado, etc. Para esto se arrollan al cabrestante unas dos o tres vueltas flojas del extremo libre de la cuerda. Cuando aquél está girando, el perforador toma el extremo libre de la cuerda con su mano y da un ligero tirón, haciendo con ello que las vueltas del arrollado de la cuerda se atirante y traten de frenar el cabrestante. Esto causa que la carga se levante en el otro extremo de la cuerda; cuando el perforador afloja su extremo, la fricción entre la cuerda y la polea en rotación del cabrestante disminuye, cayendo entonces las herramientas.

EL MOVIMIENTO DE PERFORACION DEBE DE SER EL CORRECTO

Para obtener una buena operación, el movimiento de perforación debe mantenerse sincronizado con la caída por gravedad y el perforador debe ajustar el movimiento y la velocidad de la máquina, al ciclo de recorrido de las herramientas.

Se obtiene una acción efectiva de perforación cuando la velocidad del motor se sincroniza con la caída de las herramientas y con la dilatación del cable, suministrando siempre la correcta cantidad de éste que exige el barreno. El perforador debe atender constantemente a todos estos factores si desea brindar un trabajo eficiente a su cliente.

Es muy importante comprender la función que desempeña el cable en lo tocante al mejor aprovechamiento de las herramientas. El barreno debe golpear en el fondo del agujero, estando el cable tenso, y en esta forma será levantado rápidamente por el impulso ascendente de la máquina. Esto requiere cierta ductilidad y elasticidad del cable y de ciertas otras partes del mecanismo de la herramienta de perforación.

Por lo general, se instala un amortiguador de choques en la polea de coronamiento del cable de perforación, para obtener un sistema dúctil o elástico. El amortiguador se comprime conforme el brazo excéntrico completa su carrera ascendente y comienza a ejercer tensión sobre el cable. En este momento, la tensión de éste se torna máxima, puesto que las herramientas todavía se hallan en movimiento descendente. La dilatación posterior del amortiguador contribuye a que las herramientas reboten en el fondo tan pronto han golpeado en éste. El objetivo que se prosigue es el impartir a las herramientas ese peculiar movimiento de flagelo al final de la carrera y que resulta esencial para una perforación rápida. Cuando este movimiento se realiza apropiadamente se conserva la energía y aumenta la velocidad.

Este aditamento también amortigua la vibración que se produce como resultado del golpeteo del barreno en el fondo del agujero. Al mismo tiempo protege a la torre y al resto de la máquina de severos esfuerzos producidos por el impacto.

Cuando se está perforando en roca consolidada, el barreno del sistema de percusión es esencialmente un desmoronador. En

comportamiento depende de los kilogramos-metro de energía que puede suministrar cuando choca con el fondo del agujero, suponiendo que se mantenga un movimiento adecuado de perforación. Los factores que pueden afectar la velocidad de perforación o su eficiencia, son: resistencia de la roca, peso de las herramientas, longitud de la carrera o desplazamiento, golpes por minuto, diámetro del barreno, luz entre los acoples de las herramientas y la pared interior del agujero, y densidad y profundidad del lodo acumulado.

Se han realizado investigaciones sobre algunos de estos factores, pero muy pocas se han divulgado. Cada perforador confía en el fabricante de la maquinaria de perforación para que le guíe, y agrega a ello la observación acumulada, producto de su propia experiencia.

No importa cuantos años haya trabajando, un buen perforador nunca termina de mejorar su destreza y de aumentar su arsenal de conocimientos en la perforación por percusión.

Son muchos los propietarios de pozos que no se dan cuenta que, al utilizar los servicios de un contratista de perforación diestro, están con ellos adquiriendo una gran cantidad de experiencias. Los mayores intereses del propietario están garantizados por un buen perforador, que tenga conocimiento de cómo deben hacerse las cosas y que disponga de buena maquinaria.

PERFORACIÓN EN FORMACIONES SUAVES

La perforación en formaciones suaves o no consolidadas difiere de aquélla que se realiza en roca dura, en dos aspectos. En el primer caso, el barreno debe ser seguido de cerca por una tubería o ademe conforme el agujero se va profundizando, con el objeto de evitar el socavamiento y de mantenerlo abierto. Por lo general, el ademe deberá de hincarse, que es una operación parecida a la de introducir pilotes.

En segundo lugar, la acción penetrante del barreno constituye, en su mayor parte, un efecto de aflojamiento y mezcla. La fracturación es de poca importancia, excepto cuando aparecen cantos grandes.

El procedimiento que usualmente se sigue, es el de hacer penetrar el ademe uno o varios metros, lo que da por resultado la acumulación de un tapón de material de mezcla dentro de éste de

casi la misma longitud. Este material se mezcla luego con el agua - formando así un lodo, el cual es posteriormente extraído con la cuchara conforme el ademe se hace descender de nuevo. Cada vez que se limpia el pozo, debe agregarse más agua si ésta no proviene naturalmente de la formación que se está perforando.

En el extremo inferior de la tubería de ademe, se debe conectar una zapata de hincado hecha de acero templado y endurecido, la que proteger el fondo del tubo, las operaciones de hincado, perforación y limpieza se repiten entonces hasta que el ademe alcance la profundidad que se desea.

Durante la operación de hincado se debe fijar a la parte superior del ademe un cabezote que funciona como yunque. Seguidamente, unas gazas golpeadoras, formadas por dos semicírculos pesados de acero forjado, se ajustan al cuadro próximo al extremo superior de la barra de peso. Estas gazas proveen la superficie del impacto necesaria, y las herramientas son levantadas y dejadas caer mediante la acción excéntrica de la máquina de perforar.

Cuando se está penetrando en formaciones suaves, la operación de hincar ademe consume tanto tiempo como las de perforar y mezclar. El perforador experimentado y alerta que ha desarrollado destreza en hincar tubería, puede aventajar a otro operador no tan diestro en una proporción de casi cuatro a uno. Resulta obvia la economía que se obtiene al ejecutar el trabajo cuidadosa y distraíentemente.

La variedad que existe en la naturaleza de las formaciones constituidas por arcilla, arena, grava, margas y mezclas de todas ellas, afecta profundamente la velocidad de hincado. El peso más apropiado y el ajuste de la carrera de la excéntrica para obtener el impacto adecuado, son establecidos mediante la experiencia.

Cuando se está hincando tubería de pequeño diámetro, - se usa algunas veces un bloque en lugar de las gazas, el cual se fija a la tubería de herramientas de perforar. El es levantado y dejado caer mediante la cuerda de manila y el cabrestante auxiliar descrito anteriormente.

A pesar de ser utilizado el método de percusión para perforar en formaciones suaves que necesitan ser ademadas inmediatamente después de la perforación, en la práctica se ha tendido por la experiencia que resulta más económico utilizar el método de rotación.

ción, llevando un riguroso control de los lodos de perforación para evitar derrumbes u obturaciones permanentes en el pozo.

El tiempo empleado en la perforación también se acorta notablemente con el método de rotación en este tipo de formaciones.

Cuando la fricción desarrollada en la superficie exterior del ademe aumenta hasta el punto en que éste no puede descender a mayor profundidad, o si una penetración mayor pudiese dañarlo, deberá introducirse un tubo de menor diámetro por dentro del primero. La perforación se continúa entonces por la parte interior del ademe menor. En este caso, necesariamente se reduce el diámetro del agujero, al extremo de que algunas veces se necesite hacer una, dos, o tres reducciones antes de que se logre llevar el pozo hasta la profundidad que se desea. Ante esta posibilidad, la perforación se empieza a menudo con un diámetro de uno o dos tamaños más grandes que el diámetro que se haya escogido para la terminación de pozo.

METODO CALIFORNIANO

El método californiano de perforación utiliza los mismos principios que el método de percusión, con excepción de tres aspectos; una pesada cuchara denominada cucharón de lodo se utiliza al mismo tiempo como barrenador y como cuchara en lugar de tubería estándar de acero, se usan como ademe tubos cortos de acero laminado; se emplean a su vez gatas (o gatos) hidráulicas para introducir el ademe, en vez de emplear las herramientas para producir el impacto necesario.

El extremo inferior del cucharón de lodo se halla provisto de una válvula de fondo plano, una pesada zapata y una barra cortadora a través del círculo del fondo, suficientemente fuerte como para que corte y afloje la arcilla o grava. El extremo superior del cucharón de lodo está provisto de una pesada horquilla fijada a aquél mediante un acople de rosca. Puede agregarse, si se desea, una barra corta para obtener un mayor peso. Algunas veces se utilizan las tijeras del perforador para que el golpeteo que éstas permiten efectuar pueda destrabar el barrenador.

El ademe que se utiliza consiste de dos tamaños de cilindro de acero soldado, pudiendo el mayor entrar ajustadamente sobre el menor. Los tubos se construyen de lámina de acero. Relativamente delgada, cada cilindro es de unos 1.20 metros de longitud, --

con sus extremos a ángulo recto para que topen bien con los extremos adyacentes. Cada tramo exterior traslapa la mitad de su longitud con el tramo interior, dejando alternas las juntas de tope, cada 0.60 m. Los cortos tramos de ademe se utilizan para ajustar el desplazamiento o carrera de las gatas hidráulicas. Conforme el ademe se va instalando en el sitio, las juntas se preparan mediante soldadura de puntos.

El procedimiento que se sigue al empezar un pozo, consiste en excavar un foso para acomodar las gatas hidráulicas, los anclajes de éstas y la tubería de iniciación. En el centro de este foso, se coloca en posición, un tramo de 3 m. de tubería. En el fondo del foso se tienden unos travesaños o muertos de madera o de acero, a los cuales se fijan las gatas. Estos travesaños se entierran rellenando el foso una vez que el equipo ha sido hundido hasta la profundidad que se desea, se emplea un perforador de ademe para producir ranuras en la tubería a aquellas profundidades en que el registro del pozo indique la presencia de arena o grava acuíferas. El tamaño de las aberturas producidas por el perforador de ademe es muy irregular y los pozos perforados por este sistema a menudo erogan grandes cantidades de arena. Normalmente no se debe de utilizar una rejilla adecuadamente escogida, puesto que los golpes del ademe son muy débiles como para permitir que éste pueda extraerse y dejar expuesta la rejilla, frente al acuífero.

Este método de perforación ha sufrido modificaciones durante el tiempo en que ha estado en uso. En algunas partes no resulta difícil aún observar un cucharón de lodo funcionando mediante el cable de un equipo convencional de perforación por percusión, y con tubería estándar utilizada como ademe. En tales casos el cucharón viene a ser esencialmente una herramienta usada en lugar de las herramientas convencionales de percusión. La tubería se hince a menudo utilizando gatas o abrazaderas en lugar de empujes hacia abajo por medio de las gatas hidráulicas. El empleo de tubería de conducción en guisa de ademe, hace posible la instalación de rejillas eficientes, al completar el pozo, sin tener que recurrir al perforador de ademe, para abrir los orificios que permiten la entrada del agua.

Quando se dispone de la maquinaria necesaria para

plear este método es conveniente utilizarlo en formaciones suaves que se encuentren combinadas con pequeñas capas o lentes de grava o cantos en las cuales se encuentre bien definida la frontera de las formaciones suaves y las pequeñas capas de cantos o gravas en donde es necesario la fuerza de los gatos hidráulicos para la introducción del ademe.

EL METODO DE ROTACION

El método hidráulico de perforación consiste en hacer un agujero mediante la acción rotatoria de un trépano y remover — los fragmentos que se producen con un fluido que continuamente se hace circular, conforme el trépano penetra en los materiales de la formación. El trépano se fija al extremo inferior de la tubería de perforación. En el sistema convencional rotatorio, el fluido o lodo de perforación es bombeado a través de la tubería y expulsado por las boquillas de ésta. El lodo, entonces, fluye verticalmente hasta la superficie a través del espacio anular que se halla alrededor de la tubería. Ya en la superficie del terreno, el fluido se conduce hasta un foso de sedimentación y de ahí a otro de reserva. En éste, es de nuevo succionado por la bomba una vez que su contenido de fragmento se haya sedimentado.

Antes de alrededor de 1920, el tipo de perforación rotatoria que se usaba para perforar pozos de agua se denominaba comúnmente remolino. El equipo utilizaba corrientemente el mismo ademe del pozo como tubería de perforación. El extremo inferior de la tubería se acondicionaba con una zapata de corte de forma de sierra cuyo diámetro exterior era un poco mayor que los acoples de la tubería. Los dientes de sierra de la zapata cortaban y aflojaban el material conforme a la tubería se le imprimía el movimiento de rotación. Luego, se bombeaba agua a presión a través de la tubería, para así poner en suspensión los fragmentos de la perforación y llevarlos a la superficie. Se agregaban arcilla y limo naturales para sellar las partes del agujero y poder mantener en esta forma la circulación del fluido; no se usaban entonces lodos o fluidos especiales. El método se adaptaba solamente a la perforación de formaciones relativamente suaves que no contuvieran guijarros o cantos.

En los años próximos a 1930, se encontró aplicación —

en la perforación de pozos de pequeño diámetro, a las perforadoras rotatorias que abrían los agujeros para explosión, en los trabajos sísmográficos de investigación petrolera. El desarrollo de los equipos portátiles de perforación, montados en camión, dotados de todos los elementos necesarios para un funcionamiento flexible y eficiente, tuvo su origen en esa actividad.

Las máquinas que abrían los agujeros para explosivos, carecían de condiciones para perforar en un rango suficientemente grande de tamaños de pozos. La bomba de lodo y la tubería de perforación eran por lo general muy pequeñas como para poder llevar el volumen del fluido de perforación que ha de hacerse circular cuando se quiere perforar eficientemente pozos de 20 ó 25 centímetros de diámetro.

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

Es fundamental tener en cuenta la interrelación esencial del trépano con el fluido, para comprender claramente los fundamentos de la perforación rotatoria. También su conocimiento es necesario, para lograr una operación apropiada de la perforadora, y además es la base para interpretar los resultados de las perforaciones rotatorias de prueba y en la completación de aquéllos pozos de producción perforados por este sistema.

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

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

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

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

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

Cada barra de peso viene a ser en efecto un tramo de tubería de perforación de pared gruesa. Se utilizan una o más barras para agregar peso a la parte inferior del conjunto. Esta concentración de peso, justamente por encima del trépano, contribuye a mantener el agujero recto y vertical.

La tubería de perforación consiste de conductos sin costura, por lo general en tramos de 6m. de longitud, con un coyle macho en un extremo además de una hembra en el otro. Los tamaños de tubería de perforación que por lo general se emplean, varían de diámetro, desde 60 mm. hasta 114 mm. El tamaño indica el diámetro exterior del tubo. Es de importancia utilizar tubería de perforación de diámetro adecuado, puesto que la perforación de pozos de agua exige una razón de circulación del fluido, relativamente alta. La tubería de perforación de diámetro adecuado disminuye las pérdidas por fricción en ésta y en consecuencia la potencia que demanda la bomba. Una regla que puede seguirse es la que indica escoger tubería de perforación con un diámetro exterior de acople que sea de dos tercios del diámetro del agujero; sin embargo,

esta relación puede resultar poco práctica al perforar agujeros cuyo diámetro sea mayor de 25 centímetros.

El vástago giratorio (kelly), constituye la sección situada más alto de toda la columna de tubería de perforación. - El vástago pasa por, y se fija, en la abertura de la mesa rotatoria. La forma exterior del vástago giratorio puede ser cuadrado, hexagonal o también cilíndrica, con ramuras o surcos longitudinales cortados en la pared exterior. El vástago giratorio se fabrica con unos cuantos centímetros más de longitud que cualquier tramo de tubería de perforar. Su abertura cilíndrica interior es menor que la de la tubería, debido al grueso espesor de la pared que necesita.

La sección cuadrada, hexagonal o ranurada del vástago se desliza hacia arriba y hacia abajo a través de cojinetes de guía situadas en la mesa rotatoria. Con sus cojinetes debidamente colocados al su alrededor, la barra completa de perforación y el trépano son forzados a girar conjuntamente con la mesa rotatoria. Mientras gira, el vástago se desliza hacia abajo entre los cojinetes de guía para seguir descenso del trépano conforme el agujero se hace más profundo.

El extremo inferior del vástago giratorio está provisto de un sustituto de cople para conectarlo a la tubería de perforación. El sustituto evita que el cople del vástago sufra el desgaste excesivo que resulta de enroscarlo y desenroscarlo cada vez que se hace necesario agregar o retirar un tramo de tubería de perforación. El extremo superior del vástago va conectado a un eslabón giratorio con cople de rosca izquierda, que permite el paso del fluido de perforación.

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

FORMACION DEL FILTRO DE LODO

Conforme progresa la perforación, se va formando en las paredes del agujero un filtro de lodo o camada filtrante. Es

te revestimiento de condición plástica, constituido por limo, arcilla y coloides se forma debido a un efecto filtrante, cuando la presión del fluido de perforación expulsa una parte del agua de éste. La camada filtrante reviste las paredes del agujero y retiene algunas partículas sueltas de materiales desmenzables. Al mismo tiempo, protege a las paredes de la erosión o el lavado que podría producirse con la corriente ascendente del fluido de perforación. A su vez, sella las paredes del agujero y reduce la pérdida del fluido hacia las formaciones permeables.

La camada filtrante retiene partículas sueltas en su sitio porque ésta es pegajosa y plástica; pero en ningún momento podría evitar que una pequeña presión exterior produjese el colapso del agujero. La resistencia al colapso se obtiene mediante la presión hidrostática del fluido dirigida radialmente hacia afuera. El revestimiento filtrante debe sólo concebirse como una membrana o cobertura flexible similar a un balón de hule colocado dentro del agujero y relleno de fluido de perforación.

FLUIDO DE PERFORACION

El fluido de perforación puede ser cualquiera, desde una agua lodosa hasta una mezcla viscosa hábilmente preparada con materiales ad hoc. Es muy importante comprender las funciones — esenciales del fluido de perforación. Este debe realizar lo siguiente:

1. Proteger las paredes del agujero del socavamiento.
2. Recoger los fragmentos del fondo del pozo.
3. Sellar las paredes del agujero, para reducir la pérdida de circulación.
4. Mantener los fragmentos en suspensión cuando la circulación cesa.
5. Enfriar y limpiar el trépano.
6. Lubricar los cojinetes del trépano, la bomba de lodo y la tubería de perforación.

El lodo de perforar retiene el agujero y evita su socavamiento, mediante la presión que ejerce sobre las paredes del mismo. En tanto la presión hidrostática de la columna de fluido supera a la presión artesiiana que pudiese manifestarse, y que tendrían a derrumbar el agujero, éste permanecerá abierto.

La presión del fluido a cualquier profundidad proviene del peso de la columna correspondiente que se halla por encima del nivel estático, más la diferencia entre los pesos del lodo y del agua, en el intervalo comprendido entre el nivel estático y el punto de interés.

No existe ninguna fórmula matemática que permita calcular la presión que tendería a derrumbar un agujero circular rodeado de diversos materiales terrestres a varias profundidades. El peso del lodo que se necesitaría no se puede, entonces, predecir con exactitud. En la práctica, el perforador se basa en su experiencia pasada para preparar el fluido. Si empieza a tener problemas por socavación mientras se halla perforando, el perforador agrega más bentonita o algún otro material pesado, para aumentar el peso del fluido y así poder desarrollar la presión que necesita dentro del agujero para evitar su tendencia a derrumbarse.

El espesamiento del lodo, para aumentar su peso, puede lograrse hasta donde se desee. Se puede llegar a un punto tal en que la bomba tendría dificultad para impulsar un fluido tan viscoso a través del sistema. En tal caso, deberán emplearse materiales especiales agregados al fluido para aumentar su densidad sin que aumente la viscosidad. Se dispone de cierta cantidad de aditivos que le pueden impartir propiedades especiales al fluido de perforación.

La habilidad de un fluido para mantener partículas en suspensión crece rápidamente conforme la velocidad y la viscosidad de éste aumentan. Después de que las cortaduras o fragmentos son llevados a la superficie, es esencial que éstas sean separadas del lodo, conforme el fluido se desplaza por el foso de sedimentación, a una velocidad reducida. Los resultados que se desean se obtienen mediante la regulación de la viscosidad y el peso del lodo, ajustando la velocidad de la bomba y dándole la conformación adecuada a los fosos de sedimentación.

La cantidad de fluido que pasa a la formación y el desarrollo de la cascada filtrante en la pared del agujero, dependen con la porosidad de los materiales que se están perforando, pero también con el carácter del fluido para constituir la cascada filtrante incluyen viscosidad, densidad y consistencia del fluido.

sa. Estas propiedades son controladas cuidadosamente y con toda precisión en la perforación petrolera, pero por lo general no reciben igual consideración al perforar pozos de agua.

En ambos casos, resulta importante cuán extenso es el desplazamiento del fluido en los poros de la formación productora. Las arenas que forman buenos acuíferos son mucho más permeables que las mejores arenas portadoras de petróleo, por lo que una cantidad apreciable de lodo bien podría invadir la formación acuífera. La invasión de lodo continúa hasta que los poros de la formación se obstruyen. Una vez que la obstrucción se ha desarrollado, se forma entonces la camada filtrante en las paredes del agujero.

En arena y grava gruesas, se pueden perder grandes cantidades de fluido en la perforación antes de que en la pared del agujero se haya sellado efectivamente. La desventaja de ello consiste en que todo el lodo que ha sido desplazado hacia la formación deberá ser posteriormente eliminado de los poros de ésta, durante el desarrollo del pozo. Si no es así, el material granular del agujero permanecerá parcialmente obstruido, dando por resultado un pozo ineficiente.

Es necesario que los perforadores de pozos de agua preparen un fluido de perforación que produzca el efecto del sellado - con muy poca invasión dentro de la formación y que, además, no sea muy viscoso como para poderlo bombear con un equipo convencional. Resulta aconsejable usar, en cierta proporción, bentonita de alta calidad, porque en general se obtiene un fluido que desarrolla un sellado efectivo.

Cuando se interrumpe la circulación del fluido de perforación para agregar tubería de perforar o por alguna otra razón, los fragmentos arrastrados por la columna de lodo tienden a devolverse hacia el fondo del agujero. La masa de fragmentos, al solidificarse muy rápidamente, puede formar puentes sobre los coples de las herramientas y acumularse hasta cierta profundidad por encima del trépano. En estas condiciones, se necesitaría una excesiva presión de la bomba para revolver los fragmentos y reiniciar la circulación. Si la masa de partículas no se puede mover, el trépano quedará prensado en el agujero. Un buen fluido de perforación puede mantener partículas en suspensión, puesto que desarrolla cierta consistencia gelatinosa cuando la circulación se hace más lenta o se inter-

tiene. Los lodos de perforación varían ampliamente con relación a sus propiedades para desarrollar una consistencia gelatinosa, pero resulta relativamente fácil proveer un fluido tal, que mantenga en suspensión a la mayor parte de las partículas cuando la circulación dentro del agujero es interrumpida.

La cantidad de agua que puede ser expulsada de las partículas depositadas en la pared del agujero varía de acuerdo con el tipo de arcilla y coloides presente en el lodo. Esta propiedad de perder agua, del fluido y la diferencia de presión de éste, dentro del agujero, influyen en el espesor del filtro que se forma en la pared, si el agua es expulsada muy rápidamente, se formará un filtro muy grueso que podría interferir al subir y girar la tubería de perforación. La pérdida de agua puede regularse usando lodos adecuados en el fluido.

El enfriamiento y la limpieza del trépano se efectúan mediante los chorros de fluido que son dirigidos a velocidad relativamente alta hacia las caras cortantes y el cuerpo del trépano.

Un fluido de perforación preparado adecuadamente — constituye un lubricante excelente. Los fragmentos y la arena deberán ser retirados con efectividad, conforme el lodo circula por los fosos de sedimentación, para que el fluido pueda realizar su función lubricante.

CONTROL DEL LODO DE PERFORACION

Las propiedades de un lodo de perforación que afectan su habilidad para desarrollar sus funciones esenciales en la perforación de pozos de agua, incluyen las siguientes: densidad, viscosidad, consistencia gelatinosa, propiedad filtrante y contenido de arena. Tres de éstas, sean la densidad, viscosidad y contenido de arena, deberán evaluarse en el sitio de la obra para tener una base que permita regular el lodo durante la perforación.

El uso de bentonita de alta calidad, de modo que constituya la porción mayor del contenido de arcilla en el lodo, garantiza que se obtendrá adecuada consistencia gelatinosa y propiedades de filtración lo suficientemente bajas en la mayoría de las perforaciones de pozos. En tal caso, pueden omitirse los ensayos de campo, excepto en situaciones críticas, para valorar estas propiedades.

La densidad del lodo, en términos de alguna unidad convencional, se determina en el campo utilizando una balanza especial. Este instrumento posee una cápsula en uno de los extremos del brazo y una pesa deslizante en el otro. Cuando la cápsula se halla exactamente llena, su volumen corresponde a una medida dada. A su vez, el brazo de la balanza está calibrado en unidades de peso por volumen. Cuando se encuentra completamente balanceada la cápsula, la posición de la pesa deslizante en el brazo de la balanza indica directamente el peso del fluido o su densidad. En la mayoría de las perforaciones de pozos el peso específico de utilidad es de aproximadamente 1.08 kg./litro. La retención excesiva de arena en el fluido podría aumentar su peso hasta niveles inconvenientes.

La viscosidad del fluido de perforación se mide en el campo con un embudo Marsh. El ensayo se realiza llenando el embudo hasta un nivel determinado (un volumen de 1,500 cm³) y observando el tiempo necesario en segundos para que una cuarta parte del fluido escurra por gravedad del fluido de perforación, pero los valores relativos que se obtienen son suficientemente para controlar correctamente el lodo cuando los resultados se interpretan a la luz de los de otros ensayos de campo.

Un buen fluido de perforación, con un peso específico de 1.08 kg./litro tiene según el embudo de Marsh, una viscosidad correspondiente a un rango de 35 a 45 segundos. Si el lodo recoge arena y aumenta su peso específico hasta 1.20 kg./litro, la viscosidad, según el embudo, será en unos 43 segundos. Cuanto mayor sea la densidad del lodo que contenga arena, mayor será la viscosidad con que fluye desde el embudo. Contrariamente, cuando el peso del lodo aumenta como resultado de la incorporación de arcilla proveniente de los cortes o fragmentos superficiales, la viscosidad según el embudo de Marsh resulta ser mucho más alta que 43 segundos. El tiempo que el agua utiliza en esta prueba en el embudo Marsh es de aproximadamente 26 segundos.

El contenido de arena de un fluido de perforación se mide por volumen y se define como un porcentaje volumétrico. Un volumen determinado de fluido, digamos 100 cm³, se lava dentro de una criba de malla 200. Se realiza el lavado con agua limpia y se

tiene cuidado de que a través de la malla pase solamente el fluido de perforación. Las partículas retenidas por la criba se traspasan cuidadosamente a una probeta cónica graduada. El volumen de arena indicado por las graduaciones de la probeta se expresa entonces como un porcentaje del volumen de la muestra de lodo. Un fluido de perforar de peso y viscosidad adecuados, que contenga menos de un 5 por ciento de arena, generalmente se comporta satisfactoriamente.

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA PERFORACION.

Todas las fórmulas, gráficas, etc., que tratan de establecer relaciones matemáticas entre algunas de las principales variables que determinan una mejor perforación, están basadas en innumerables datos, todos empíricos, en los cuales se han observado velocidades eficientes de perforación, que no hay que confundir con la máxima velocidad de penetración. La máxima velocidad de penetración lleva exposición y costo económico.

Las variables fundamentales para lograr una velocidad de perforación eficiente son:

- Peso sobre la broca.
- Velocidad de rotación.
- Estado de conservación de la broca.
- Fluidos de perforación.
- a).- Peso. Sobre la broca.

No existen normas fijas para recomendar un peso determinado sobre las brocas de rodillos para atravesar ciertas formaciones. Se admite la siguiente nomenclatura para el peso aplicado a las brocas de rodillos.

	Hilozaneros por pulgada de Ø
may peso peso.....	0 - 270
peso liviano.....	270 - 540
peso moderado.....	540 - 1,090
peso mediano.....	1,090 - 1,820
peso mediano-pesado.....	1,320 - 2,730
peso pesado.....	2,730 - 3,630

Branty, supone que el triángulo no soporta todo el peso, sino un 75 a 80 %, aproximadamente, debido al rozamiento con las

paredes e la perforación y a la reacción por la salida del agua en los triconos sobre todo los de tipo "Jet", tomando como base las brocas de rodillos marca Hughes, los pesos admisibles para los diversos tipos son los siguientes:

Tipo de Broca	Peso en Kilogramos por pulgada de ϕ
OSC-3, OSC-3J	450 - 2,200
OSC-1, OSC-1J	450 - 2,200
OSC, OSC-J	450 - 2,200
OWI, OW, OWS	450 - 2,700
OWC	1300 - 2,700
WT, WTA	1300 - 3,100
WI, WI-J	910 - 2,000

Los pesos que en la tabla anterior se indican serían los correctos para una eficiente perforación, pero en las perforaciones para captación de agua, menos profundas que los pozos de petróleo, no se tiene suficiente longitud la mayoría de las veces como para aplicar los pesos indicados. Se haría necesario entonces trabajar exclusivamente con barras de carga en vez de varillaje.

Por otro lado los inconvenientes que supone el transporte de las barras de carga es considerable, se sabe que a mayor peso las perforaciones tienden a desviarse de la vertical, cuando los horizontes estratigráficos están fracturados o con cierto buzamiento. Sin embargo, cuando se rebaca la profundidad donde se estima que ha de trabajar el grupo de elevación, los pozos pueden hacerse más rápidos cargándoles más peso a la broca, hasta un 50% como máximo, como se comprende, el pozo no será vertical en este último tramo.

Las lastriabarrenas, además de proporcionar el peso adecuado, su utilidad secundaria radica en actuar como estabilizadores de la perforación de investigación, ayudando a que la rotación sea más suave por razones de su mayor inercia.

McGhee.- analiza los elementos que varían al aplicar el peso a una broca de rodillos, llegando a las siguientes conclusiones.

Doblando el peso se duplica la velocidad de perforación.

Un aumento de unas tres veces el peso sobre la broca aumenta el desgaste unas cinco veces más sobre los dientes.

Las horas de vida útil de los cojinetes de una broca están en razón inversa al peso impuesto a la misma y en la misma proporción de 3 a 5 que para el desgaste de los dientes.

b).- Velocidad de Rotación.

Se ha venido observando que manteniendo constante el peso, el volumen y velocidad del fluido de perforación, a más elevada velocidad de rotación más rápida es la penetración. Hay una excepción a esto, la perforación de areniscas síliceas duras o cuarcitas, o sea, rocas que se fracturan angularmente y las barrenas sufren una alta abrasión, los rodillos se desgastan, pierden diámetro exterior y se hace impropiedades, por tanto, el aumento de velocidad de rotación.

Tomando como valores promedio de varias perforaciones se sabe que:

A mayor r.p.m. más velocidad de perforación. Doblado la velocidad de rotación se aumenta una vez y media aproximadamente la velocidad de perforación.

A mayor r.p.m. los dientes de la broca se desgastan en relación 1 a 25, o sea si se pasa de 50 r.p.m. a 200 r.p.m. los dientes se desgastan más aprisa unas diez veces.

Como regla general, a mayor diámetro del pozo y mayor dureza de las rocas a atravesar, menor número de r.p.m. y al contrario ocurre cuando se trata de diámetros pequeños o rocas blandas.

c).- Estado de Conservación de la Broca.

El desgaste de los cojinetes, dientes y diámetros de una broca de rodillos, según por otra parte función de la litología que atraviesen y del tipo de lodos empleados, lodos emulsionados con aceite evitarán desgastes prematurados en las brocas. La "perforabilidad" de una broca decae rápidamente, ya que los dientes nuevos se desgastan más rápidamente que los usados, por eso, tanto el peso como las r.p.m. son variables que se deben modificar sobre la marcha de la perforación misma.

PERFORACION EN ROCAS BLANDAS Y PLASTICAS.

Una vez seleccionada la broca o bien la "cola de pez" así como haberle impuesto un peso y unas r.p.m. adecuadas, sería muy conveniente utilizar también unos lodos emulsionados con aceite, con los que se obtendrían las siguientes ventajas al perforar en estos terrenos:

Menos adherencias de las rocas cortadas sobre varilla de y broca.

Se evitarían los socavones por disolución de arcilla.

Menos costra, y por lo tanto, rápido desarrollo del acuífero.

Un mayor avance en la perforación.

Los avances admisibles pueden ser mayores con aceite debiendo tener sumo cuidado con el factor peso, cuando se alcance un terreno de mayor dureza bajo los estratos blandos. Si la roca dura yace de una forma no tabular, es probable que el pozo se desvíe, orientándose en dirección normal al buzamiento del estrato - por efecto de la reacción de las barras pegadas, al deslizarse en el pozo por no cortar homogéneamente el triángulo, este efecto de desviación se puede anular o reducir disminuyendo el peso sobre la broca, para lo cual hay que suspender la columna guiándose de las indicaciones del dinamómetro.

En ocasiones, la broca deja de perforar en terrenos plásticos, se aumenta el peso y las r.p.m. no consiguiéndose avanzar. Parece como si hubiese un cambio de litología pero, en realidad, éstos síntomas indican un "embotamiento" de la broca, que viene seguido generalmente de un aumento de la presión. El no perforar correctamente es debido a que la broca "patina" y, por lo tanto el peso y las r.p.m. no resolverán la situación. Las posibles soluciones a este problema muy común sin que sea necesario extraer la broca con las siguientes pérdidas de tiempo:

Usar la máxima presión y volumen de la bomba.

Fluidificar ligeramente el lodo, aumentando la cantidad de aceite emulsionar.

Suspender la columna de perforación sin dejar de dar rotación.

PERFORACION EN ROCAS DURAS

Las brocas de rodillos para estas litologías deben tener los dientes poco esparciados y cortos, así como orillas de esmerinado en las piñas. Aplicando el peso y velocidad de rotación adecuado se pueden obtener velocidades de penetración más altas en rocas tales como las calizas, dolomitas, areniscas de grano fino, etc.

Uno de los mayores inconvenientes que pueden presentarse al perforar en estratos calizos-dolomíticos, es la pérdida parcial o total de la circulación de lodos al marcharse por conductos cársticos. Si la red cárstica es de poca envergadura, podrá solucionarse el problema con cualquier aditivo a los lodos de perforación, propios para este caso. Antes de proceder a establecer la circulación del fluido, se debe necesariamente investigar si la red cárstica es o no portadora de agua, ya que el fin del sondeo es el alumbramiento de ésta.

PERFORACION DE CIRCULACION INVERSA

El método rotatorio de perforación con circulación inversa se efectúa invirtiendo la circulación del fluido de perforar, a diferencia del método rotatorio convencional. El extremo de aspiración de la bomba, en lugar del de descarga, se conecta al vástago giratorio a través del eslabón superior, y de ahí a la tubería de perforación. Esta vez el fluido de perforación con su carga de fragmentos y cortaduras se desplaza hacia arriba por dentro de la tubería y es descargado por la bomba al foso de sedimentación.

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

El fluido de perforación puede describirse como una agua lodosa más que un lodo de perforar. La arcilla y el limo en suspensión, que recirculan conjuntamente con el fluido, son en su mayoría materiales finos, recogidos en las formaciones subsuperficiales, conforme progresa la perforación. Pocas veces se agregan.

al agua bentonita u otros aditivos, para formar un fluido más viscoso.

Para prevenir la socavación del agujero, el nivel de fluido debe mantenerse a ras del suelo en todo momento. La presión hidrostática de la columna de agua, además de la inercia de la que se desplaza hacia abajo, por fuera de las barras de perforación, mantienen estable la pared del agujero. La erosión de la pared no constituye un problema, puesto que la velocidad del fluido en el espacio anular es baja.

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

La pérdida de agua puede llegar súbitamente, y si ello causa que el nivel del fluido descienda por debajo del nivel del terreno, podrían presentarse socavamientos o derrumbes. La pérdida de agua puede minorarse agregando arcilla al fluido, pero esto se trata de evitar a menos que sea imprescindible. En tales casos bastan unos 75 litros por minuto de agua agregada y, en ocasiones en que la perforación se realiza a través de acuíferos altamente permeables, puede que lleguen a necesitarse hasta 2,000 litros por minuto. La perforación de grava gruesa y seca es la que ofrece las mayores dificultades.

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

Se utiliza una bomba centrífuga con pasajes grandes para que las cortaduras no se atasquen adentro. Cierta tipo de equipo emplea un eductor que funciona como una gran bomba de eyector o de chorro, el cual evita el que las cortaduras y fragmentos tengan que pasar a través de la bomba centrífuga.

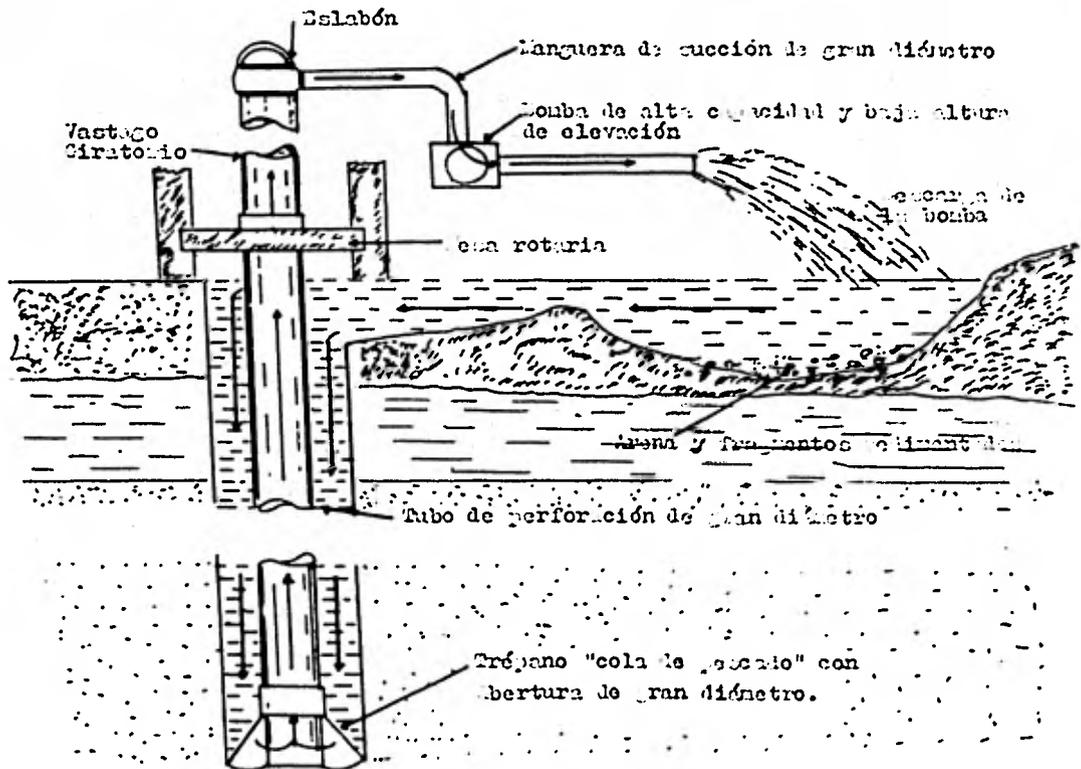


Fig. II.2 El diagrama esquemático muestra los principios básicos del método rotatorio de perforación por circulación inversa. Los cortesuras y fragmentos son levantados por un flujo ascendente a través de la tubería de perforación.

El límite de aspiración de la bomba hace que se tengan que utilizar tramos de tubería de 3 m. de largo. Por lo general, se usan tubos de 15 cm. de diámetro, de modo que aquellos cantos de hasta unos 12.5 cm. de diámetro puedan ser extraídos por dentro de la tubería. Los cople que se utilizan para los tubos son del tipo de brida.

Puesto que el diámetro de las bridas de cople es de unos 28 cms., el menor agujero que podría perforarse es prácticamente de unos 45 cm. de diámetro, apenas el necesario para proveer suficiente espacio anular a la altura de cada cople de brida.

Con este sistema, se pueden perforar agujeros de hasta 1.50 mts. de diámetro. El diámetro del agujero debe ser grande en comparación con la tubería de perforar para que la velocidad descendente del agua sea lenta. Se recomienda que la velocidad de descenso del agua sea del orden de unos 30 cm. por segundo.

Tanto el trépano como la tubería de perforación se hacen girar a velocidades angulares que varían entre 10 y 40 revoluciones por minuto.

La circulación inversa proporciona el método más económico para perforar en diámetros grandes, formaciones suaves y no consolidadas. Cuando las condiciones geológicas son favorables, el costo de perforación de un agujero de 0.90 ó 1.0 m. de diámetro es apenas ligeramente mayor que el de uno de 0.50 m.

En consecuencia, la mayor parte de los agujeros perforados por este sistema son de 0.80 m. de diámetro o mayores, circunstancia tal que favorece el acabado de los pozos mediante la colocación de filtros artificiales de grava. Esto es un caso en donde el diseño de un filtro artificial de grava depende en su mayor parte de los factores peculiares del método específico de perforación.

Las condiciones en que resulta favorable el uso del método de circulación inversa, son tales como presencia de formaciones de limo y arena o de arcilla suave; ausencia de arcilla o de cantos rodados; nivel estático del agua a unos 3 m. o más por debajo de la superficie. Las que lo limitan, consisten en un nivel estático muy elevado; falta de abastecimiento de agua que sirve

para compensar la pérdida del fluido de perforación; formaciones rígidas de arcilla o lutita y la existencia de gran cantidad de guijarros o cantos.

Aquellos guijarros o cantos de un tamaño mayor que el de la tubería de perforación o que las aberturas del trépano, no pueden ser extraídos durante la perforación. Los trépanos que se utilizan no están en capacidad de fracturar los guijarros; — tan pronto como algunos de éstos se acumulan en el fondo del agujero, la perforación se paraliza. La tubería de perforación y el trépano deben ser alzados periódicamente y los cantos extraídos mediante un cucharón especial para que la perforación pueda continuar normalmente.

Este método no tiende a formar una capa filtrante en la pared del agujero igual a la que se necesita cuando se está perforando por el sistema rotatorio a base de lodo. La liviana película que se forma y que evita la pérdida excesiva de fluido de perforación, es eliminada más fácilmente al desarrollar el pozo, que el filtro gelatinoso del método convencional rotatorio.

PERFORACION ROTATORIA CON AIRE COMPRIMIDO.

El equipo rotatorio de perforación, que utiliza aire comprimido como fluido de perforación, en lugar de lodo, constituye un avance muy moderno en la industria de perforación de pozos. En este sistema, se hace circular aire a presión por la tubería de perforación, el cual escapa por las aberturas del trépano, subiendo luego por el espacio anular que rodea a la tubería. El aire que se desplaza a gran velocidad dentro del anillo, arrastra los fragmentos hasta la superficie o los expulsa de las fisuras de la roca.

Este procedimiento sólo se puede aplicar a formaciones consolidadas. Las máquinas de perforar rotatorias diseñadas para este tipo de trabajo, vienen por lo general equipadas con una bomba convencional de lodo además de un compresor de aire de gran capacidad. El lodo de perforar puede también utilizarse cuando se está perforando dentro de materiales derrumbables que se hallen sobre el basamento. Posteriormente, la perforación puede proseguir dentro de la roca, utilizando aire. Es posible que, para evitar derrumbes, se haga necesario instalar ademe por den-

tro del relleno superior, al pasar a circulación de aire.

Los trepanos para roca, del tipo de rodetes, similares a los que se diseñan para la perforación a base de lodo, pueden también utilizarse cuando se perfora con aire. El tipo que se conoce como trépano incrustado resulta de conveniente aplicación a ciertas áreas. Este trépano se fabrica con incrustaciones de carburo de tungsteno fijadas a la periferia de los rodetes de acero. Los trépanos tricono en diámetros de alrededor de 30 cm., también se utilizan corrientemente. Asimismo, se dispone de diámetros mayores.

Los ensayos de campo que se han realizado para determinar el comportamiento de estos trépanos, han demostrado que cuando se utiliza aire comprimido en lugar del lodo de perforación, la velocidad de penetración es a menudo mayor, lo mismo que la duración del trépano. Los ensayos de laboratorio al perforar en calizas, corroboran lo anteriormente expuesto. Posiblemente la mejor limpieza del fondo que se obtiene con el procedimiento es la que causa un mejor comportamiento. Sin embargo, algunas otras experiencias demuestran que, si mucha agua ingresa al pozo cuando se está perforando dentro de una formación acuífera, la velocidad de penetración no es mayor que la que se obtendría si se perforase con lodo.

El otro tipo de herramientas y trépano, que se utiliza en el sistema rotario con aire comprimido, consiste en esencia de un martinete neumático que se halla colocado en el extremo inferior de la tubería. Este combina el efecto percusivo de la perforación con herramientas de cable, con la acción rotativa de los equipos respectivos. Esta herramienta bien podría denominarse martinete descendente.

El trépano consiste de un martinete con incrustaciones resistentes de carburo de tungsteno, que son las que proveen las superficies de corte. El carburo de tungsteno no es extremadamente resistente a la abrasión, pero los trépanos resisten cuando se usan adecuadamente. Las incrustaciones pueden afilarse mediante esmerilado cuando las condiciones de operación indican que el trépano ya no está cortando adecuadamente.

La velocidad de penetración, en diversas rocas, es

mayor que cuando se utilizan otros métodos y otros tipos de herramientas. Hasta ahora, los trépanos de gran diámetro no han resultado prácticos. El máximo tamaño que corrientemente se utiliza es el de 15 cm., aunque también se dispone del tamaño de 20 cm.

El aire comprimido deberá administrarse a una presión de 7 a 7.7 kg/cm². Algunas herramientas necesitan hasta 14 kg/cm². Para extraer los fragmentos con efectividad, la velocidad ascendente del aire, dentro del espacio anular que se halla por fuera de la tubería de perforar, deberá ser de unos 900 m/min. o mayor. Al perforar agujeros de 10 cm. de diámetro, el abastecimiento de aire libre deberá ser de por lo menos 170 m³/h. La velocidad apropiada de rotación es de 10 a 30 revoluciones por minuto, siendo preferible una velocidad reducida, en las rocas más duras y más abrasivas.

El costo por metro de perforación con este sistema se halla influido en forma muy sensible por la duración y costo de los trépanos. Al escoger el tipo de trépano que produzca los resultados más económicos se debe tener en cuenta la experiencia local y los tipos de rocas consolidadas que se van a perforar.

Una de las ventajas prácticas de la perforación de pozos domiciliarios por este método consiste en que el perforador puede observar, conforme avanza la perforación, cuanta agua es expulsada del pozo junto con los fragmentos. En esta forma, estará en capacidad de juzgar si el pozo ha alcanzado la suficiente profundidad como para producir el rendimiento que se desea obtener. De otra manera el rendimiento debería ser estimado mediante una prueba de cuchara. Hay economía de tiempo cuando se omite esta prueba.

OTROS METODOS DE PERFORACION.

PERFORACION A CHORRO.

Existen dos métodos para construir pozos, en los que la operación se caracteriza por el empleo de un chorro de agua a presión. Uno de los métodos podría describirse como sistema de percusión a chorro. Hasta el presente su utilización se ha visto limitada en gran parte a perforar pozos de 7.5 a 10 cm. hasta profundidades de alrededor de 60 mts. Mediante este procedimiento se han taladrado pozos de hasta 300 mts. pero otros sistemas lo han desplazado.

Las herramientas de perforación del método de percusión a chorro consisten en un trépano en forma de cincel fijado al extremo inferior de una línea de tubería. Unos agujeros practicados en cada lado de laleta del trépano sirven como boquillas para dar paso a los chorros de agua que mantienen limpio el trépano y ayudan a aflojar el material que va perforando.

Al mismo tiempo se deben bombear agua a presiones que van desde moderadas a altas y a través de la tubería de perforar, la cual escapa por los agujeros del trépano. El agua de perforación fluye luego en forma ascendente por el espacio anular que se encuentra alrededor de la tubería de perforación, arrastrando así los fragmentos en suspensión. El agua descarga en la superficie del terreno y de ahí es conducida a uno o más fosos de sedimentación. Desde aquí, el agua es de nuevo aspirada por la bomba y recirculada a través de la tubería.

La descarga de la bomba se hace a través de una manguera de presión y de un eslabón giratorio conectado al extremo superior de la tubería. Las barras de perforación son luego obligadas a girar manualmente, para hacer que el trépano corte un agujero circular. El sistema de circulación del fluido es similar al que emplea el método de rotación convencional.

En tanto se mantiene la circulación de agua, las barras de perforar, conjuntamente con el trépano, se hacen subir y bajar de una manera similar a la del sistema de percusión, pero con carreras más cortas. La acción cortante del trépano, combinada con los chorros de agua, taladran el agujero.

El ademe, acondicionado con una zapata de hincado, se va hundiendo normalmente conforme progresa la perforación. La tubería es hincada mediante el uso de un bloque o pesa que puede fijarse al extremo superior de la tubería de ademe.

Si se agrega bentonita al agua, hasta formar un lodo liviano de perforación, se pueden perforar pozos abiertos hasta profundidades limitadas, por el método de percusión a chorro. Sin embargo cuando el agujero no ademado tiende a derrunbarse, deberá utilizarse una tubería de ademe que siga muy de cerca al trépano cuando se está trabajando. El sistema de percusión a chorro puede utilizarse para perforar algunas formaciones constituidas por are-

niscas o esquistos, que no sean muy duras. El principal uso que se le dá es el de la perforación de pozos de pequeño diámetro en arenas acuíferas.

Los tubos de pequeño diámetro y las punteras con el extremo inferior abierto, pueden hacerse penetrar dentro de formaciones arenosas mediante la sola acción de lavado de un chorro de agua sin necesidad de utilizar ningún tipo de herramientas de perforación.

METODO DE PERCUSION HIDRAULICA.

Este procedimiento de perforación, a menudo denominado el método de la barra hueca, hace uso de una tubería de perforación o barras similares a las que se utilizan en el sistema de percusión a chorro. El trépano es también similar excepto que se halla provisto de una válvula de retención de bola, intercalada entre el trépano y el extremo inferior de la tubería de perforación. Desde la superficie se inyecta agua por el espacio anular comprendido entre las barras de perforación y el adome del pozo, para así mantener el agujero lleno de agua todo el tiempo.

La perforación se ejecuta levantando y dejando caer conjuntamente las barras y el trépano mediante carreras cortas y súbitas. Conforme el trépano cae y golpea en el fondo, el agua que contiene en suspensión los fragmentos o cortaduras hace su entrada a través de los orificios del trépano. Cuando éste es izado, la válvula de retención se cierra y atrapa al fluido contenido en ella. Este movimiento alterno continuo produce una acción de bombeo que eleva al fluido hasta el extremo superior de la tubería de perforación, de donde descarga a un tanque de sedimentación.

El agua se hace retornar de de el tanque de sedimentación al agujero, completando así el ciclo de circulación del fluido, lo que tiene lugar en dirección inversa a la del método de chorro. No se necesita esta vez ninguna presión de bombeo, por lo que la máquina de perforar a percusión se adapta muy bien al sistema.

El adome se hace descender conforme la perforación continúa. Por lo general, se fija o amarra una poca de hincado a las barras de perforación, y con este poco adherido, las barras son levantadas y dejadas caer de modo que el peso golpee sobre el extremo superior de la tubería.

Las ventajas del método consisten en que se requiere el mínimo de equipo y que fácilmente se pueden obtener muestras de buena calidad de las formaciones que se van penetrando. Sin embargo, su utilización queda restringida solamente a la perforación de pozos de pequeño diámetro y a través de formaciones arcillosas y de arena que se hallen relativamente libres de guijarros o cantos.

PERFORACION CON TALADRO

El método más generalizado de taladrar un pozo comprende la excavación del material, para lograr la profundidad del hoyo, mediante el uso de un taladro. El método queda muy bien definido por el término de perforación rotaria con taladro.

El material que se va excavando se recoge en un cubo o cucharón cilíndrico que se halla dotado, en el fondo, de unas cu chillas cortantes, como en un taladro. El cucharón se conecta al extremo inferior de un vástago giratorio, el cual pasa a través de un engranaje anular, el que a su vez le imprime el movimiento de rotación como si fuera la mesa rotaria.

El vástago giratorio (kelly) es de sección cuadrada. A menudo éste consiste de dos tramos de tubo cuadrado, estando un tubo dentro del otro en forma telescópica. El acondicionamiento anterior permite taladrar hasta una profundidad de casi el doble que la del vástago giratorio, antes que tener que agregar otro tramo de barra de perforación entre el vástago y el cucharón. Al perforar usando solamente el vástago telescópico como barra de perforación, el cucharón se extrae del hoyo y se vacía sin desconectarlo. Si se necesita usar una o más barras de perforación para profundizar la excavación, habrá que desacoplar las barras cada vez que se trae el cucharón a la superficie.

Este sistema de perforación de pozos a encontrado aplicación ante todo en aquellos lugares en que las formaciones arcillosas permanecen sin derrunbar hasta que se instale la tubería que servira de ademe. Resulta difícil perforar en arenas que se encuentran por debajo de la superficie freática, pero recientemente se ha encontrado que si el hueco se mantiene lleno de agua todo el tiempo, se pueden vencer algunas de estas dificultades. Si la arena de la formación es muy permeable, se necesitaría un gran abastecimiento de agua. En condiciones favorables, la perforación o taladro

avanza rápidamente, por lo que la demanda máxima de agua sólo durara pocas horas.

Los guijarros y cantos causan muchas dificultades. Estos deberán extraerse del fondo del hueco mediante herramientas tales como una cuchara de pesca, tenazas o agarraderas, para poder continuar la perforación con el cucharón rotario. El diámetro del hueco debe ser lo suficientemente grande para dar acceso a estas herramientas cuando sea necesario.

El segundo método de taladro se lleva a cabo mediante el uso de un taladro espiral continuo y abierto. El vástago del taladro es movido mediante un cabezote rotario de hincado, acoplado a un mecanismo hidráulico que lo levanta y lo baja. Los tramos individuales del vástago del taladro son de alrededor de 1.5 m. de longitud. El diámetro del taladro varía de 10 a 15 cm.

Este método de taladrar está restringido a perforar en formaciones que contengan suficiente arcilla, de modo que el hueco se mantenga sin derrumbar, al menos por un tiempo. Cuando el taladro encuentre arena saturada, la espiral ya no puede arrastrar material hacia arriba, por lo que la perforación no puede ser llevada por abajo de la superficie freática. Los pozos someros se pueden construir, taladrando por este sistema hasta el nivel superior del acuífero, haciendo descender dentro del hueco tubería de pequeño diámetro y hundiendo ésta dentro de la arena saturada, mediante cucharreo o por la acción de un chorro de agua.

POZOS HINCADOS O CLAVADOS.

Los pozos clavados o hincados, solamente pueden construirse en formaciones suaves que se encuentran relativamente libres de guijarros o cantos. Estos pozos se hincan por lo general hasta profundidades de 15 m. y aún mayores, cuando las condiciones son favorables.

Los pozos clavados son bombeados por lo general utilizando la presión atmosférica. En tales casos, el nivel estático debe hallarse a una profundidad no mayor de unos 4.5 m. por debajo de la superficie. Si se utiliza tubería de 5 cm. de diámetro o mayor, se pueden usar ciertos tipos de bombas, tales como la de eyector o chorro, o la de cilindro, para bombear agua desde profundidades mayores.

Para lograr una buena instalación, se requiere usar el equipo adecuado. No existen sustitutos de una buena máquina y de las herramientas especiales, si éstas se mantienen en óptimas condiciones de trabajo.

Las punteras pueden clavarse o hincarse desde la superficie del terreno hasta profundidades de unos 9 m. mediante métodos manuales, dependiendo de la compacidad del suelo. Ya sea que el hincado se efectúe a mano o mediante una máquina, el primer paso consiste en abrir un agujero, con taladro manual, de una profundidad ligeramente mayor que la longitud de la puntera. Este agujero deberá ser vertical y llevarse a tanta profundidad como sea posible. Luego se arma una tubería constituida por la puntera y uno o más tramos de extensión de 1.5 m. de longitud cada uno. Los coples deben tener extremos rebajados y roscas cónicas o ahusadas para proporcionar conexiones más resistentes que los coples ordinarios de tubería. Deberá aplicarse a las roscas algún compuesto que haga las uniones a prueba de entrada de aire. Cuando ya está preparado, el conjunto de punteras y tuberías de extensión se introduce en el agujero previamente taladrado. Se enrosca luego un cabezote de hincado, de hierro maleable, al extremo superior de la tubería, y se da comienzo al proceso de olavado.

El hincado manual se realiza mejor con el tipo de equipo que se ilustra en la figura II.3. Uno de estos es una herramienta parecida a la que se utiliza en el hincado de postes para vallas. Puede ser manejado por uno o dos hombres, dependiendo del peso. El hincado también puede hacerse con un pesado mazo, pero esto no se recomienda. Resulta difícil proporcionar golpes rectos y sólidos con un mazo; los golpes desviados podrían quebrar o torcer la tubería. No importa el método que se utilice, la tubería de extensión deberá estar cuidadosamente guiada de que el pozo sea vertical.

Las herramientas de hincado pueden suspenderse de un trípode o torre. El artefacto para hincar debe hallarse suspendido directamente sobre el centro del pozo, para que pueda aplicar golpes rectos. El peso de estas herramientas deberá ser del orden de 35 a 40 kg. Los pesos mayores son más eficientes y por lo general se manejan con una máquina liviana de perforación por percusión.

Para asegurarse que los coples roscados permanezcan

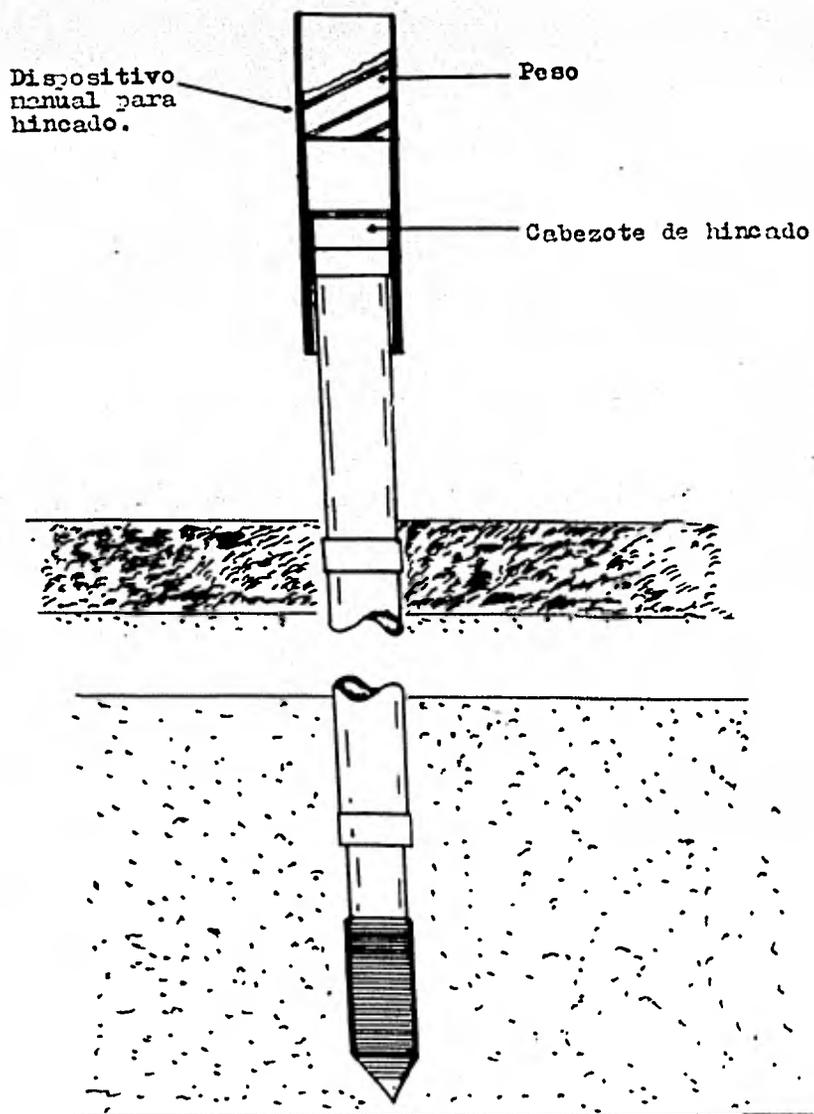


Fig. II.3 Herramienta sencilla para hincar unteras hasta profundidades de 7.5 a 10 metros.

apretados, se le imprime a la tubería de vez en cuando, un movimiento de enroscado con una llave, pero teniendo cuidado de no torcerla severamente.

PROGRAMA DE PERFORACION

Para conocer cada uno de los estratos cortados por la barrena o trépano, la ubicación de los acuíferos por explotar o de aquellos estratos geológicos que por sus condiciones de salinidad o contaminación sea necesario aislar por medio de cementación, y en resumen tener bases para realizar el diseño de construcción del pozo, conviene elaborar un programa de trabajo con base en los estudios previos ya descritos; tipo y capacidad del equipo, profundidad para alcanzar, diámetros de perforación y tuberías de ademe, etc., pero en cualquier caso y para cualquier uso a que se destine la perforación, deberá iniciarse con una perforación exploratoria.

Estos trabajos consisten en alcanzar la profundidad de proyecto recomendada por los estudios geohidrológicos, con barrena de diámetro reducido, siendo el más usual el de 8" y 12".

Durante el proceso deberán obtenerse muestras por duplicado de los materiales atravesados, con la frecuencia que en cada caso se especifique generalmente cada 2 m. y en cada cambio notable de formación.

Quando se sospeche la existencia de acuíferos salinos, durante el proceso de perforación deberán muestrearse las aguas en los intervalos que se especifiquen, pero en ningún caso excederán de 10 m. Con las muestras obtenidas se efectuaran análisis físico-químicos que determinarán la calidad de las aguas.

Un siguiente punto de programa sería correr un registro eléctrico una vez alcanzada la profundidad de proyecto preliminar

A continuación de acuerdo con la comparación del corte geológico y el registro eléctrico, se agruparán las muestras en tramos de formaciones homogéneas y con ella se efectuará el análisis granulométrico que servirá para seleccionar la abertura del cedazo y el tamaño de las gravas para el filtro.

Analizando la información proporcionada por el registro eléctrico y el análisis granulométrico, se podrá definir si es o no conveniente proseguir con la construcción del pozo, es decir:

diseñar la profundidad definitiva de la perforación, diámetro de ésta y de las tuberías de ademe; ubicación y espesor de los acuíferos por explotar y en consecuencia a la distribución de las tuberías de ademe ciego y cedazo y ancho de las ranuras.

MUESTREO

Entre los datos que complementan la perforación exploratoria se encuentra la toma de muestras de los materiales que se perforan.

Al hablar de muestras deben tomarse en consideración los dos tipos de máquinas perforadoras que comúnmente son utilizadas; rotaria y percusión. Las muestras deberán tomarse sin lavar y generalmente cada 2 m. o cada cambio de formación. Para recogerlas, puede usarse con eficacia un cedazo de malla fina y recibirla en el canal previa limpieza, inmediatamente después de la boca del pozo, cuando se trate de equipos rotarios, en el aciento que descarga la cuchara en el caso de percusión. Para ello y cuando se trate de tomar una muestra representativa del material cortado en determinado deberá procederse como sigue:

Con equipo rotario de circulación directa.

Al llegar a la profundidad profijada para la toma de la muestra, se interrumpirá la perforación; se circulará agua hasta que se haya desalojado todo el material cortado y los lodos de perforación salgan limpios. Posteriormente, se perforará un tramo de más o menos 20 cm. y se recogerá la muestra en el canal.

Con equipo rotario de circulación inversa.

Se recogerá la muestra directamente de la descarga del retorno de circulación.

Con equipo de percusión.

Alcanzada la profundidad de muestreo se limpiará el agujero utilizando una cuchara de válvula plana hasta eliminar los residuos de los materiales cortados. Inmediatamente después se introducirá la línea de perforación a la que habrá conectado un muestreador de barril de los diseñados especialmente para el caso, con el que se tomara la muestra. La perforación también puede hacerse directamente con el trépano, recuperando la muestra con la cuchara de válvula plana. O, bien, si los materiales que se están atravesando son blandos, puede hacerse la toma de la muestra empleando

la misma cuchara de válvula plana, a la que previamente deberá habersele soldado en el fondo una zapata con filos revestidos con carburo de tungsteno.

Las muestras obtenidas deberán tomarse por duplicado (un tanto se destinará a análisis granulométrico) y deberán guardarse preferentemente en bolsas de yute, de plástico perforado, o frascos de vidrio con capacidad de 250 cc. Se etiquetarán con el nombre y número de identificación del pozo, profundidad a la que corresponde y número progresivo de la muestra.

Las muestras de los materiales cortados son utilizadas para formar el corte geológico definitivo una vez agrupadas en el orden que fueron obtenidas.

Verticalidad durante la exploración.

También debe vigilarse que durante la perforación exploratoria no se presenten desviaciones en la verticalidad del mismo. Esto puede lograrse cuidando que la línea y tubería de perforación estén lo más centrado posible dentro del agujero que se está perforando. Cuatro paginas adelante se muestra un método comúnmente empleado para checar la verticalidad en el pozo.

REGISTROS ELECTRICOS

El registro eléctrico debe correrse durante la exploración cuando se duda de la existencia de calinidad o algún tipo de contaminación que pueda darnos un pozo negativo o, bien, al final de la perforación exploratoria que es el caso más común para estar en condiciones de completar la información necesaria para la elaboración del proyecto de terminación del pozo.

La función principal de los registros eléctricos en la localización de las aguas subterráneas, es determinar el espesor de los diferentes materiales que forman la columna geológica atravesada en el curso de la perforación, para fijar la localización de acuíferos, espesores de los mismos, deducción de su porosidad e idea de su permeabilidad mediante la generación espontánea de una diferencia de potencial a través de formaciones de estudio y la medida de la mayor o menor resistencia que éstas presenten al paso de una corriente eléctrica, tales mediciones son graficadas en función de la profundidad dando como resultado el llamado potencial espontáneo o natural y la resistividad aparente que en conjunto consti-

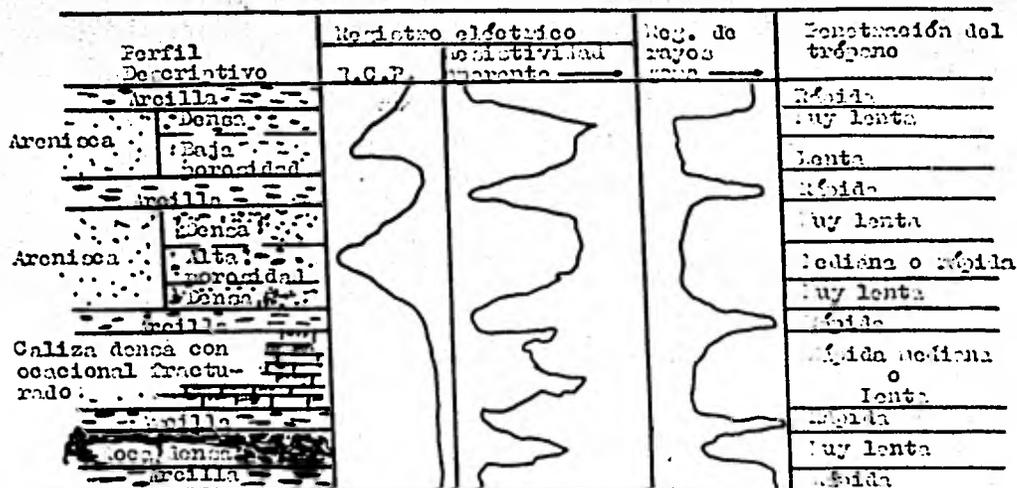


Fig. II.4 Registros geofísicos artificiales de estratos de roca consolidada separada por lechos de arcilla

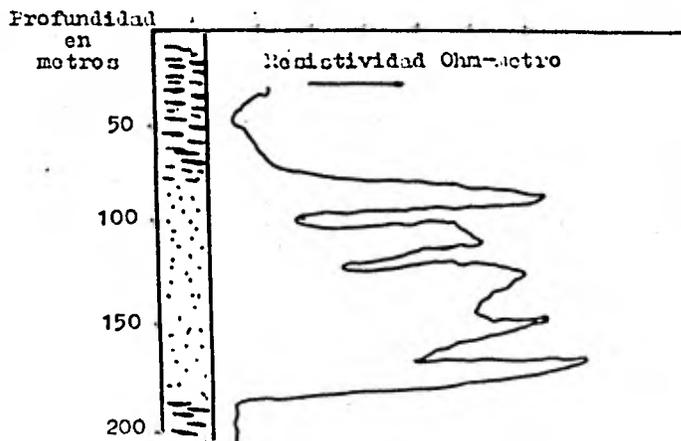


Fig. II.5 Curva de resistividad obtenida en el registro eléctrico de un pozo perforado en una formación arenisca.

tuyen un registro eléctrico.

Si el resultado de la exploración es considerado favorable debe darse el diseño definitivo de construcción del pozo en el cual se indicarán:

Diámetro definitivo de la perforación, profundidad total, diámetro de las tuberías, longitud y ubicación de las tuberías lisas, de contracheme y las de tipo colazo o canastilla, características del filtro de grava, cementación, etc.

CEMENTACION

Intimamente ligado a los trabajos de perforación y terminación de pozos, está el uso del cemento, estas operaciones deben realizarse cuando en el curso de la perforación se pretende aislar acuíferos de alta salinidad o bien para evitar la contaminación de los acuíferos de buena calidad factibles de explotación.

La cementación de un pozo consiste en inyectar cemento de manera que éste ocupe el espacio anular comprendido entre la tubería de ademe y la pared del agujero.

Para lograr un buen trabajo de cementación es indispensable analizar cada uno de los factores que intervienen para que ésta se realice con éxito, entre ellos se tiene: el cemento mismo, la correcta relación agua-cemento, el uso del agua al curdo y las condiciones del pozo.

Una de las maneras de colocar la cementación en el contracheme es la llamada cementación forzada en el cual el cemento será introducido a presión por el interior de la tubería de contracheme y penetrar en el espacio anular a través de orificios perforados expuestos en la parte inferior de la columna de contracheme. El cemento deberá rebosar o aflorar según el caso y según la superficie o a un cierto nivel prefijado con anterioridad.

A continuación se deben suspender todos los trabajos en el pozo en un período suficiente que permita el fraguado del cemento.

Seguidamente si se desea se reconocerá el fondo con barrenos de 305 mm. (12") y se procederá a profundizar la perforación hasta donde se desee. En este último turno de perforación después de colocar la cementación la última tubería deberá ser menor que el diámetro de la tubería de contracheme para proporcionar una mejor fijación o soporte de la misma.

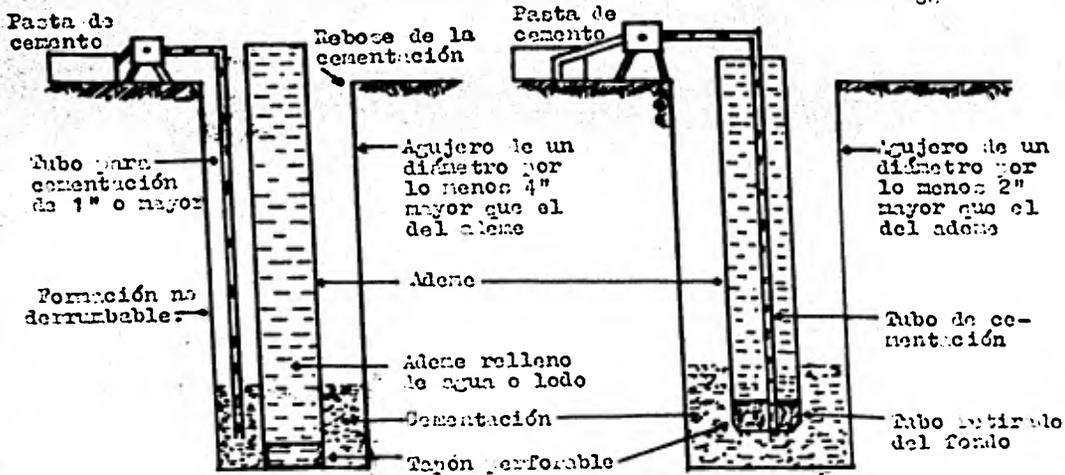


Fig. II.6 Cementación del ademe mediante el bombeo de lechada a través de un tubo que se hace descender por el espacio anular fuera del ademe

Fig. II.7 El tubo de cementación, por dentro del ademe, se conecta a un tapón perforable de cementación con válvula de retención en su extremo inferior.

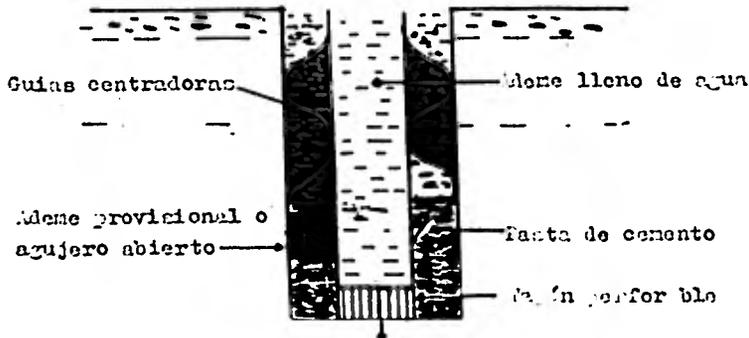


Fig. II.8 La pasta de cemento depositada en el fondo del agujero es obligada a subir por el espacio anular cuando se hace descender el tubo del ademe con un tapón colocado en su extremo inferior.

TUBERIAS DE ADEME

Los pozos en explotación presentan a lo largo del tiempo variaciones y descensos en sus niveles de bombeo en virtud del origen y constitución geológica de los acuíferos, así como la forma de explotación de los mismos creando la necesidad de prever esos futuros abatimientos. Se diseña el pozo con una "camara de bombeo" adecuada a las fluctuaciones.

Su longitud será mayor que la suma del nivel de bombeo y los futuros abatimientos a fin de que al estar en operación los tazonos de la bomba, éstos no queden frente al acuífero evitando la succión directa y el arenamiento consiguiente y su diámetro está en función del gasto por extraer.

A partir de este nivel hasta el fondo del pozo se instala el cedazo pudiendo ser de igual o menor diámetro que el de la tubería lisa; ésto, cuando la diferencia de precio es considerable; de lo contrario el cedazo y la tubería lisa serán del mismo diámetro. La unión entre ambas tuberías, si son del mismo diámetro, se hacen por medio de soldadura en la forma normal que se venen los tramos ordinarios; si son diferentes diámetros podrá emplearse una reducción de campana o un traslape.

COLOCACION DE LAS TUBERIAS

El ademe de los pozos se realiza utilizando barras en vez de elevadores de bisagra. Esto obedece a que las tuberías descritas carecen de coples; por lo tanto para formar una columna, los tramos de tubería se colocan a tope y se unen por medio de tres cordones de soldadura eléctrica, depositados en el espacio que para ello forman los biceles. A manera de refuerzo, perimetralmente se distribuyen y sueldan en la forma descrita y del mismo material que el del ademe, tres o cuatro placas de aproximadamente 7.5 por 15 cm. Los tramos así unidos, deberán formar un cilindro vertical de tal suerte que al calibrarse no presenten una desviación mayor de 1 grado en 100 metros de longitud.

El procedimiento consiste en efectuar a 180 grados en el extremo superior de los tramos de tubería, 2 cortes de sección circular de aproximadamente 10 cm. de diámetro, al mismo nivel, empleando oxiacetileno, sostenidos por una base o pié, de tal manera que al doblarse al exterior y precisamente hacia abajo, queden

sujetos por la base dejando libres los agujeros para introducir en ellos las barras de las que se cuelga el ademe. Después de unidos este tramo con el superior, y retirada la barra, se deberá calentar la base de la oreja antes de volverla a su posición original y cubrir con soldadura el espacio que dejó el corte. Generalmente el espacio libre entre la tubería de ademe y el agujero varía de 3" a 5" hacia cada lado; espacio suficiente para la colocación del filtro de grava.

La mayoría de los perforadores verifican el alineamiento del agujero varias veces cuando están perforando un pozo de una profundidad sustancial. Esto es especialmente muy corriente en la perforación por percusión. Se puede economizar tiempo y dinero cuando se toman las medidas necesarias para corregir el alineamiento del pozo tan pronto como se observe alguna tendencia de éste a torcerse. En la perforación por rotación se verifica por lo general únicamente después que se ha introducido el ademe, pero siempre antes que éste sea sellado dentro del agujero por cementación o de alguna otra manera.

METODO PARA CHECAR LA VERTICALIDAD

Enseguida veremos un método sencillo para checar la verticalidad del pozo, este método es muy utilizado por los perforadores de pozos ya que es muy fácil de implementar en el campo. El método está basado en el procedimiento de "Triángulos semejantes".

Para tal fin, se utiliza un triángulo acondicionado en tal forma que cuente con las siguientes partes mostradas en la figura II.9 .

- 1.-Tambor con orificios en forma de cuadro con 4 tornillos a los lados, a 90° para centrarlo en el ademe.
- 2.-Cuadrante o retícula consistente en un cuadro de solera con diagonales en cuyo centro cuenta con un orificio calibrado al diámetro del cable que suspende el calibrador (3). En cada una de las diagonales a 90° se colocan escalas milimétricas común y corriente de 15 cm.
- 3.-Calibrador que determinará las deflexiones del pozo. Su diámetro deberá ser $1\frac{1}{2}$ " menor que el del ademe.
- 4.-Carretilla guía del cable que suspende el calibrador. Esta deberá estar a tres metros del cuadrante.

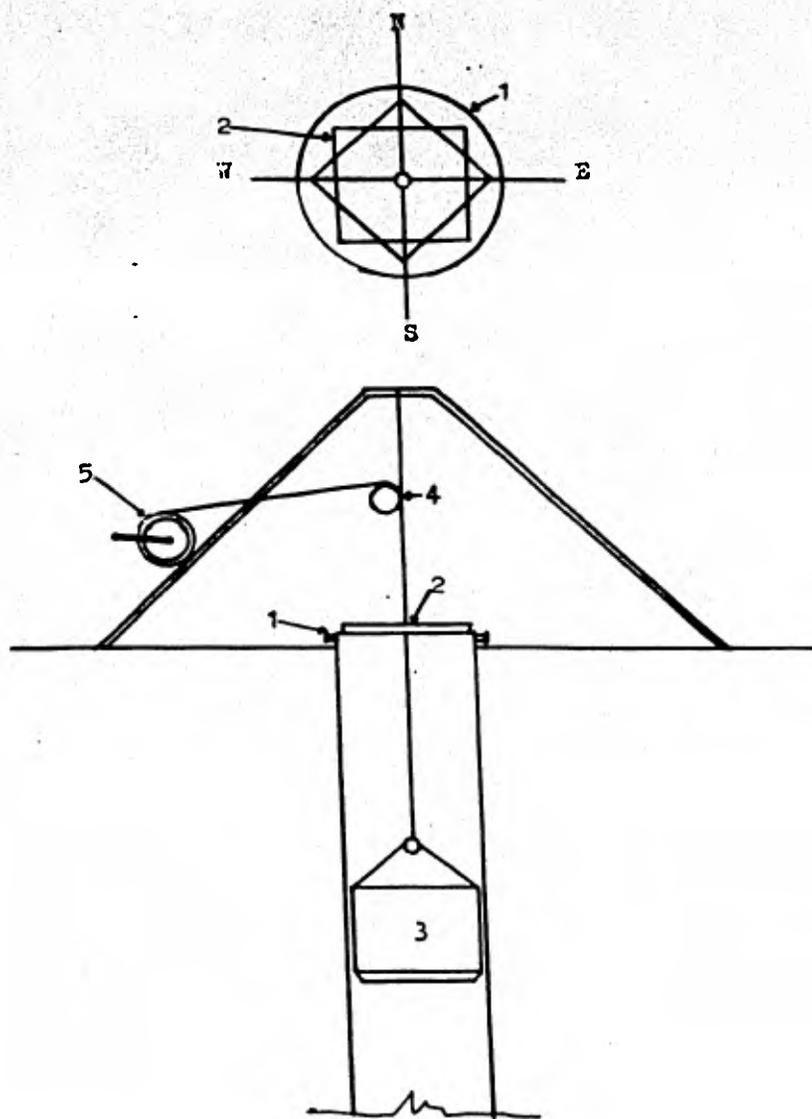


Fig.II.9 Tripié acondicionado que sirve para medir la desviación que sufren los pozos durante la perforación.

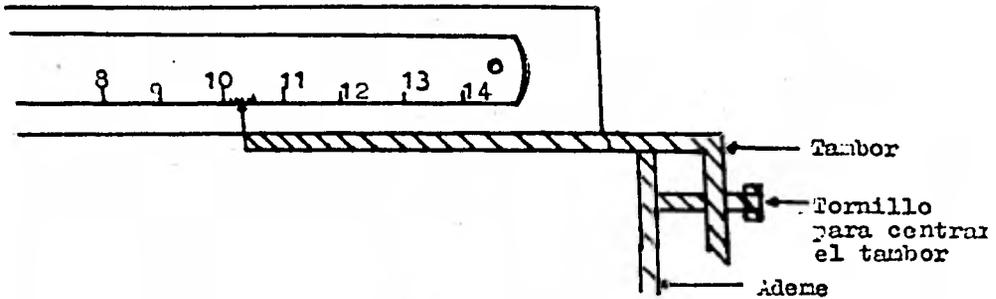


Fig.II.10 Lectura inicial de la cual se restarán las subsecuentes, determinándose así los desplazamientos en el brocal del pozo.

Esta lectura corresponde a 10.3

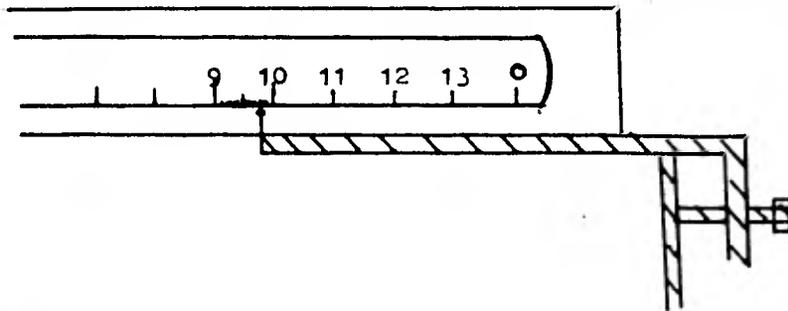


Fig.II.11 Supuestamente esta corresponde a la 2^a lectura 9.3

5.-Carrete o malacate para el descenso y ascenso del calibrador.

Al inicio del registro deberá estar centrado el tambor (1) con relación al ademe. Centrado el cuadrante (2) con relación al tambor. El cable que suspende el calibrador (3) centrado en el orificio del cuadrante. Entre carretilla (4) y cuadrante, deberá haber una separación de 3 metros.

Estando instalado el tripie, como queda dicho, con todas sus partes centradas, se tomarán las primeras lecturas (N-3 y E-7) las que servirán como base para el cálculo de los desplazamientos del calibrador dentro del ademe, de acuerdo con las subsecuentes lecturas cada tres metros. Estas lecturas se tomarán después de mover el cuadrante, según lo pida el cable hasta que quede centrado en el orificio del mismo.

En las figuras II.10 y II.11 se esquematizan las formas en que se toman las lecturas, inicial y subsecuentes. Las que se anotarán en el tabulador que se muestra unas paginas adelante.

Debe tomarse en cuenta que si las diferencias resultarán negativas ésto significá que los desplazamientos o desviaciones son de sur a norte.

Cálculo del desplazamiento (punto) del calibrador con respecto al eje vertical del pozo.

L.- Número de lectura.

N-S.- Lectura inicial de la cual se restarán las subsecuentes.

DIF.- Diferencia entre todas las lecturas referidas a la inicial.

PUNTO.- Desplazamiento del calibrador con relación al eje del pozo.

Producto de la diferencia (DIF.) por el número de lectura (L).

En el ejemplo que se muestra en la figura II.12 puede observarse que los resultados obtenidos por el principio de "Triangulos Semejantes" es el mismo obtenido por el mecánico seguido en la hoja tabulada del registro de campo que se tiene a continuación.

REGISTRO DE VERTICALIDAD

Localidad _____ Nivel Estático _____
 Prof. Reg. _____ Diámetro del calibrador _____
 Diámetro del ademe _____ Fecha _____

L	N-S	DIF.	PUNTO	E-W	DIF.	PUNTO	Prof. m.
1	10.3	0.00	0.00	En la sección E-W			0
2	9.8	0.50	1.00	se sigue el mismo			3
3	9.8	0.50	1.50	método de anota-			6
4	9.8	0.50	2.00	ciones.			9
5	9.8	0.50	2.50				12
6	9.8	0.50	3.00				15
7	9.5	0.80	5.60				18

Supuestamente las lecturas "L" del 2 al 6 fueron iguales.

Cálculo analítico del desplazamiento del calibrador dentro del ademe por el procedimiento de "Triángulos Semejantes".

Suponiendo la línea AB' como el eje vertical del pozo. La línea AC' como la de tierra. CB el desplazamiento del cable en la retícula, se tendrá entonces la siguiente proporción.

$$\frac{AB}{BC} = \frac{AB'}{B'C'} \text{ de donde: } B'C' = \frac{BC \times AB'}{AB}$$

$$B'C' = \frac{3 \times 21000}{3000} = \frac{168}{3} = 56 \text{ mm.}$$

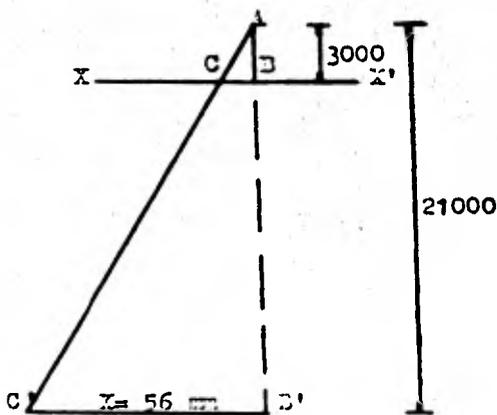


Fig. II.12 Ejemplo basado en el principio de "Triángulos semejantes"

Para formar las gráficas correspondientes, se traza en el dibujo, el eje vertical ideal del pozo señalando en éste - marcas cada tres metros en toda su profundidad, en cada una de - estas marcas se señalará de acuerdo con las escalas adoptadas, - los desplazamientos (PUNTO) a la derecha si la diferencia es positiva, indicando que la desviación es N-S o E-W a la izquierda si la diferencia es negativa significando que la desviación - es S-N y W-E.

Uniendo todos estos puntos se obtendrá el eje real del pozo el cual, desde luego manifestará las deflexiones existentes.

Trazando paralelas a este eje se dibuja con la escala conveniente, el supuesto ademe. Finalmente, uniendo los puntos de tangencia (PT) en los vértices de las deflexiones con líneas paralelas del ademe se obtendrá el diámetro útil del pozo - y por lo tanto el diámetro de la columna de tubería de descarga de la bomba que es factible instalar sin que ésta sufra peligrosas deflexiones.

M. de Prof.

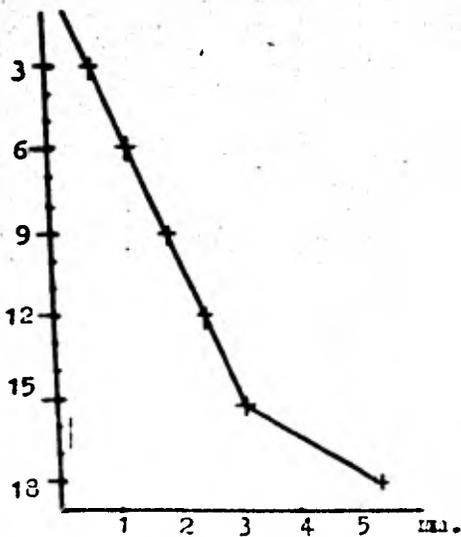


Fig. II.13 Gráfica que muestra la desviación del pozo.

N-S

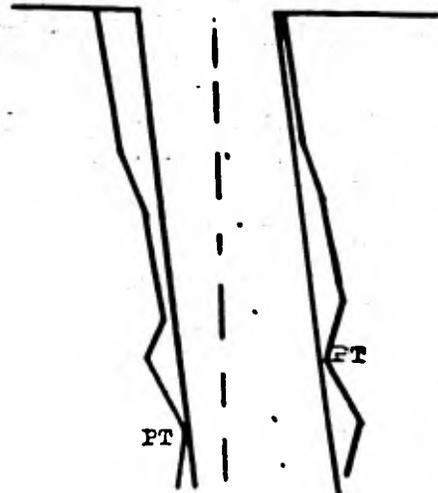


Fig. II.14 Gráfica que muestra el ademe que es factible instalar.

TAPON DE FONDO

Para evitar los arenamientos originados por las turbulencias del bombeo por el extremo inferior del ademe y forzar la entrada de los finos por las ramuras del cedazo durante el desarrollo, se coloca lo que se denomina tapón de fondo. En la porción inferior del ademe, se deposita una lechada agua-cemento cuyo volumen ocupará 1 a 1.5 m. lineales de dicha tubería; el coloadado se realiza en la superficie — preferentemente, pero puede efectuarse dentro del pozo una vez colocada la tubería de ademe. En ningún caso se deberá soldar placas de acero o cortar gajos en el extremo de la tubería en lugar del tapón de cemento, en virtud de que el empleo de esta técnica impide la profundización del pozo, en caso de ser necesario; mientras que el tapón de fondo de cemento es fácilmente perforable.

FILTRO DE GRAVA

Los acuíferos explotados proceden de formaciones aluviales, en las que son frecuentes las intercalaciones de arcillas, arenas y gravas de diferentes tamaños, al realizar el diseño del pozo deberá programarse un espacio-anular entre la tubería de ademe y las paredes del agujero, capaz de permitir la formación de un filtro de grava cuya función es impedir que los materiales finos de la formación, sean arrastrados al interior del pozo durante el bombeo.

Este espacio anular cuyas medidas más usuales son 76.2 mm(3") y 102 mm(4"), deberá ser ocupado preferentemente por gravas de cuarzo, las que por su constitución no son fácilmente cementables; en su defecto, se utilizarán gravas de ríos o arroyos, pero nunca productos de trituración.

Las gravas destinadas para el filtro estarán lavadas, ser arredondeadas y del calibre que especifique el análisis granulométrico o de las aberturas del cedazo; en este caso, se procederá en la siguiente forma: para bancos con granulometría uniforme, se podrá utilizar el material que pasando por la criba de 19.05 mm. (3/4") quede retenido en la de 4.75 mm(3/16"), cuando en los bancos de agregados predominen

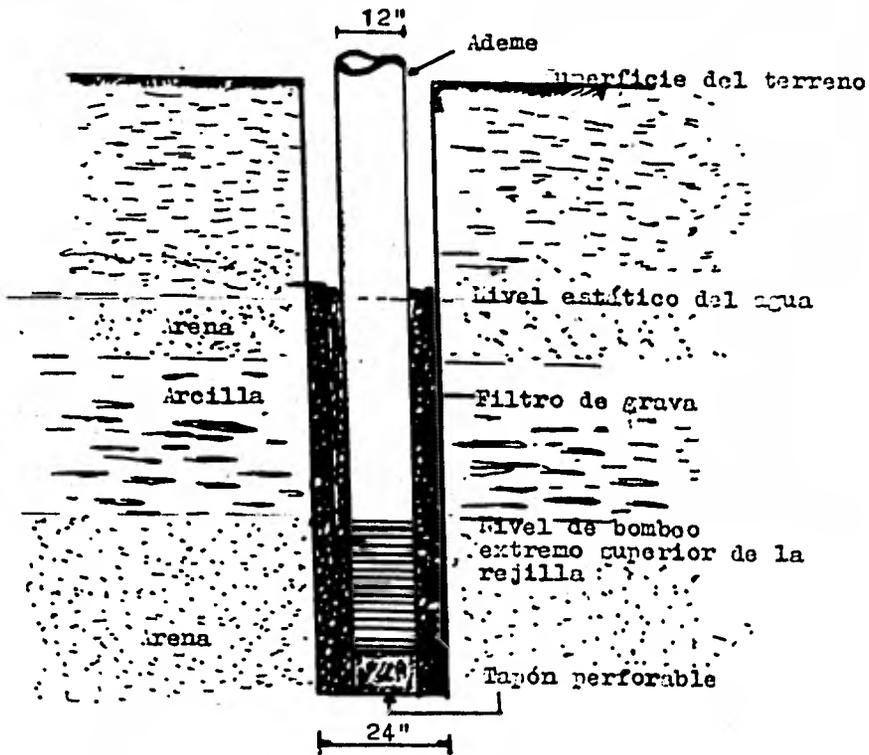


Fig.II.15 El Flujo posible de establecerse entre el acuífero superior e inferior a través del filtro de grava, es reducido.

los tamaños grandes, el filtro quedará compuesto por el 40% de materiales que pasen por la criba de 19.05 mm (3/4") y sean retenidos en la de 9.53 mm (3/8") y el 60% de material que pase por la criba de 9.53 mm (3/8") y sea retenido en la de 4.76 mm (3/16").

Los materiales seleccionados para el filtro deberán revolverse previamente a su colocación en el espacio anular y para vaciarlos deberán utilizarse palas manejadas a mano. Su volumen será equivalente al teórico calculado más el 20% aproximadamente.

Cuando la perforación se ejecute con equipo rotario, después de la colocación de la tubería de ademe y antes de iniciar el engravado, se introducirá la tubería de perforación hasta el fondo del pozo y a través de ella se circulará agua limpia al mismo tiempo que se van depositando las gravas. A medida que éstas vayan bajando, la tubería de perforación se va elevando por tramos, de tal manera que su descarga quede siempre entre 1 y 3 metros abajo del nivel del filtro.

Si la perforación se realiza con equipo de percusión, al mismo tiempo que se vaya engravando el pozo, se extraerán de él por medio de cuchareo los finos que se vayan introduciendo. Durante este proceso periódicamente deberá sondearse el pozo para verificar el nivel de las gravas.

Una vez que el espacio anular a sido totalmente ocupado, para eliminar "puentes" y formar correctamente el filtro, es indispensable agitar el pozo.

Esto puede ejecutarse mediante el empleo de un pistón o aire comprimido. En el primer caso, deberá pistonearse el pozo de abajo hacia arriba empezando por el fondo, en tramos aproximados de 10 m. y en períodos de una hora, hasta alcanzar el nivel estático o el nivel inferior de la tubería lista.

Cuando se emplea aire comprimido la operación se realizará utilizando dos tuberías; una de inyección y otra de descarga, debiendo tener ambas aproximadamente la misma longitud y como única condición, que al encontrarse sumergidas dentro del agua del pozo, la capacidad de la fuente de aire com-

primido sea lo suficientemente capás para que al ser inyectado se obtenga en la descarga una emulsión de agua-aire que provoque el arrastre de los materiales que se encuentran en el interior del pozo. Iniciada la operación, las tuberías se harán ascender del fondo del pozo a la superficie a medida de que el agua expulsada vaya saliendo limpia y libre de sólidos en suspensión; continuándose así hasta llegar al contacto de la tubería ramurada con la tubería lisa.

En ambos casos, a medida que las gravas descienden por el espacio anular éstas deberán reponerse hasta alcanzar el nivel del terreno y se establezca en él.

LIMPIEZA

Terminado de engravar el pozo, se procederá a limpiar el interior del mismo extrayendo todos los materiales y lodos que hayan quedado procedentes de la perforación.

Esta labor se ejecutará mediante la circulación de agua limpia con la bomba de lodos, o empleando la cuchara de perforación.

A continuación se efectuará un tratamiento a base de dispersor de arcillas con una proporción de 20 litros por cada 30 m. Este tratamiento podrá auxiliarse con aplicaciones de hieló seco en cargas variables desde 50 hasta 500 kg.

Una vez terminado el tratamiento anterior se procederá a "pistonar" el pozo, utilizando un pistón debidamente ajustado al diámetro del ademe por medio de empaques de hule o cuero, a fin de realizar una agitación enérgica.

La maniobra de agitación deberá iniciarse efectuando durante un tiempo razonable el movimiento recíprocante del pistón, empezando por la parte baja de los cedazos. Esta operación se repetirá elevando de diez en diez metros el pistón, hasta alcanzar la tubería ciega superior del pozo o bien el nivel estático del agua si se encuentra a un nivel inferior al de la tubería ciega.

Periódicamente, se limpiará el pozo, mediante cuchara de los sedimentos que tenga.

Una vez terminadas las etapas señaladas, el pozo se dejará reposar un mínimo de 36 horas con objeto de que el

agente dispersor de arcillas complete su acción.

Posteriormente debe lavarse de nueva cuenta el pozo ya sea mediante "pistoneo" o circulación de agua, a fin de retirar los residuos provocados por la acción del dispersor de arcillas.

Antes de que el equipo de perforación pueda retirarse es necesario que se rectifique nuevamente la profundidad del pozo.

Finalmente debe soldarse una tapa con cordón, con tñmo, como medida preventiva para la conservación del pozo.

PROGRAMA Y AVANCE DE TRABAJO

Contrato:

Localidad:

CONCRETO	DIAS CALENDARIO		
	15	30	45
1.-Transporte de equipo	1		
2.-Instalación del equipo y operaciones previas	3		
3.-Perforación exploratoria 12"		21	
4.-Ampliación 12"φ a 17"φ			35
5.-Ampliación 17"φ a 26"φ			36
6.-Ampliación ___φ a ___φ			33
7.Colocación contenedores y cementación.			42
8.-Suministro y colocación de ademe.			45
9.-Engrape, limpieza, desazolve, desenrollado y aforo.			

CAPITULO III

REHABILITACION Y TRATAMIENTO

Es muy frecuente por no decir que en condición general los pozos de agua funcionan deficientemente a través del tiempo debido a una o varias razones primordiales, algunas de las cuales son técnicamente controlables, con independencia de las condiciones geohidrológicas, que, naturalmente no pueden ser modificadas más que en una mínima proporción. Sin embargo, suponiendo que el acuífero es aceptable, ocurre a veces que el pozo no lo es debido a:

- 1.- Diseño inadecuado del pozo.
- 2.- Deficiencias de construcción.
- 3.- Mala selección de la bomba.

4.- Obturación de los poros del filtro de grava, del propio acuífero, o de la porción filtrante del ademe, por materiales finos arrastrados por el flujo del agua hacia el pozo, o por incrustaciones de elementos precipitados químicamente (carbonatos y óxidos de Fe principalmente).

- 5.- Por corrosión de la tubería.

Todos los puntos anteriores mencionados pueden ser controlados por lo menos parcialmente, si la obra de captación se ejecuta de acuerdo a las técnicas modernas de construcción de pozos.

El diseño inadecuado del pozo siempre acarrea graves consecuencias para la obra, y pudiendo variar desde un pozo inoperante, hasta pozos de corta vida debido a arrastres de arena, incrustación ó corrosión.

Aún cuando el pozo esté diseñado correctamente, puede funcionar ineficazmente debido a fallas constructivas, - las más frecuentes son:

- a).- Utilización de lodos de perforación inadecuados, que no son extraídos al concluir la perforación y sellan los acuíferos en la proximidad del pozo.
- b).- Pozos desviados de la vertical.

La selección de la bomba deberá hacerse por una persona con experiencia y a partir de datos de aforo realmente representativos del funcionamiento del pozo, por lo que, di

cho aforo deberá realizarse con cuidado y sin escatimar el tiempo en que se lleva a cabo.

La obturación de poros o de la porción filtrante, depende en gran medida al diseño y construcción del pozo, pero influyen también el tiempo de operación, pues aún pozos buenos se van taponando con materiales finos al cabo de cierto tiempo, mismo que, será mucho más largo cuanto mejor sea el pozo.

Por lo que respecta a la incrustación, depende esencialmente de la calidad química de las aguas, pero es un hecho comprobado que pozos eficientes tardan más tiempo en incrustarse. Esto es válido también para la corrosión.

Básicamente todos los procesos de rehabilitación - mecánica, se basan en invertir alternativamente la dirección -- del flujo de agua en el interior del pozo, provocandose el movimiento de los finos hacia él; estos finos posteriormente son expulsados a la superficie. La eliminación de dichos materiales - implica generalmente un aumento en el caudal obtenible para un determinado descenso del nivel de agua, o con un incremento de la capacidad específica del pozo.

Pozos en operación, bien diseñados o construídos reciben una notable mejoría y tienen una operación mucho más - prolongada si cada 5 años más o menos se someten a un tratamiento de rehabilitación. Pozos mal diseñados o construídos requieren de rehabilitaciones en intervalos de tiempo más cortos dependiendo de su ineficiencia.

La mayoría de los métodos utilizados en las rehabilitaciones son los mismos que los que se emplean en el desarrollo, por lo cual en este capítulo solo mencionaremos los tratamientos más frecuentes a base de productos químicos. Los cuales han demostrado obtener magníficos resultados en el rendimiento de pozos, en el capítulo siguiente se mencionarán los métodos más frecuentes en rehabilitaciones y desarrollo, enumerando sus ventajas e inconvenientes. La diferencia entre desarrollo y rehabilitación estriba en que el desarrollo debe efectuarse inmediatamente después de terminada la perforación y las rehabilitaciones se deben efectuar cada cierto período de tiempo, cuando se juzgue que por la explotación del pozo, las condiciones originales del acuífero han cambiado y como consecuencia su ren-
di-

miento a bajado, es entonces cuando los métodos de rehabilitaciones tienen gran importancia.

TRATAMIENTOS QUÍMICOS

Cuando se está tratando por vía química un pozo, nunca debe suponerse que la solución química pueda desplazarse fácilmente hacia los vacíos de la formación acuifera, uniformemente en todas direcciones y por dentro de todo el espesor del estrato productor. Las soluciones químicas fluirán más fácilmente a través de aquellas áreas en que la formación se halla más abierta, o sea, donde la resistencia al flujo es mínima.

La primera aplicación de soluciones limpia las áreas más abiertas de la formación aumenta su permeabilidad. Como resultado de ello, la segunda dosis de reactivo es más susceptible de fluir a lo largo de las mismas trayectorias, a menos que sea vigorosamente agitada y de alguna manera forzada, a que una parte de ella se desplace hacia zonas no rehabilitadas por la primera dosis.

TRATAMIENTO CON ACIDO

Por lo general, se emplea el ácido clorhídrico — (muriático) que contenga un inhibidor apropiado, en los tratamientos de pozos, el cual disuelve fácilmente los carbonatos de calcio y de magnesio. El inhibidor sirve para anular la tendencia del ácido a atacar el ademe del pozo, evitando así daños serios a la tubería durante el tratamiento.

La incrustación del tipo de carbonatos se elimina eficazmente introduciendo ácido en el pozo, desplazándolo por las aberturas de la rejilla hacia los vacíos de la formación, y luego extrayendo por bombeo, cualquier materia extraña desprendida. Cualquier buen procedimiento resulta bien, pero deben emplearse técnicas adecuadas para lograr un efecto óptimo.

Los hidróxidos de hierro y de magnesio y sus óxidos son también muy solubles en ácido clorhídrico. Sin embargo, si el PH se halla por arriba de 3, éstos precipitan en la solución ácida. Para eliminar estos compuestos, deberá mantenerse entonces la concentración debida del ácido, hasta que é

te se extraiga del pozo, por bombeo. Para ayudar a mantener el hierro en solución, deberá agregarse al ácido, un estabilizador. Para este propósito, se usan las sales de Rochelle.

Aunque las incrustaciones de hierro y de manganeso son solubles en ácido, algunas veces el tratamiento con éste no ha dado buenos resultados, cuando esas sustancias son la causa de la obstrucción. Algunas de las fallas se deben posiblemente a una técnica defectuosa de tratamiento, pero pareciera que es preferible el empleo de otro método de tratamiento con ácido en condiciones iguales.

El ácido muriático comercial se encuentra disponible en tres concentraciones en que lo preparan los fabricantes. Es preferible usar la concentración más alta, la cual se designa como de 27.92 por ciento de ácido puro. El ácido se vende en recipientes ya sea de vidrio o de material plástico, con un contenido de unos 45 l. Si no se puede obtener ácido con inhibidor, se puede introducir un inhibidor de manufactura casera, que consiste en usar gelatina knox. Se puede evitar cualquier daño serio del ademe, provocado por el ácido, agregando a — 1,000 l. de ácido, unos 6.8 kg. de gelatina disuelta en agua tibia.

USO DEL ACIDO MURIATICO

El ácido debe usarse a plena concentración. En la mayor parte de los casos, la cantidad de ácido que se necesita para un sólo tratamiento es de 1.5 a 2 veces el volumen de la columna de agua contenida en la rejilla. Esta dosis asegura que la rejilla quede llena, y que se suministra el ácido adicional para mantener la solución a la concentración correcta, conforme el reactivo reacciona con los materiales incrustantes.

Debe emplearse tubería de hierro negro o de material plástico, de 19 mm (3/4 pulgadas) o de 25.4 mm (1 pulgada) de diámetro y de suficiente longitud para alcanzar el fondo del pozo. La introducción del ácido en la tubería de alimentación se facilita con el uso de una te de plomería grande y de un embudo. No deberán emplearse tubería ni accesorios galvanizados.

Si la rejilla del pozo es de una longitud mayor —

que unos 1.2 ó 1.5 m. resulta mejor vaciar suficiente ácido para llenar alrededor del 1.5 m. de la rejilla; haciendo subir la tubería de alimentación, unos 1.5 m., para agregar ácido nuevamente, y continuar en esta manera, hasta saturar toda la rejilla. El ácido es más denso que el agua, y desplazará a ésta, pero al mismo tiempo, se mezcla de inmediato con el agua, por lo que fácilmente se diluye.

Tan pronto como sea posible, deberá procederse a agitar el ácido de una u otra manera. El empleo de una máquina de perforar facilita la labor. La instalación y el retiro de la bomba, más el manipuleo de la tubería y de las herramientas utilizadas en el tratamiento, pueden hacerse más fácilmente con la máquina, además, se necesita la cuchara de achicar, para extraer la solución gastada, los incrustantes que se hubiesen desprendido y la arena contenida en el pozo.

El ácido deberá agitarse dentro del pozo, por una o dos horas. Luego deberá achicarse. El achicamiento deberá continuarse hasta que el agua se halle relativamente clara. Mientras se maneja la cuchara el perforador podrá cerciorarse de si el primer tratamiento ha mejorado el rendimiento del pozo.

El tratamiento deberá en seguida repetirse, usando la misma cantidad de ácido de alta concentración. La agitación de la segunda dosis puede extenderse por mayor tiempo antes de proceder a achicar el pozo. Si se observa que es posible mejorar aún más la condición del pozo, puede aplicarse un tercer tratamiento.

Una variante del procedimiento, consiste en alternar el tratamiento con ácido, con la aplicación de cloro, repitiendo la combinación cuantas veces pareciera que se están obteniendo resultados benéficos. El ácido disuelve de inmediato los carbonatos de calcio y de magnesio, en tanto que el cloro elimina la gelatina depositada por la bacteria ferrosa.

EMPLEO DEL ACIDO SULFURICO

El ácido sulfúrico, usado ampliamente en los últimos años a esp. la limpieza con ácido de diversos tipos de equipos industrial, ofrece ciertas ventajas para el tratamiento de

los pozos de agua. El ácido sulfámico es un material granular, seco, que se transforma en un ácido líquido fuerte cuando se disuelve en agua. La solución puede prepararse en el sitio de la obra. Esto constituye una verdadera ventaja, puesto que el transporte y el manejo del material, en un trabajo determinado, se facilitan. El ácido sulfámico puede prepararse a una concentración que produzca resultados comparables con los del ácido clorhídrico.

El ácido sulfámico no debe confundirse con el ácido sulfúrico, aunque sus nombres se parezcan. El ácido sulfúrico se usa solo ocasionalmente en el tratamiento de pozos. Una de las razones para ello, es la que reacciona con el carbonato de calcio formando sulfato de calcio, el que a su vez es muy poco soluble en agua.

La reacción del ácido sulfámico con los carbonatos de calcio y de magnesio, produce sulfatos de calcio y de magnesio, los cuales son altamente solubles en agua. Su actividad es un poco más lenta que la del ácido clorhídrico (muriático) especialmente a las temperaturas que de ordinario prevalecen en los pozos. Por lo tanto se requiere de un período de tiempo en contacto algo mayor.

El ácido sulfámico ataca a los metales más lentamente de como lo hace el ácido sulfúrico. Sus efectos corrosivos sobre el adobe del pozo y el equipo de bombeo, es marcadamente menor. El ácido sulfámico, a temperaturas ordinarias, ejerce muy poco o nada de efecto sobre las rejillas de pozo fabricadas con Ever ur o acero inoxidable del tipo 304. Las rejillas de pozo hechas de estos materiales pueden sin peligro ser tratadas repetidas veces con ácido.

La tabla muestra la solubilidad del ácido sulfámico granular en agua, a diversas temperaturas y la concentración ácida de la solución que se obtiene. Nótese que a 16°C, el agua disuelve alrededor de 200 gramos de material granular por cada litro, o sea, cerca de un 20 por ciento por peso. Para el tratamiento ácido de los pozos de agua, la solución debe usarse a su máxima concentración.

Solubilidad en agua del Acido Sulfámico

Temperatura	5°C	10°C	16°C	24°C
Peso del ácido seco por cada				
100 litros de agua	17kg.	18kg.	20kg.	23kg.
Concentración ácida de la solución saturada	14%	15%	17%	19%

El ácido sulfámico puede introducirse de cualquiera de dos maneras, dentro del pozo que se va a tratar. El método usual consiste en mezclar con agua el material granular dentro de un tanque y vaciar o sifonear el ácido en forma líquida, en el pozo. Para colocar el ácido dentro de la rejilla, en el pozo. Se puede utilizar tubería ya sea de hierro negro o de plástico.

En lugar de preparar la solución dentro de un tanque, se puede vaciar el mismo material granular dentro del pozo y mezclarlo con el agua contenida en éste. Agitando un poco el agua, se logra disolver completamente el ácido. La cantidad de ácido que en este caso debe agregarse, se calculará con base en el volumen de agua que se encuentra dentro del pozo.

Agregando al ácido un agente humedecedor, se mejora la acción de limpieza hasta cierto punto. Este agente debe ser tal que el agua no lo disocie. Además, deberá ser de baja producción de espuma, y no iónico.

El costo del ácido sulfámico es más alto que el del ácido clorhídrico inhibido (muriático) pero varias de sus ventajas contrarrestan esto. Los costos de transporte son menores. Su manipulación es más fácil, más económica y más segura. No hay peligro al vaciarlo. Ni el ácido sulfámico ni el agua de la solución de éste producen vapores, excepto al reaccionar con los materiales incrustantes.

El ácido sulfámico en forma granular no irrita la piel seca. Al diluirlo en agua, el ácido puede manejarse al igual que los otros ácidos fuertes. Deberán usarse gafas -

protectoras y guantes impermeables.

La reacción de un ácido de tipo cualquiera, en un pozo, produce un volúmen considerable de dióxido de carbono y generalmente, algo de hidrógeno. El hidrógeno sulfuroso, un gas hediondo y muy tóxico, se produce como resultado de la reacción entre el ácido y el sulfuro de hierro, si este último se halla presente. Deberá proveerse suficiente ventilación de las casas de bombas y de cualquier otro espacio cerrado.

Nunca deberá permitirse al personal permanecer dentro de un foso, o depresión del terreno alrededor del pozo, durante la aplicación del procedimiento, ya que el dióxido de carbono y el hidrógeno sulfuroso son más pesados que el aire y tenderán a depositarse en el foso o en cualquier área baja.

Una de las aplicaciones convenientes que tiene el tratamiento con ácido de una rejilla de pozo es la de aflojar ésta antes de extraerla de éste, si ello fuese necesario. Ocasional mente, se desea retirar la rejilla para utilizarla de nuevo en otro sitio. El adambrado del pozo podría hallarse en malas condiciones o cualquier otra circunstancia puede hacer necesario retirar la rejilla, el tratamiento preliminar con ácido, disuelve las incrustaciones, y facilita mucho la extracción.

TRATAMIENTO CON CLORO

Los desarrollos bacteriales, y los depósitos viscosos acompañados por deposiciones de óxido de hierro, que algunas veces causan una seria obstrucción del intervalo de captación de un pozo, no puede eliminarse fácilmente mediante el tratamiento a base de ácido. El ácido probablemente mata bacterias, pero no permite una fácil eliminación de la viscosidad.

Se ha encontrado que el cloro es más eficaz para desprender este tipo de obstrucción. El cloro mata a la bacteria y al mismo tiempo produce un efecto de "combustión" de la viscosidad causante de la obstrucción, ya que el cloro es un fuerte agente oxidante.

Debe utilizarse suficiente cloro para lograr lo que apropiadamente podría definirse como un tratamiento súbito.

Se necesitan concentraciones de cloro del orden de 100 a 200 ppm de cloro libre. Puede usarse también hipoclorito de calcio o de sodio. Cualquiera de los dos puede introducirse en el pozo, ya sea directamente, o en solución. El cloro gaseoso es más eficaz, pero el instrumental que se necesita para manejarlo y dosificarlo, no siempre está a la disposición. Además debe colocarse en el pozo en solución acuosa, ya que el gas es muy corrosivo, como peligrosamente tóxico cuando se inhala.

La solución de cloro puede introducirse en el pozo a través de una tubería plástica de pequeño diámetro. Se sabe que para producir buenos resultados en un pozo grande, se requiere utilizar de 14 a 18 kg. de cloro, agregándolos lentamente durante un período de tiempo de 10 a 12 horas. Los pozos menores necesitan menos cantidad de reactivo. No es necesario retirar la bomba, pero la tubería que conduce la solución de cloro hasta el pozo deberá colocarse en una posición tal que la solución concentrada de cloro no haga un contacto directo con ninguna parte de la bomba, del ademe o de la rejilla. Una vez que la solución se haya mezclado con el agua del pozo como para que la concentración se reduzca a menos de unas 500 ppm, el efecto corrosivo disminuye. Después de introducida, la solución de cloro debe obligarse a pasar a la formación acuífera, agregando un volumen considerable de agua. Para este propósito deberá usarse de 50 a 100 veces el volumen de agua contenido en el pozo.

Cuando se usa el hipoclorito de calcio como fuente de cloro, la cantidad debe ser adecuada a la obtención de una concentración apropiada. El hipoclorito de calcio contiene alrededor de un 80 por ciento de cloro activo, cuando se disuelve en agua. Con unos 18 a 23 kilogramos, puede tratarse con eficiencia un pozo de tamaño grande.

Si la bomba ha sido retirada del pozo durante la operación de limpieza, se deberá agitar la solución de cloro por cualquiera de los métodos que se han sugerido para el tratamiento con ácidos. Si la bomba permanece dentro del pozo, podría ser posible agitar ocasionalmente éste durante el tratamiento, encendiendo el motor de la bomba para levantar la columna de agua casi hasta la superficie y luego deteniéndose el

bombearo repentinamente para que el agua se precipite hacia abajo. Este método de agitación no es tan vigoroso como el que se podría aplicar si la bomba hubiese sido retirada, pero puede utilizarse cuando no resulta práctico extraer y reinstalar la bomba.

Deberán realizarse unas tres o cuatro aplicaciones sucesivas de cloro. Mediante tratamientos repetidos, se logra mayor oportunidad de que la solución química sea arrastrada a todas partes de la formación que rodea al pozo y que pudiera hallarse obstruida por la proliferación de la bacteria productora de viscosidades. Los tratamientos alternados con ácido y cloro resultan altamente eficaces. El tratamiento con ácido deberá realizarse primero, seguido de otro a base de cloro.

Los polifosfatos actúan en forma muy parecida a como varios detergentes domésticos realizan su acción limpiadora, excepto que las soluciones que se emplean en el tratamiento de pozos no producen efervescencia o espuma. La formación de espuma es inconveniente durante la limpieza de un pozo, porque interferiría con la agitación mecánica de la solución, dentro de aquél.

USO DE LOS POLIFOSFATOS CRISTALINOS

Los fosfatos cristalinos (polifosfatos) resultan muy útiles en el tratamiento químico de los pozos, ya que disuelven con efectividad el hidróxido de hierro, el óxido de hierro, el hidróxido de manganeso, los limos y las arcillas. El tratamiento con uno de los polifosfatos, complementando con una vigorosa agitación, es muy eficaz para eliminar toda clase de materiales. Una de las ventajas importantes del uso de los polifosfatos es la que estos reactivos químicos son muy seguros de manejar.

La solución de fosfato no disuelve la incrustación tal como lo hace el ácido, por lo que no se manifiestan vapores o ebullición. La acción limpiadora de este reactivo es enteramente cosa de romper los materiales incrustantes y dispersarlos a que la bomba los extraiga del pozo. Esta breve descripción de la acción de estos reactivos, demuestra que cuando

se usan polifosfatos, se debe agitar vigorosamente la solución, como parte esencial de las operaciones de limpieza. .

Para cada 100 litros de agua, deberán utilizarse de 1.8 a 3.6 kg. de polifosfato. El fosfato deberá disolverse en un tanque o en barriles, e introduciendo en el pozo en forma de solución. Al disolverlo, deberá suspenderse el polifosfato cristalino dentro de un cesto de alambre o en una bolsa de arpillera, y no simplemente lanzarlo al tanque.

Cuando se usa el polifosfato cristalino, deberá agregarse una pequeña cantidad de hipoclorito de calcio. Este reactivo sirve para clorar el pozo y elimina la bacteria ferrugosa o cualquier otro organismo productor de viscosidades que se halle presente. Alrededor de 120 gramos de hipoclorito deberán usarse para cada 100 l. de agua contenida en el pozo.

Algunos recomiendan que se utilice la bomba para agitar la solución de polifosfato e hipoclorito. Se puede mejorar la efectividad del tratamiento retirando la bomba del pozo y empleando métodos más convencionales de agitación. La agitación mediante un bloqueo de pistoneo, un compresor de aire o el procedimiento de chorros horizontales de agua puede resultar mucho más eficaz, estos métodos producen un movimiento más vigoroso y turbulento de la solución por entre las aberturas de la rejilla. Como resultado de ello, aumenta la oportunidad de romper y dispersar los materiales incrustantes.

Deberán realizarse dos o más tratamientos sucesivos. Como en el caso del tratamiento de cloro, la repetición brinda mayor oportunidad de que la solución química sea arrastrada a través de un mayor volumen de la formación que rodea al pozo. El tiempo total durante el cual debe permanecer la solución dentro del pozo, es de alrededor de 24 horas.

Toda la anterior discusión referente a los diversos tratamientos químicos que se pueden emplear para eliminar las introducciones incluye sugerencias para agitar físicamente la solución dentro del pozo. La eficacia de cada uno de los procedimientos se aumentan grandemente con una vigorosa agitación.

AGITACION FISICA

Los métodos para agitar las soluciones químicas que se agregan para la eliminación de materiales incrustantes son los mismos que se desarrollan en un pozo recién terminado.

La agitación de la solución del reactivo químico puede lograrse mediante el empleo de un bloque de pistoneo, - aire comprimido o chorros de agua de alta velocidad dirigidos horizontalmente. Una ligera agitación puede efectuarse con una bomba para pozo del tipo de turbina vertical.

Al aplicar estos métodos en el tratamiento de pozos, ello implica ciertos cambios pequeños en los detalles de operación. Por ejemplo cuando se usa aire comprimido para agitar la solución química, el trabajo debe manejarse en tal forma que la solución no sea expulsada del pozo antes de que expire el período necesario de contacto. Si una gran cantidad de solución es extraída cada vez que el agua es puesta en suspensión por el aire, se desperdiciaría mucho material.

Cuando se agita mediante los chorros de alta velocidad, es conveniente bombear ligeramente el pozo al mismo tiempo. No siempre esto es posible, pero deberá hacerse cuando el diámetro del pozo, el equipo disponible y la elevación del nivel estático lo permitan. Con esta operación, el eyector introduce agua en el pozo a razón de 100 a 400 l. por minuto, - dependiendo del diámetro de las boquillas del eyector y de la presión de la bomba.

Si el caudal que se bombea del pozo es un poco mayor que el que descarga el dispositivo productor de los chorros, el nivel dinámico en el pozo se mantendrá por debajo del nivel estático y lentamente fluirá desde la formación del pozo.

Este desplazamiento del agua hacia el pozo a través de las aberturas de la rejilla, arrastran con sígo cierta materia extraña que se desprende por la acción de los chorros. A su vez, el agua que se bombea del pozo, provee también un abastecimiento continuo que puede hacerse recircular y utilizarse para continuar con la operación a chorro, Cualquiera cantidad de arena fina puede hacerse sedimentar en un tanque o en

una fosa excavada, para evitar así el dañar la bomba o el e-
yector.

La recirculación mejora grandemente la eficacia del tratamiento con polifosfatos. Esta también es de desear, cuando se emplea el tratamiento con cloro.

La recirculación no resulta práctica, cuando se usa ácido, debido al efecto corrosivo del mismo en la bomba y el peligro de que el personal corra riesgos. Si el trabajo requiere la aplicación de chorros con ácido, es mejor llamar a una empresa de servicios de pozos, que disponga de equipo idóneo para esta clase de trabajo.

Una manera de mejorar la eficacia del tratamiento con ácido, cuando se emplea la técnica de los chorros de agua, consiste en vaciar primero el ácido dentro del pozo y luego aplicar los chorros de agua. No debe intentarse recircular la solución ácida. Una presión de 7 kg/cm^2 en la bomba, es suficiente para este tipo de operación.

El diseño de la rejilla influye considerablemente en los resultados que se pueden obtener con el procedimiento de los chorros de agua horizontales. La fuerza del chorro debe proyectarse a través de las aberturas de la rejilla. Una rejilla que contenga el mayor porcentaje de área abierta obviamente producirá el efecto máximo en la arena que se halla en torno a ella.

IMPORTANCIA DEL DISEÑO DE LA REJILLA

El tipo de rejilla de ranura continua tiene las características que permiten la máxima eficiencia de operación cuando se limpia con el sistema de chorros de agua. Las rejillas de base o núcleo tubular ofrecen muy poca área abierta mediante las perforaciones de la tubería.

Las rejillas del tipo celosía exponen al chorro una superficie metálica casi en su totalidad ciega. No puede esperarse que el empleo de los chorros de agua ofrezcan buenos resultados en el caso de los pozos que se hayan acondicionado con este tipo de rejillas.

La forma de las aberturas de la rejilla, es otro

factor de importancia que, conjuntamente con el porcentaje de área abierta, incide directamente con la eficiencia de la agitación por chorro. El mejor tipo de abertura es la ranura en V, que se ensancha hacia el interior de la rejilla. Cuando se proyecta el chorro a través de estas aberturas en forma de V, el contorno preciso de la abertura de la ramura concentra el efecto de la vena de agua cual si fuese un segundo chorro. Otro tipo de aberturas tienden a dispersar el chorro de agua, reduciendo su fuerza antes de que este alcance las incrustaciones de arena por fuera de la cara exterior de la rejilla.

La tabla de la página siguiente muestra algunos de los resultados que se han obtenido mediante la aplicación de chorros de agua a la limpieza de pozos en dos estados distintos en los Estados Unidos.

Alrededor de 3 de los 10 trabajos en que se ha empleado la técnica de los chorros de agua han demostrado buenos resultados. No se presentan datos de experiencias tenidas en la República Mexicana, debido a que hasta la fecha son muy escasos.

Resultados de Experiencias de Campo en la Limpieza
de Pozos Mediante Chorros de Agua.

Localidad del pozo	Gibbon Minn.	Bemidji Minn.	Bemidji Minn.	Bemidji Minn.	Frazee Minn.	Fre- mont Mich.	Hesperia Mich.
Año de la perfora- ción	1950	1950	1949	1949	1948	1931	1944
Año del tratamien- to	1952	1955	1955	1955	1955	1952	1952
Capacida- des espe- cíficas ¹ a. cuando nuevo	7.6	10.0	14.2	26.5	75.7	?	?
b. Antes de limpiar- se	1.1	5.1	6.3	3.0	3.8	3.3	2.3
c. Después de limpiar- se	10.1	10.1	15.5	24.5	12.9	5.6	7.6
Contenido de hierro del agua en ppm.	7	-	3	3.5	1.6		

1 Capacidad específica en m³/hora por metro de abatimiento
2 Pozo con filtro de grava, tratando dos veces, antes de -
1955, por otros métodos.

INCRUSTACION DE POZOS PERFORADOS EN ROCA

Aunque esta discusión se ha referido únicamente a pozos acondicionados con rejilla, los pozos que derivan su agua de acuíferos de roca consolidada también sufren el efecto de la incrustación. La ciudad de Lansing, Michigan, disponen de un número de pozos que han sido completados en acuíferos de caliza y que demuestran una disminución de su rendimiento conforme se usan. Estos pozos requieren tratamiento de tiempo en tiempo, a fin de recuperarse de su rendimiento.

El Departamento de aguas de la Ciudad, ha probado con tratamientos químicos, pero las voladuras con nitroglicerina han demostrado ser las más efectivas. Las muestras de areniscas recogidas después de las detonaciones, han indicado que la mayor parte de las incrustaciones se extienden únicamente hasta alrededor de unos 13 cm por fuera de la pared del agujero.

ELECCION DE LA REJILLA

Debe hacerse énfasis en que la incrustación depende de los minerales contenidos en el agua subterránea y hasta cierto punto, de la intensidad con que bombea un pozo. El metal de que esté hecha la rejilla rara vez influye en la manifestación de incrustaciones. Sin embargo, en los lugares en donde la incrustación tiene lugar, es importante escoger metal para la rejilla que sea susceptible de tratarse con ácido sin que se dañe con el tratamiento. Las rejillas fabricadas con aleaciones resistentes a la corrosión, tales como el metal Everdur, o el acero inoxidable del tipo 304, y el bronce rojo al silicio, deberían usarse en todas las instalaciones, excepto en las provisionales.

CAPITULO IV

DESARROLLO Y AFORO.

DESARROLLO.

El desarrollo de un pozo comprende todas aquellas etapas de su completación encaminadas a eliminar los materiales finos del acuífero y, como consecuencia, a limpiar, abrir o ensanchar los pasajes de la formación, de modo que el agua pueda entrar al pozo más libremente. El desarrollo constituye una labor esencial del verdadero acabado de un pozo de agua. Al ser desarrollado, éste alcanza su máxima capacidad.

Con ello, se obtienen casi en su totalidad, tres ventajas a saber:

1. El desarrollo repara cualquier daño u obstrucción que haya sufrido la formación como consecuencia derivada de los efectos de la perforación.
2. El desarrollo aumenta la porosidad y la permeabilidad de la formación natural en los alrededores del pozo.
3. El desarrollo estabiliza la formación granular en torno a la rejilla, de manera que el pozo descarga agua libre de arena. Todos los resultados mencionados se pueden obtener en los pozos perforados dentro de formaciones no consolidadas, si éstos se han enrejillado adecuadamente y se aplican correctamente los procedimientos de desarrollo. Las primeras dos ventajas pueden obtenerse también en aquellos pozos construídos en formaciones consolidadas, cuando los métodos utilizados resultan aplicables a este tipo de roca. El tercer punto no guarda relación con los pozos perforados en roca.

Un pozo acondicionado con una rejilla moderna, destinado a obtener agua de un acuífero arenoso, puede completarse de dos maneras, a saber: una mediante un desarrollo natural, — con el que se logra que el procedimiento en sí utilice los mismos materiales del acuífero para formar una zona de alta permeabilidad en torno al pozo. En esta forma, se obtiene lo que se denomina un pozo desarrollado naturalmente. La completación de este tipo de pozo consiste en la eliminación de las partículas más finas de la formación acuífera, permitiéndoles entrar al pozo a través de las aberturas de la rejilla y luego ser extraí-

das por el achicamiento o bombeo. El proceso de desarrollo debe continuarse hasta que cese el desplazamiento de los finos desde la formación y ésta se encuentre estabilizada, impidiendo así cualquier movimiento posterior de la arena.

La remoción de las partículas más finas deja en su lugar una zona desarrollada naturalmente, constituida por arena o grava uniformemente graduada que rodea al pozo, y tiene una alta porosidad y permeabilidad. En consecuencia, el agua puede desplazarse hacia el pozo a través de esta zona con una pérdida de carga casi despreciable. Ello da por resultado un menor abatimiento dentro del pozo.

Otra manera de proveer una envoltura de material granular altamente permeable alrededor de la rejilla, es por medio de un filtro artificial de grava. El procedimiento consiste en colocar adrede, grava artificialmente graduada, alrededor de la rejilla, en el espacio anular que expresamente se provee con este propósito.

Algunas personas argumentan que el desarrollo resulta innecesario cuando el pozo ha sido dotado de un filtro artificial de grava. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que si se desea obtener la máxima capacidad se debe efectuar el trabajo de desarrollo. Sin embargo el filtro artificial de grava puede crear el siguiente problema.

Cuando se perfora un pozo para acomodar un filtro artificial de grava se forma una delgada película de material impermeable en la pared del agujero. Cuando la grava ha sido colocada en torno a la rejilla, esta película o capa de lodo queda aprisionada entre la grava y la cara de la formación natural. El objetivo principal del desarrollo es el de desprender y eliminar este material.

No importa cuál sea el procedimiento de perforación que se haya empleado, la delgada capa de material aprisionado en la cara exterior del filtro de grava debe ser eliminada. La presencia del filtro artificial de grava dificulta un poco la ejecución del trabajo.

El espesor del filtro de grava, y la graduación del material que se emplea, ejercen un efecto considerable sobre lo

que puede lograr el desarrollo para llevar el pozo a su máxima eficiencia.

Cuanto más delgado es el filtro de grava, más seguro estará el perforador de poder eliminar toda la arena fina indeseable, el limo y la arcilla, al desarrollar el pozo. Los agentes dispersores a base de polifosfatos contribuyen con efectividad a la remoción de limo y arcilla. El desarrollo de un pozo no resulta costoso, si se tienen en cuenta los resultados que se obtienen con ello. Casi cualquier pozo mejora su condición con un adecuado desarrollo.

Sea cual fuese el tipo de pozo, el objetivo primordial del proceso de desarrollo es el de reparar cualquier daño temporal del acuífero.

Todos los métodos de perforación obstruyen los poros de la formación en las inmediaciones del agujero, en mayor o menor grado. Esto se observa fácilmente en el método convencional de rotación, en que el lodo que se utiliza en el procedimiento efectivamente sella la pared del agujero. Los otros métodos de perforación afectan en forma adversa y de una manera u otra la porosidad y la permeabilidad de la formación.

Cuando se hincan tuberías de ademe por el método de percusión, se hace vibrar la arena alrededor de la tubería. Puesto que la vibración es una manera efectiva de compactar los materiales granulares, la operación de hincado acomoda la arena en forma más compacta y reduce su porosidad. Conociendo esto, los perforadores que usan la percusión tratan siempre de hacer descender el ademe dentro de la formación por medios de achicamiento, y colamente cuando es necesario, lo hincan.

Por lo general se observa que las arenas y gravas de los acuíferos no consolidadas han sido depositadas en forma suelta por los procesos de sedimentación. La distribución de los granos es a menudo tal, que la densidad es baja y la porosidad alta. Aunque son muy estables en su condición natural, estos materiales no consolidados pueden llegar a compactarse fácilmente cuando son alterados.

La perforación causa también cierta obstrucción de la tubería en las rocas duras. Cualquier material que haya sido obligado a penetrar dentro de las fracturas y fisuras

de un acuífero constituido por roca dura, deberá ser eliminado mediante el desarrollo.

En la perforación por circulación inversa, se utiliza agua como fluido de perforación sin agregarle deliberadamente arcilla. Sin embargo, durante el proceso de perforación se incorporan algo de lino, arcilla y arena fina, provenientes de las formaciones que se están atravesando. Estos materiales finos son luego recirculados junto con el agua conforme la perforación prosigue.

Parte del agua se pierde dentro de la formación - debido al exceso de presión de fluido que se debe ejercer para mantener libre el agujero. Conforme se pierde agua dentro de la formación, se van depositando en la pared del agujero cantidades variables de lino y arcilla que se han infiltrado. La acumulación de estas finas partículas termina por sellar la pared de la perforación. Este mismo efecto favorece no obstante la perforación misma, evitando la excesiva pérdida de agua.

La película de material que se deposita en la pared del agujero cuando se usa el método de circulación inversa, es eliminada más fácilmente que la pasta de lodo desarrollada por fluido de perforación en el sistema rotario convencional. En cualquiera de ambos casos, tanto la película como la pasta deberán ser eliminadas mediante el desarrollo.

Por lo tanto, el desarrollo obtiene como resultado la eliminación del inevitable "efecto pelicular" y el aflojamiento de la arena al derredor de la rejilla, para recuperar la porosidad perdida. El segundo objetivo busca superar aún el primero y aumentar en forma sustancial la permeabilidad del acuífero en la vecindad del pozo. El comportamiento básico descrito, de un pozo desarrollado en forma natural, es un ejemplo de esta ventaja.

ACCIÓN EN CASO DE LOS GRANOS DE ARENA.

Lo que fundamentalmente se trata de lograr con el desarrollo, es la inversión de flujo a través de las aberturas de la rejilla, para así reacomodar las partículas de la formación. Esto es esencial para romper la forma de arco que en el

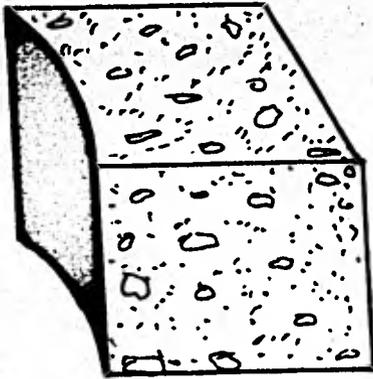


Fig.IV.1 El fluido que se utiliza en la perforación por rotación, obstruye la formación y forma una pasta impermeable de lodo que debe ser eliminada luego mediante el desarrollo.

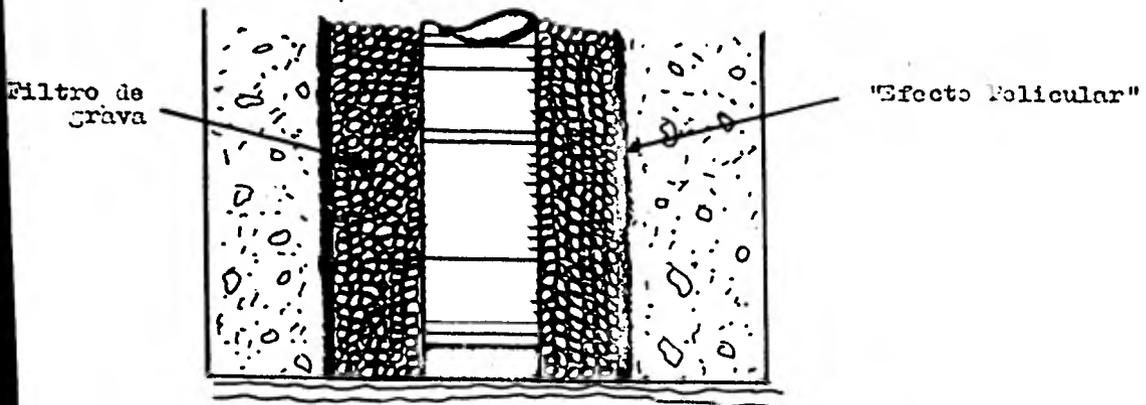


Fig.IV.2 El "Efecto de película" es el resultado inevitable de cualquier perforación, y sella parcial o totalmente la pared del agujero.

ciertos grupos se acomodan cuando el flujo tiene lugar en una sola dirección. Al invertir la dirección del flujo mediante algún tipo de agitación, se elimina esta tendencia. El flujo durante la agitación rompe el efecto de arco, y el aflujo a la rejilla desplaza el material fino hacia ésta y lo atrae al pozo.

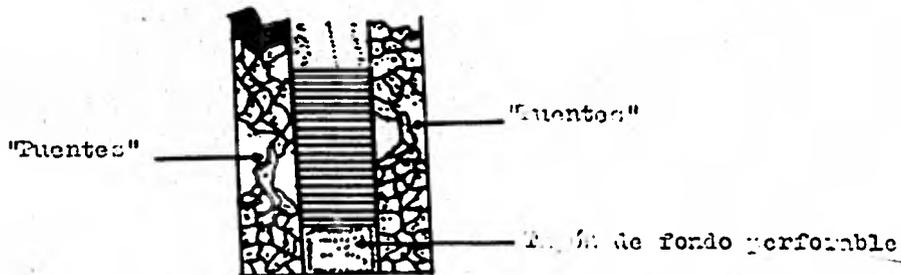


Fig. IV.3 Los arcos constituidos de granos de á en pueden salvar las aberturas sin ser quebrados durante el desarrollo, si el flujo es únicamente en una sola dirección.

Hemos visto pues que el desarrollo, dentro de los trabajos de terminación de pozos es siempre indispensable y de gran rentabilidad en cuanto a rendimiento se refiere. Los métodos de desarrollo de pozos que en general nos ofrecen magníficos resultados en cualquier pozo perforado en materiales granulados o también en algunos materiales rocosos en que se aplican, serán comentados enseguida.

SOBREDOLINEO

Consiste en bombear agua del pozo, provocando un fuerte descenso en él, siempre mayor que el que tendrá durante su operación.

Es un método de desarrollo poco satisfactorio, pues tiene efecto en un sólo sentido (del acuífero hacia el pozo), por lo que se facilita que los materiales finos arrastrados formen "puente" acuíferoso entre los granos. Además el método es poco enérgico, sobre todo en pozos de alta c -

pacidad específica, donde al provocar un descenso significativo requiere de una gran bomba, generalmente difícil de conseguir. El desarrollo puede también realizarse con motor de combustión aumentando revoluciones al motor y si es necesario tazones y columna a la bomba y dispuestos de antemano a tener un desgaste excesivo en el equipo. No deja de ser notable el hecho de que siendo éste el menos eficiente método de desarrollo sea también uno de los más usados.

LAVADO A CONTRACORRIENTE

Todos los métodos de lavado a contracorriente tienden a invertir alternativamente la dirección del flujo de agua en el pozo con lo que se crean turbulencias que provocan agitación y se evitan los "puentes" en el material granular. Arranque y parada de la bomba.

Se efectúan sucesivos arranques y paradas de la bomba de prueba o de la definitiva del pozo, subiendo el agua hasta la superficie para luego dejarla caer nuevamente por la tubería de bombeo. Con esto se invierte periódicamente el flujo del agua en el pozo extrayéndose el asolve con la bomba. Esta extracción de asolve provoca fuertes desgastes de la bomba debido al poder abrasivo del material.

Se tienen tres variantes del método y se escogerá la más adecuada para cada caso en particular:
Máximo descenso y recuperación.

Se hace funcionar la bomba a su máxima capacidad para producir en el pozo el máximo descenso posible. Se interrumpe el bombeo y se deja que el agua recupere su nivel original (nivel estático). Se repite este ciclo mientras se observen señales de mejoría en el pozo.

Con este sistema se consigue una alta agitación en el pozo y una carga hidráulica máxima en la rejilla por lo que resulta un método de desarrollo de pozos eficaz y que no daña mucho la bomba, pero en cambio se requiere generalmente una gran bomba, mayor cuanto mejor sea el pozo, y además un buen desarrollo implica mucho tiempo. Estas características negativas limitan mucho su utilización.

Máximo descenso sin recuperación.

Igual que en el caso anterior se bombea agua hasta lograr el máximo descenso, se interrumpe el bombeo y después de un corto tiempo, antes de que el pozo recupere su nivel, se hace funcionar de nuevo la bomba.

Con éstos frecuentes cambios de paradas y arranques se cambia también constantemente la carga, velocidad y dirección del flujo de agua, con una agitación de la misma casi continua. Este método es más rápido que el anterior y de efectividad semejante, pero tiene la desventaja de castigar mucho el equipo de bombeo con las frecuentes paradas y arranques de la bomba.

Bombeos cortos.

Se bombea hasta que el agua descargue en la superficie, parandose la bomba para que el agua caiga por la tubería de bombeo, repitiéndose la operación todas las veces que sea necesario.

Se producen así oleadas enérgicas y casi continuas y tienen la ventaja adicional de no requerir de equipo especial, como los dos métodos anteriores. En cambio no provoca una carga hidráulica tan grande y el arrastre de finos hacia el pozo es menos abundante; además castiga también mucho la bomba.

En condiciones semejantes éste método es menos efectivo que los dos anteriormente descritos.

LAVADO BAJO PRESIÓN

Los métodos de lavado bajo presión consisten en el bombeo de agua a presión por el interior del pozo por medio de una tubería de pequeño diámetro. Son métodos de desarrollo más vigorosos que los arranques y paradas de la bomba, exceptuando el primero de ellos que se le ha llamado "chorro vertical y pozo abierto", que se recomienda solo como una operación rutinaria al terminar pozos con máquina rotaria y previo al desarrollo más enérgico.

Todos los métodos de lavado bajo presión tienen el inconveniente de requerir de una bomba de inyección más o menos potente, e frentes de azolveo y de succión, etc. Esto implica instalaciones semejantes a las de una perforadora, lo anterior limita éstos métodos por razones económicas a la terminación de

pozos cuando los trabajos se realizan con la misma perforadora. Otro inconveniente adicional es la necesidad de grandes cantidades de agua para poder reponer la que cargada de azolves se extrae del pozo.

Existen tres variantes del lavado bajo presión.

Chorro vertical y pozo abierto.

Se manda una línea de inyección, abierta en su extremo inferior, hasta el fondo del pozo (generalmente tubería de perforación) y por ella se manda agua a la máxima presión posible; el agua con el azolve sale por el espacio anular. Se logra mayor efectividad si frecuentemente se suspende la inyección para dejar caer la columna de agua contra el acuífero provocando agitaciones en el pozo. Es un sistema de desarrollo no muy efectivo, pero muy recomendable como lavado preliminar inmediatamente a la terminación del pozo, para eliminar la mayor parte de lodos, necesarios en la perforación con máquina rotatoria.

Chorro vertical y pozo cerrado.

Esencialmente la instalación es la misma, pero con la variante de que aquí se cierra herméticamente la boca del pozo dejándole una descarga lateral provista de válvula. Con la válvula cerrada se inyecta presión al pozo y se abre la válvula de descarga cuando tengamos una presión fijada que nos pueda proporcionar el equipo, extrayéndose así los materiales finos. Se repite la operación las veces que sea necesario iniciándose con presiones bajas que aumentaran paulatinamente.

Con éste método se inyecta agua en el acuífero cuando se levanta presión, agua que regresa al pozo rápidamente al ser liberada la presión con la válvula. El resultado con cambios rápidos de la presión hidrostática en el pozo y una fuerte agitación, todo lo cual, lo hace un sistema de desarrollo muy efectivo si se cuenta con el equipo y el agua necesarios.

Chorros horizontales.

La instalación es semejante a la de chorro vertical y pozo abierto, pero se tapa el extremo inferior de la

tubería de inyección habiendo en cambio pequeñas salidas laterales para que los chorros salgan horizontalmente en forma directa contra el cedazo.

Es también un efectivo sistema de desarrollo si se opera cuidadosamente girando, bajando y subiendo lentamente la herramienta. La parte interior del cedazo y salida de los chorros deben tener una separación del orden de 2.5 cm. y el diámetro de los orificios de salida del agua pueden variar entre 6 y 12 mm. El número de orificios dependerá esencialmente de la bomba de que se disponga.

OLEADA MECÁNICA O PISTONEO

El desarrollo se efectúa mediante un émbolo que se hace bajar y subir alternativamente por el interior del pozo.

Junto con los desarrollos con bomba, es el método más usado en la actualidad, aunque sus resultados son discutibles en muchos casos. Esta deficiencia se debe por lo general, a un uso inadecuado del sistema.

Como regla general, podemos decir que el pistoneo se debe utilizar solo cuando se cuenta con una pulseta para realizarlo.

Para que resulte efectivo se deberán cuidar los siguientes requisitos:

Diámetro del pistón. El diámetro del pistón deberá ser como mínimo una pulgada menor que el diámetro interior del cedazo.

Localización del pistón. La operación de pistoneo se realizará por tramos y directamente enfrente de las zonas abiertas del adme.

Peso del pistón. Se ha comprobado en la práctica que para que el pistón resulte eficiente éste deberá pesar lo suficiente para bajar en forma rápida, generalmente esto se logra cuando el peso es tal que la presión ejercida sobre el colajo de agua es superior a 1.5 kg/cm². Esta regla es empírica y aproximada pues la presión efectiva variará en función

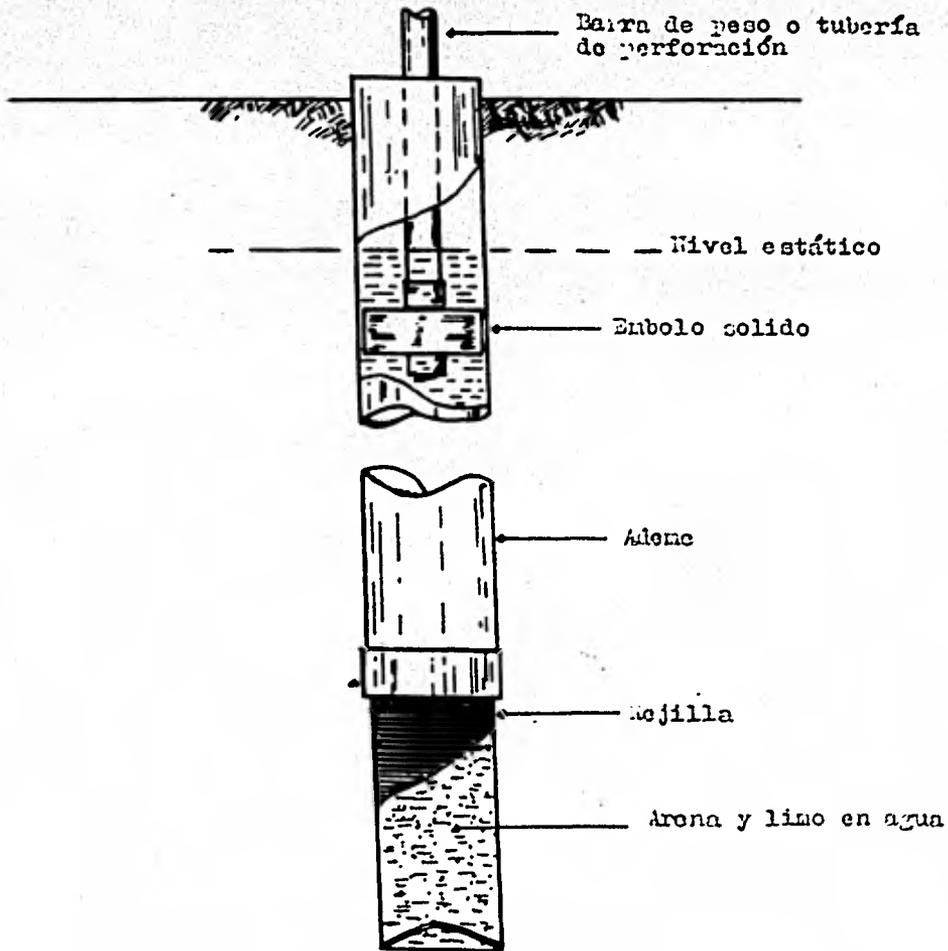


Fig.IV.6 El bloque para pistoneo constituye una herramienta efectiva para el desarrollo de un pozo. Se adapta en forma muy particular para utilizarlo con un equipo de percusión, pues su descenso hace que el agua penetre dentro de la formación; al ascender el agua, el limo y la arcilla son atraídos hacia el pozo a través de la rejilla.

del área abierta del cedazo, calidad de la grava, permeabilidad del acuífero, posición del pistón, etc.

Ciclo de pistoneo. Es aconsejable ir aumentando la frecuencia de las pistoneadas en tres etapas progresivas:

- 1a. etapa 20 carreras por minuto.
- 2a. etapa 23 a 32 carreras por minuto.
- 3a. etapa 40 a 45 carreras por minuto.

Se cambiará de etapa cuando con un ciclo determinado no se obtenga azolve en el pozo y se dará por terminado el desarrollo cuando en la tercera etapa no se tenga azolve después de una hora de agitación.

DESARROLLOS CON AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido proporciona un medio muy eficaz para el desarrollo de pozos, teniendo además la ventaja adicional importantísima de requerir de un equipo no muy caro y fácil de conseguir, consistente en un compresor en buenas condiciones de trabajo y equipo auxiliar.

Existen tres variantes del método:

Método de pozo abierto.

Este método se basa en el principio de provocar agitaciones en el pozo mediante descargas de aire comprimido, bombeándose el agua con el azolve mediante un sifón.

La línea de entrada de aire debe ir por el interior de la tubería de descarga y en la parte superior se instalará una junta de estopero que permita mover arriba y abajo el tubo de aire. Para que el sistema funcione eficientemente, es recomendable que se tenga una superpresión del orden del 60%. Se necesita además un compresor de suficiente capacidad y un tanque para almacenar aire comprimido.

Al iniciar el desarrollo se baja la línea de aire unos 50 cm. bajo la tubería de descarga, se acumula aire en el tanque y se descarga violentamente en el pozo mediante una válvula de paso rápido. Se repite la operación varias veces.

A continuación se levanta la línea de aire 1 m.

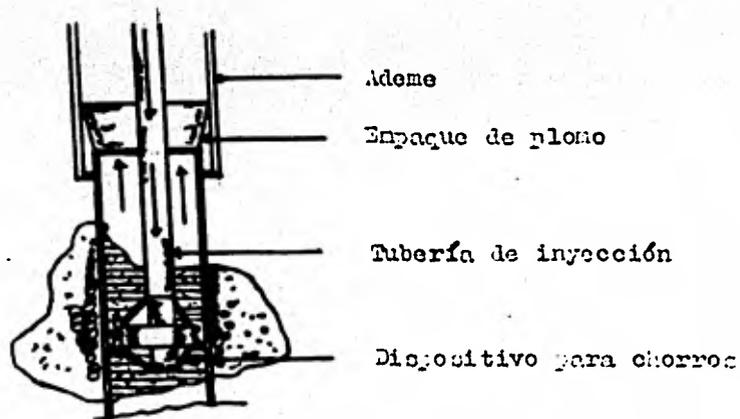


Fig. IV.4 El procedimiento de chorros horizontales de alta velocidad crea una turbulencia alrededor de la rejilla, que afloja con efectividad los materiales finos y los atrae hacia el pozo.

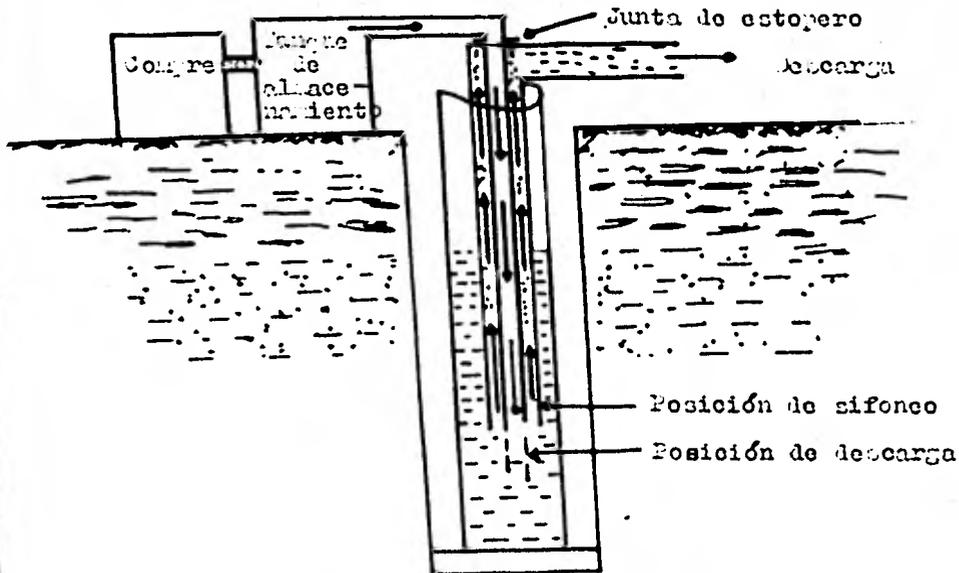


Fig. IV.5 El diagrama esquemático muestra los principios básicos del método de aire comprimido y pozo abierto.

y se manda aire para provocar un sifoneo que se prolonga hasta obtener agua limpia en la descarga. Entonces se baja de nuevo la tubería de aire y se dan nuevas descargas sifoneando a continuación. Se repiten éstas operaciones hasta que con la máxima presión del compresor no se obtenga azolve, con lo que se dará por terminada la operación.

Método de pozo cerrado.

La instalación es semejante al usado en el caso de pozo abierto, pero se sella la boca del pozo con una tapa a través de la cual pasa el sifón y una línea de entrada de aire adicional al interior del pozo. No es necesario tanque de aire comprimido.

Al iniciar los trabajos, se manda aire por la línea adicional, acumulando presión en el pozo, con lo cual se baja el nivel del agua, inyectándose agua al acuífero; a continuación se sifonea extrayéndose el azolve.

Cuando no salga agua limpia se vuelve a inyectar aire al pozo y se sifonea a continuación. Se repiten éstas operaciones hasta que después de la máxima presión que pueda levantar el compresor no se obtenga azolve en el sifoneo, con lo que, se dará por terminado el trabajo.

Método combinado.

Este método es una combinación de los dos anteriores pues el pozo vé sellado, pero además se requiere de un tanque de aire comprimido. Resulta el más enérgico de los métodos de desarrollo con aire.

Se sella el pozo dejando paso a través del sello para un sifón a la bomba de operación del pozo. Se conecta el pozo a un compresor, a través de un tanque grande de aire comprimido dejando dos entradas para el aire una para el sifón y otra por la parte exterior del mismo.

El sistema se opera alternativamente como en el caso de pozo cerrado y en el de pozo abierto, quedando además la variante de dar descargas en el espejo de agua. Con éste método se logra la máxima agitación, y fuertes inversiones de flujo dentro del pozo, por lo que, a pesar de requerir de un

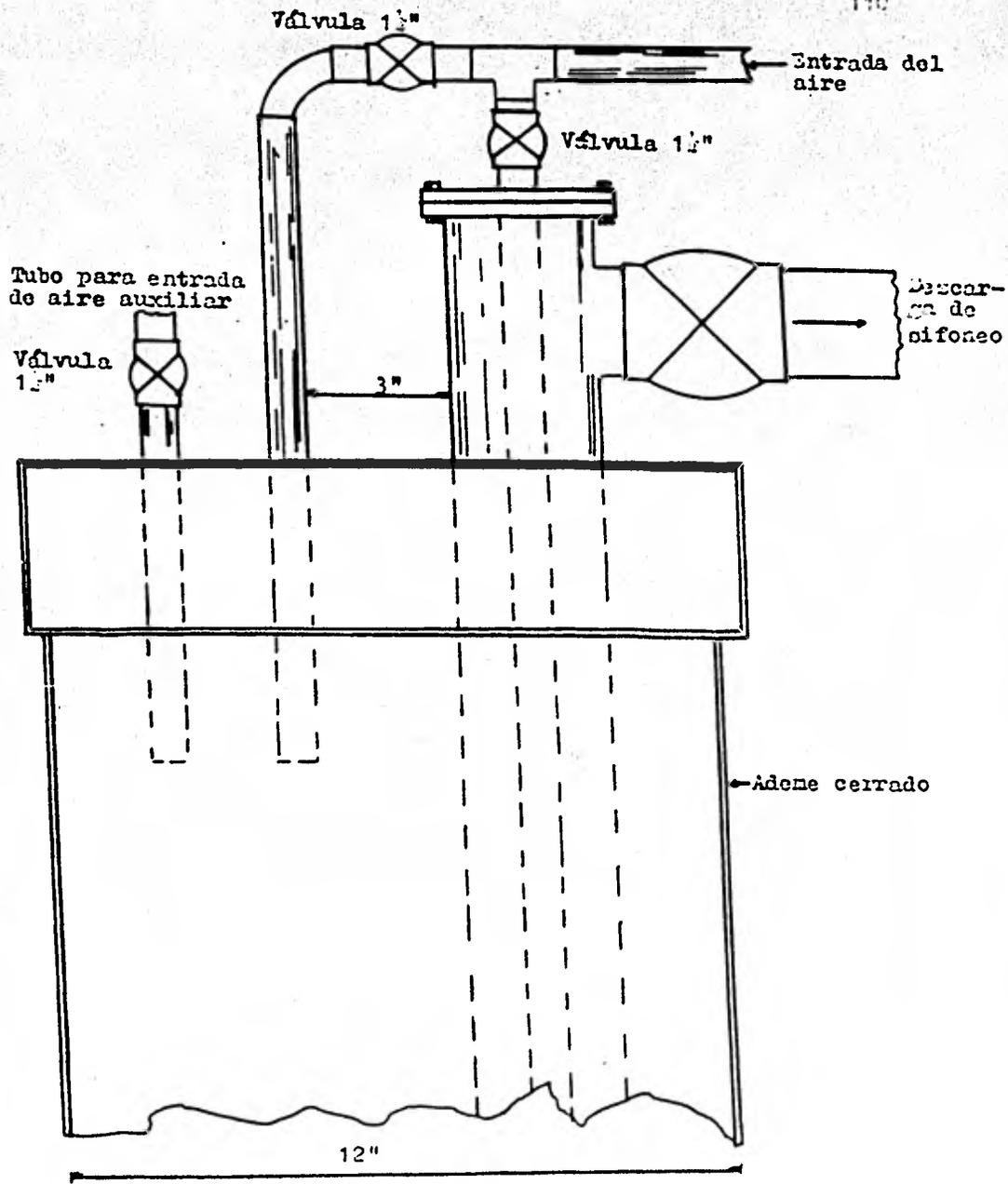


Fig. IV.7 Diagrama que muestra la forma de implementar el equipo para el desarrollo de pozos mediante el método de aire comprimido y pozo cerrado.

pozo de más equipo resulta muy recomendable.

DESARROLLOS CON DINAMITA

Estos trabajos están limitados en su aplicación a los acuíferos en formaciones rocosas fracturadas o a formaciones similares.

El objeto del trabajo consiste en provocar fracturas adicionales en la roca y ampliar las existentes, lográndose una mejor comunicación entre el pozo y el sistema de fracturas y por lo tanto un flujo más franco del agua.

Este tipo de trabajos requiere gran experiencia en el uso de los explosivos, pues libera una gran cantidad de energía, que si es mayor que la necesaria puede perjudicar más que beneficiar al pozo. Si el pozo está parcialmente entubado debe cuidarse de provocar la explosión lejos de la tubería pues de lo contrario es fácil deteriorarla.

Las cargas a utilizar pueden variar entre 15 y 50 kg. dependiendo del diámetro del pozo, tipo de roca y la presión hidrostática sobre la dinamita.

AFORO

En la mayoría de los casos, la prueba de aforo de un pozo se efectúa para observar simplemente el comportamiento de este. Esto es importante, especialmente cuando conjuntamente con las observaciones del caudal se toman algunas medidas del abatimiento producido. Estas dos magnitudes, rendimiento y abatimiento tienen una aplicación directa en la selección de los elementos de un equipo permanente de bombeo que se ajuste a las características de operación del pozo, de hecho la prueba preliminar de bombeo, constituye la única base firme para la selección y compra del equipo de bombeo definitivo para el pozo.

Una prueba de aforo lo más exacta posible, realizada con anterioridad a la adquisición de la bomba, está sobra pagada por las economías que permite al seleccionar el equipo apropiado y por la reducción que logra en el gasto de energía. Muchas veces los excesivos costos de bombeo y el funcionamiento imperfecto de la bomba se achacan al pozo, cuando en realidad los errores provienen de la selección de una bomba que no se adapta a éste.

Si se ejecutan en forma correcta, las pruebas de aforo logran estos objetivos importantes. Planeadas en forma apropiada y realizadas cuidadosamente, las pruebas revelan hechos importantes relativos al depósito de agua subterránea que no se puede establecer de ninguna otra manera. La utilización práctica y la aplicación de tales pruebas se han visto aumentadas por nuestro mejor conocimiento de la hidráulica de pozos conjuntamente con el desarrollo de métodos que utilizan la información brindada por las pruebas, para calcular los factores principales del comportamiento de los acuíferos.

DEFINICION DE TERMINOS

Resulta importante el entender claramente, el significado de los términos comunes que se emplean en las pruebas de bombeo de pozos de agua. Se definirán a continuación algunos de los términos que se emplearán.

Nivel estático del agua. Este es el nivel a que el agua permanec-

ce dentro de un pozo cuando no se está extrayendo agua del acuífero por bombeo o por descarga libre. Generalmente se expresa como la distancia desde la superficie del terreno (o de algún punto cercano a éste) hasta el nivel del agua del pozo. En el caso de un pozo surgente, el nivel estático se halla por encima de la superficie. Este se puede medir una vez que se impida la salida del flujo natural. El nivel estático en estos casos se denomina algunas veces carga de cierre.

Cuando se dice que el nivel estático en un pozo - se halla a 15 metros, esto quiere decir que el agua descansa a 15 metros abajo del punto de referencia y sin existir bombeo. - En el caso de los pozos surgentes si decimos que este tiene una carga de 3 metros de cierre en la superficie, ello implica que la presión artesiiana en el pozo es tal que el agua subiría hasta 3 metros por encima del punto de referencia y dentro de un tubo que se extendiera por sobre ese punto.

Nivel de Bombeo. Este es el nivel a que se encuentra el agua - dentro del pozo, conforme avanza el bombeo. En el caso de los pozos surgentes, es el nivel con el cual el agua fluye del pozo. El nivel de bombeo también se denomina "nivel dinámico".

Abatimiento. El abatimiento en un pozo significa el descenso - que experimenta el nivel del agua cuando se está bombeando o - cuando el pozo fluye naturalmente. El abatimiento es la diferencia, medida en metros, entre el nivel estático y el nivel - dinámico. Este representa la carga, en metros de agua, que produce el flujo desde el acuífero hacia el pozo y al caudal que se está extrayendo.

Abatimiento residual. Una vez que el bombeo se ha detenido, el nivel del agua asciende y trata de alcanzar el mismo nivel existente antes de empezar el bombeo. Durante este período de recuperación la distancia a que el agua se halla por debajo del nivel inicial estático recibe el nombre de abatimiento residual.

Rendimiento del pozo. El rendimiento es el volumen de agua por unidad de tiempo que el pozo está descargando ya sea por bombeo o por flujo natural. Se expresa por lo general en metros - cúbicos por hora, litros por minuto, litros por segundo, etc., conforme la descarga sea mayor o menor.

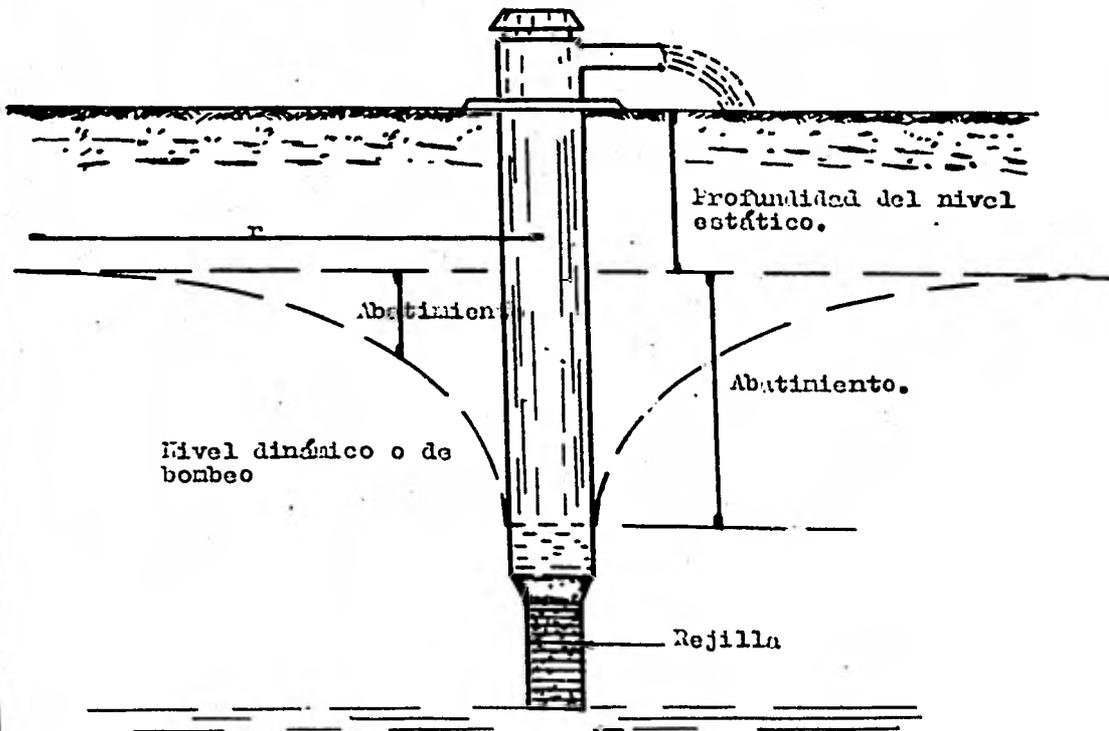


Fig.IV.3 La figura muestra físicamente la definición de algunos términos

Capacidad Especifica. Esta es igual a su descarga por unidad de abatimiento, la cual se expresa por lo general en metros cúbicos o litros por hora y por metro de abatimiento. Al dividir la descarga por el abatimiento, ambos medidos al mismo tiempo, se obtiene el valor de la capacidad especifica. Por ejemplo, si el caudal de bombeo de un pozo es de 100 litros por segundo y el abatimiento es de 10 metros, la capacidad especifica del pozo resulta ser de 10 litros por segundo por metro de abatimiento - en el instante en que ambas cantidades se midieron.

Los términos nivel estático, nivel dinámico, abatimiento y abatimiento residual, se aplican de igual manera tanto a las mediciones tomadas en el propio pozo de bombeo, como también en pozos vecinos utilizados como pozos de observación. Por ejemplo, si el nivel del agua en un pozo de observación situado a 25 metros del de bombeo, desciende 1.5 metros debido a los efectos de éste, decimos que este descenso en el pozo de observación es su abatimiento en el instante en que se hizo la medición.

OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS

Un pozo de agua se prueba para lograr cualquiera - de dos propósitos principales. El objetivo más usual es el de - obtener información acerca del comportamiento y eficiencia del pozo mientras éste se bombea. En tal caso, el resultado se reporta en términos de la descarga, el abatimiento observado y la capacidad especifica calculada. La anterior información, analizada bajo ciertas condiciones, nos dará una medida de la capacidad productora del pozo terminado y nos permitirá tener una base para la selección del equipo de bombeo.

El otro objetivo de las pruebas, y que ha adquirido gran importancia, es el de suministrar datos de los cuales - se obtienen los factores principales para calcular el comportamiento de los acuíferos. Una prueba organizada con este propósito puede denominarse, con más propiedad, una "prueba de acuífero", pues es éste o esa la formación productora, la que está probando el pozo, no está probando.

En cortos tiempos, los datos que se obtienen pueden analizarse para descubrir las características hidrológicas del acuífero. Conforme más personas se familiarizan con los métodos

todos para realizarlas, vemos que las pruebas de bombeo se usan con frecuencia creciente como una de las más importantes herramientas con que se cuenta en la investigación práctica de las aguas subterráneas.

Las mediciones que deben hacerse para lograr cualquiera de los propósitos antes descritos, incluyen los niveles estáticos antes de empezar el bombeo, la razón de bombeo o descarga del pozo de bombeo, niveles de bombeo o niveles dinámicos durante varios intervalos de tiempo a lo largo de todo el período de bombeo, tiempo en que la bomba arranca, tiempo en que se haya observado cualquier cambio en la descarga, y tiempo al cual se detuvo el bombeo. Las mediciones de los niveles dinámicos -- después de cesar el bombeo, son también de utilidad para el estudio de la recuperación.

El procedimiento que se sigue para una prueba de auffero es algo más complicado que el que se utiliza con el fin de determinar la capacidad de un pozo de producción ya terminado. Sin embargo, la diferencia es pequeña en cuanto a la manera en que la descarga y el abatimiento se miden y registran en ambos casos.

MEDIDA DE LA DESCARGA

La verificación de la razón de descarga o caudal -- durante una prueba, necesita de un aditamento preciso para medir la descarga de la bomba y una manera conveniente de ajustarla para mantener ésta lo más constante posible. El mejor control se obtiene mediante una válvula instalada en la descarga -- de la bomba. El tamaño de la tubería de descarga y de la válvula, deberá ser tal que esta última permanezca abierta la mitad o las tres cuartas partes, cuando se esté bombeando a la descarga deseada.

Los cambios no percibidos de velocidad que son el resultado de variaciones de voltaje en motores eléctricos, o de temperatura, humedad y mezcla de combustible en los motores de gasolina, causarán menores fluctuaciones de la descarga cuando la bomba actúa contra la presión que se desarrolla al estar la válvula parcialmente cerrada.

El tratar de regular la descarga de la bomba median

te el recurso de cambiar su velocidad, no siempre resulta satisfactorio. Esto es todavía un inconveniente más cuando la bomba trabaja a descarga abierta y entrega agua a baja presión.

Un método simple y exacto para determinar la descarga de la bomba consiste en observar el tiempo necesario para llenar un recipiente de volumen conocido. Por ejemplo si toma 25 segundos el llenar un recipiente de 200 litros, la bomba está descargando a razón de 8 litros por segundo. Este método se adapta mejor y es más práctico cuando se trata de medir caudales pequeños.

También puede utilizarse un medidor de flujo comercial para medir la cantidad bombeada en un tiempo dado. La carátula del medidor nos muestra el volumen total en metros cúbicos descargando a través del medidor. Al sustraer dos lecturas tomadas un minuto aparte, se obtiene el caudal. Este constituye quizá el aparato más simple. La única desventaja consiste en el inevitable retraso en obtener los valores iniciales al principio de la prueba cuando se está ajustando el caudal a la razón deseada.

El vertedero de orificio circular es el instrumento más comúnmente usado para medir la descarga de una bomba centrífuga o de turbina. Desde luego no podría medir el flujo pulsante de una bomba de pistón. La figura IV.9 muestra los detalles esenciales de la construcción de este aparato.

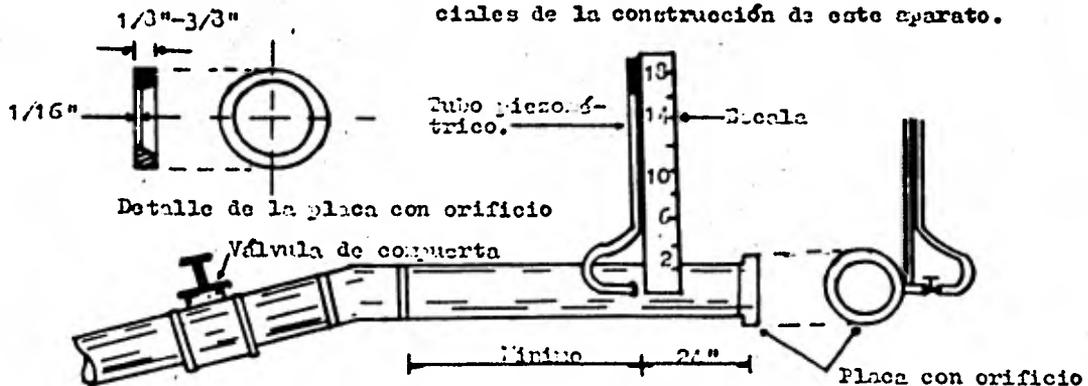


Fig. IV.9 La figura muestra los elementos que constituyen un vertedero de orificio.

El orificio consiste en una abertura perfectamente redonda situada en el centro de una placa circular de acero. El orificio debe tener bordes a escuadra definidos. La placa debe ser de un espesor de 1.6 mm. alrededor de la circunferencia de la abertura. Esta placa deberá fijarse contra el exterior de una tubería de descarga a nivel, de modo que el orificio quede centrado en ésta. El extremo del tubo debe cortarse a escuadra, de modo que la placa quede en posición vertical. El interior de la tubería debe ser liso y encontrarse libre de cualquier obstrucción que pudiera causar turbulencia anormal. La tubería de descarga debe ser recta y a nivel en una distancia por lo menos de 1.30 metros hacia atrás de la placa de orificio. De ser posible esta conducción deberá ser más larga. A 0.60 metros exactamente de la placa de orificio deberá perforarse el tubo con un agujero de 3.2 mm ó 6.4 mm. de diámetro, situado en un plano coincidente con el diámetro horizontal. Las rebabas internas que resulten de esta perforación deberán eliminarse completamente.

Para medir la carga de agua o presión dentro de la tubería de descarga, se fija a este orificio un aditamento especial. Este se denomina tubo piezométrico. Consistente de un tubo de plástico o de hule de 1.20 a 1.50 metros de longitud, al cual se le agrega un tubo de vidrio en el extremo exterior. El otro extremo se conecta adecuadamente mediante accesorios de plomería a la perforación hecha en el tubo de descarga. El nivel que se enrosca a la perforación hecha en el tubo, no debe proyectar hacia adentro de éste. El nivel que el agua alcanza en el tubo piezométrico representa la presión existente en el tubo de descarga cuando el agua fluye a través del orificio de salida. Este nivel puede observarse en el tubo de vidrio, sosteniéndolo verticalmente a una altura justamente encima del punto al cual rebosaría.

Fijando a un soporte una escala de medida precisa, se puede leer la distancia en metros desde el centro de la tubería de descarga hasta el nivel a que el agua alcanza en el tubo piezométrico. Esta equivale a la carga de presión sobre el orificio. Para cualquier tamaño de orificio, el flujo o

caudal a través de éste varía con la carga de presión medida de la manera anterior. Se han publicado tablas estándar que dan los valores de la descarga para varias combinaciones de diámetro de orificio y tubo.

El caudal a través del orificio se calcula mediante la fórmula:

$$Q = AVC$$

expresión en la cual:

Q es el flujo por unidad de tiempo

A es el área del orificio

V es la velocidad de flujo a través del orificio

C es el coeficiente de descarga para el orificio

La velocidad del agua conforme ésta pasa a través del orificio, es la velocidad en el tubo de aproximación más la velocidad adicional creada por la caída de presión entre el punto en donde se mide la carga piezométrica y el punto en donde el agua descarga por el orificio. Puesto que el chorro descarga a presión atmosférica, toda la carga indicada por el tubo piezométrico se convierte en velocidad, haciendo caso omiso de la fricción en la tubería.

De la hidráulica tenemos la relación:

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

en la cual:

v es la velocidad en metros por segundo

g es la aceleración de la gravedad en metros por segundo

h es la caída de presión en metros de agua, y que es convertida en velocidad en el sistema de flujo.

Para obtener el valor correcto de V, la velocidad real a través del orificio, el valor de v dado por la relación anterior, debe sumarse a la velocidad en el tubo de aproximación y a su vez, la suma debe corregirse mediante dos factores. Una corrección es debido a la contracción del chorro que tiene lugar justamente afuera del orificio, y la otra se debe al cambio súbito de la sección transversal del área de flujo y que está representado por el tamaño del orificio con relación al tamaño del tubo de aproximación.

Por conveniencia, la velocidad de aproximación y

los dos factores de corrección pueden combinarse en un solo factor cuyo valor varía con la relación existente entre el diámetro del orificio y el diámetro del tubo, como se muestra en la curva de la figura IV.10

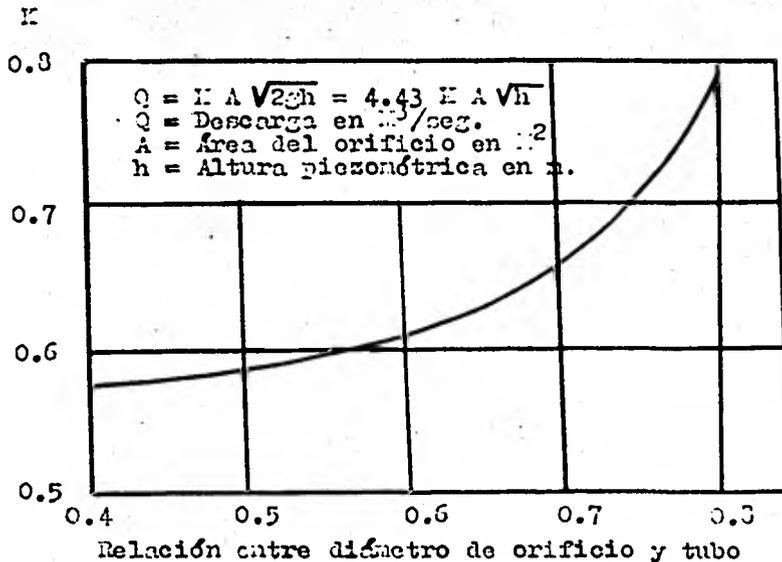


Fig.IV.10 En la gráfica de la figura se observa como varía el valor del factor K

Combinando las relaciones anteriores y llamando K al factor de descarga, tendremos la fórmula para la descarga a través del orificio:

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

La raíz cuadrada de $2g$ es 4.43 de modo que la fórmula puede escribirse entonces:

$$Q = 4.43 K A \sqrt{h}$$

Los valores de K pueden obtenerse de la gráfica de la figura IV.10 y la fórmula puede utilizarse para calcular la descarga con cualquier combinación de diámetro de orificio, diámetro de tubería de aproximación y altura de agua en el tubo piezométrico.

La descarga Q vendrá expresada en metros cúbicos por segundo, si la sección A , la altura piezométrica h y la aceleración de la gravedad se expresan respectivamente en metros cuadrados, metros y metros por segundo. El valor de K en la figura IV.10 es válido únicamente si se usan las unidades anteriores.

Además de construir e instalar adecuadamente el instrumento, deben tomarse dos precauciones más para asegurar que los resultados sean correctos. El diámetro del orificio debe ser menor que 0.3 del diámetro interior del tubo de aproximación. La figura IV.10 muestra que el valor de K en la fórmula cambia rápidamente conforme aumenta la relación de orificio a diámetro de tubo. Por la anterior razón la exactitud de las mediciones se reduce conforme la relación excede de 0.7.

El tubo piezométrico debe estar completamente libre de obstrucciones y de burbujas de aire cuando se efectúa la lectura de la carga piezométrica. Las burbujas de aire se pueden eliminar haciendo que el tubo, entre medidas, rebose agua.

Las extensas calibraciones de vertedero de orificios realizadas hace algunos años por la Universidad de Purdue, demostraron que el instrumento puede medir caudales dentro de un margen de error del 2 %, cuando se construye y utiliza correctamente.

Debe observarse la posición de la válvula que se usa para regular el caudal. Si la válvula se instala algo adelante de la tubería que se usa como canal de aproximación al orificio, no existirá turbulencia que afecte el correcto funcionamiento de éste. Una buena práctica es la de instalar una válvula a por lo menos 10 diámetros de tubo, contados desde el punto en que se conecta el tubo piezométrico.

RECIPIENTES CON ORIFICIOS

El departamento de aguas del estado de Illinois ha desarrollado un artefacto denominado "recipiente con orificios" para una fácil medición de descarga de hasta 35 metros cúbicos por hora. Consiste en un tanque cilíndrico pequeño con una o más aberturas circulares situadas en el fon-

do. El agua que se va a medir, cae dentro del tanque y descarga a través de los orificios. El recipiente se llena con agua hasta un nivel en el que la carga de presión hace que la salida por los orificios sea justamente igual al caudal que llega de la bomba.

Cerca del fondo del recipiente, se instala contra la pared de éste, un tubo piezométrico. Para leer con precisión el nivel del agua dentro del recipiente, se instala en el exterior de éste una escala graduada. El artefacto debe calibrarse y se prepara una curva de calibración que muestre la descarga a través de un solo orificio de tamaño dado, en función de varios valores de la carga de presión.

La razón de descarga dada por la curva se multiplica por el número de orificios que se estén utilizando y se obtiene la descarga total para un nivel dado del agua.

Un tambor de grasa de 50 o 100 kgs. puede servir perfectamente con 5 o 10 agujeros de 2.54 cm. de diámetro. Un recipiente de orificios, preparado con varios de éstos, puede utilizarse para medir un considerable rango de caudales, puesto que algunos de los agujeros pueden taponarse dejando abiertos solamente los necesarios para mantener una determinada razón de descarga.

La forma más conveniente de obtener las aberturas en el fondo del recipiente consiste en soldar cortes niples de 2.54 cm. de diámetro a los bordes de los agujeros practicados. Cada niple debe tener la misma longitud y el mismo diámetro interior que los otros. Los extremos de los niples deberán estar cortados a escuadra, y todos deben encontrarse al mismo nivel, como lo muestra la figura IV.11

La figura IV.12 nos muestra una curva de calibración típica para un solo orificio consistente de un niple de 2.54 cm. de diámetro interno y 5 cm. de longitud. La curva nos muestra que cuando el agua se halla a 20cm. en este recipiente en particular, la descarga a través de un orificio es de 16 litros por minuto. Si el recipiente que se emplea consta de 10 agujeros, la descarga para 20 cm. de presión será de 10 veces la anterior, o sea, 160 litros por minuto.

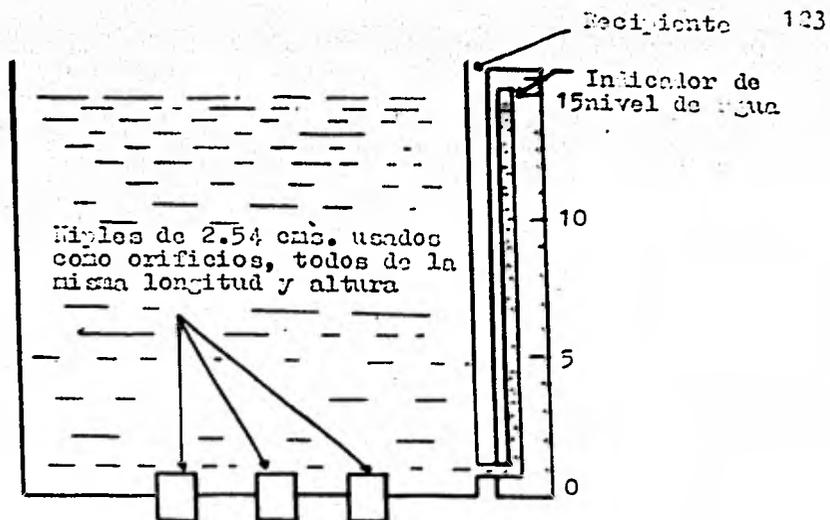


Fig.IV.11 Detalle de la construcción de un recipiente con orificios de aberturas múltiples

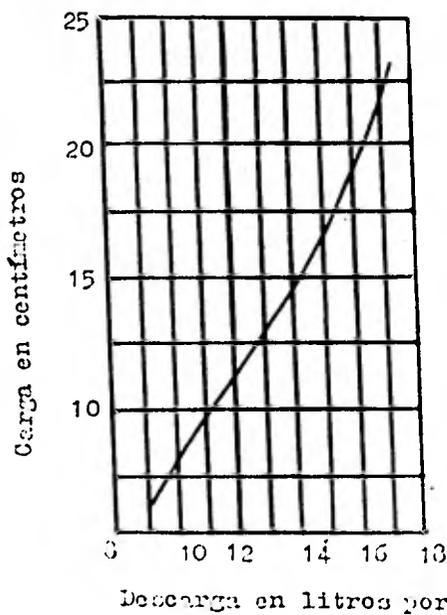


Fig.IV.12 Curva de calibración para un orificio de 2.54 cm. de diámetro.

Una de las ventajas que se invocan para el recipiente con orificios es la de su practicidad para medir la descarga producida por las bombas de pistón en los cuales el caudal no es constante. El recipiente de orificios tiende a suavizar las pulsaciones del flujo y permite una buena determinación de la descarga media.

ESTIMACION DE LA DESCARGA EN TUBOS ABIERTOS

En tanto el costo de probar aquellos pozos que van a estar funcionando más o menos continuo, representa una buena inversión, no se justifica tanto en el caso de pozos pequeños. Algún otro procedimiento sencillo resulta adecuado para aquellos pozos de uso doméstico que se van a bombear intermitentemente y a bajo caudal.

Las dimensiones de un chorro de agua que fluye en un tubo abierto, sea éste vertical u horizontal, pueden utilizarse para un cálculo grosso modo de la descarga.

El diámetro de la tubería y la altura a la cual se eleva el agua por encima de ésta, son los elementos que definen el flujo ascendente de un tubo vertical. F.S. Lawrence y F.L. Braunwrth de la Universidad de Cornell, han investigado la descarga en tubos verticales y sus resultados fueron publicados en 1906.

Estos investigadores descubrieron que existen dos tipos de flujo que deben considerarse al estimar la descarga de tubos verticales. Cuando la altura del agua sobre el borde del extremo abierto del tubo es menor que cierto valor crítico, la descarga se asemeja a la que se produce en un vertedero. Cuando la altura del agua sobre pasa otro valor crítico, el flujo es del tipo de descarga a chorro. Las descargas comprendidas entre estos dos valores límites, guardan una errática relación con respecto a la altura del agua.

La figura IV.14 indica la manera en que debe medirse la altura de la crest cuando prevalece el flujo a chorro. El flujo debe ser suficientemente constante de manera tal que la altura h no varí apreciablemente. El mejor procedimiento es el producir variaciones de la altura de crest sobre el borde

del tubo. los valores corresponden a tuberías estándar de acero de los tamaños indicados y de superficie interior lisa.

Este método puede utilizarse para estimar la descarga proveniente de un pozo artesiano surgente o de un pozo bombeado en el cual el tubo de descarga puede volverse hacia arriba. La tubería vertical debe consistir de un tramo recto, no menor de 0.90 m. de longitud, de modo que el extremo superior se halle a esa distancia por lo menos, de cualquier codo, doblez o válvula.

ALTURA DE LA C.ESPA EN M.	DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO				
	2"=50.3	3"=76.2	4"=101.6	6"=152.4	8"=203.2
38(1.5")	0.083	0.163	0.257	0.416	0.606
51(2")	0.093	0.208	0.352	0.606	0.871
76(3")	0.125	0.230	0.492	0.826	1.457
102(4")	0.144	0.333	0.537	1.211	1.973
152(6")	0.132	0.416	0.719	1.628	2.763
203(8")	0.212	0.473	0.352	1.930	3.407
254(10")	0.235	0.530	0.965	2.195	3.874
305(12")	0.261	0.606	1.060	2.422	4.353
457(18")	0.322	0.733	1.325	2.952	5.293
609(24")	0.379	0.879	1.514	3.432	6.245

Tabla IV.13 Descarga en tubos verticales en L^3 x minuto.

El punto B puede localizarse si así se desea, en la superficie exterior del chorro en lugar de en el centro. En tal caso, la medida vertical deberá hacerse desde la parte superior del tubo. Cuando el chorro se esparce, resulta más fácil localizar el centro de aquél que un punto en la superficie.

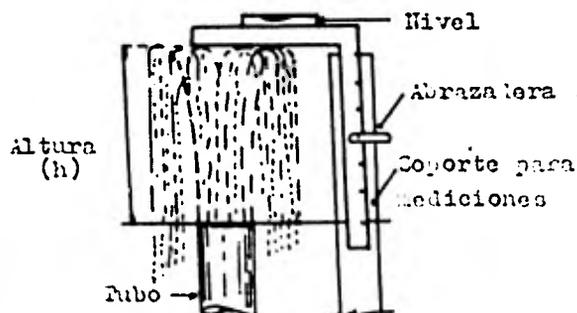


Fig. IV.14 Forma de medir la altura de la cresta en la descarga de un tubo vertical.

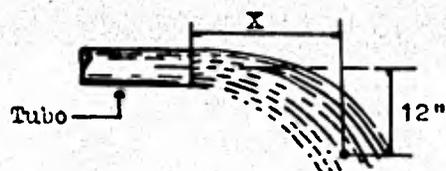


Fig. IV.15 La descarga de una tubería horizontal puede estimarse conociendo la distancia X.

Para medir aproximadamente el valor de la descarga en una tubería horizontal, fluyendo a sección llena y con caída libre en el extremo del tubo hasta un punto dado situado en el centro del chorro. La figura IV.15 muestra la manera de efectuar las mediciones.

La tabla IV.16 da las descargas para varios tamaños de tubos estándar de acero y para diversos valores de la distancia horizontal X, estando fija la distancia vertical a 30.48 cm. La tubería de descarga debe ser recta por lo menos en una longitud de 1.5 metros, de modo que el extremo de salida se halle a esa distancia del codo, doblón o válvula más próxima.

DISTANCIA X EN CENTÍMETROS A 30 CM. DE CAIDA	DIÁMETRO DEL TUBO				
	2"=50.3	3"=76.2	4"=101.6	6"=152.4	8"=203.2
15.2(6")	0.079	0.174	0.303	0.634	0.306
20.3(8")	0.106	0.231	0.401	0.916	1.535
25.4(10")	0.132	0.291	0.503	1.143	1.963
30.5(12")	0.144	0.343	0.602	1.370	2.303
33.1(15")	0.193	0.435	0.753	1.715	2.952
50.3(20")	0.265	0.533	0.903	2.363	3.936

Tabla IV.16 Descarga de tubos horizontales, fluyendo a sección llena en m^3 x minuto.

MEDICIONES DEL NIVEL DE AGUA

Durante la ejecución de una prueba de bombeo o una prueba de acuífero, debe medirse repetidas veces la profundidad del agua. Las lecturas deben efectuarse a intervalos muy cortos

durante las primeras dos horas de la prueba, aumentando el intervalo de mediciones conforme la prueba avanza. Las mediciones del nivel de agua deben efectuarse con aproximación de milímetros. Aunque no siempre es esto posible cuando las mediciones se hacen en el propio pozo de bombeo, debido a vibraciones u otras causas provenientes de la bomba.

Las mediciones en el pozo de bombeo deben efectuarse cada $\frac{1}{2}$ minuto durante los primeros 5 minutos contados a partir del inicio del bombeo; luego, cada 5 minutos durante una hora; después cada 20 minutos por alrededor de dos horas. A partir de aquí son suficientes las lecturas tomadas cada hora.

Cuando las mediciones se hacen a mano, debe anotarse el tiempo en el instante en que se efectúan éstas. El tiempo debe anotarse con precisión de 10 segundos.

De la descripción dada antes referente a la precisión de la prueba de bombeo, se deduce que se necesitan medios exactos y rápidos de medir los niveles del agua. Los medios usuales empleados, son la sonda eléctrica, la cinta mojada, y la línea de aire.

SONDA ELECTRICA

Posiblemente el mecanismo más manuable que se puede usar en la mayoría de los casos es la sonda eléctrica o medidor eléctrico de profundidades. Varios fabricantes lo producen. Se suspende un electrodo de un par de alambres aislados, y un amperímetro indica que el circuito se ha cerrado y que la corriente circula al tocar el electrodo la superficie del agua. Para obtener la corriente se utilizan baterías de linterna.

Para mejorar la exactitud de las lecturas de nivel, el electrodo y el cable se dejan suspendidos dentro del pozo durante el período de lecturas. Lo anterior elimina la posibilidad de errores provenientes de dobles del cable, lo que alteraría su longitud ligeramente al permitirle hacia arriba y hacia abajo. El cambio debido al nivel del agua se mide con una cinta metálica colocada paralelamente y a lo

largo del cable, usando para ello una de las marcas metálicas las cuales el fabricante adhiere al cable a intervalos de 1.5 metros, y que sirven como referencia.

METODO DE LA CINTA MOJADA

El método de la cinta mojada es una manera muy precisa de medir la profundidad del agua y se puede usar fácilmente en profundidades que alcanzan 25 ó 30 metros. Primero se adhiere una pesa de plomo a una cinta de acero para medir. Los 50 ó 60 centímetros inferiores de la cinta se recubren con tiza o yeso antes de efectuar las mediciones. Se hace descender la cinta dentro del pozo hasta que una parte de la sección entizada penetra dentro del agua, y la marca más próxima de la cinta se sostiene contra el borde superior del ademe del pozo o contra algún otro punto de referencia desde el cual se estén efectuando las mediciones. Luego se extrae la cinta. La porción mojada de la cinta puede leerse con precisión de hasta una fracción de centímetros en la parte entizada. La lectura anterior se resta de la marca que se sostuvo contra el punto de referencia, y la diferencia será la profundidad del nivel de agua.

Una de las desventajas de este método consiste en que debe conocerse aproximadamente la profundidad del agua para poder introducir una parte de la sección entizada de la cinta y que se manifieste una línea mojada. Cuando la profundidad del agua se halla a más de 25 ó 30 metros, este método resulta difícil de aplicar.

METODO DE LA LINEA DE AIRE

La figura IV.17 muestra la instalación de una línea de aire dentro de un pozo con el propósito de medir la profundidad del agua. La línea de aire consiste en un conducto o tubería de pequeño diámetro y longitud suficiente como para que se extienda desde la boca del pozo hasta unos cuantos metros por abajo del nivel que se supone llegará el agua durante el bombeo. Conforme más bajo se instale dentro del pozo, con mayor exactitud deberá medirse la longitud de la línea de aire. Si se usa un tubo flexible deberá tenerse cuida

do que éste permanezca verticalmente dentro del pozo y que no tome una forma espiral alrededor del adema de éste. El tubo deberá ser completamente hermético para que no entre el aire a través de ninguna parte de su longitud y de igual forma deberán ser sus conexiones al nivel de la superficie del terreno.

Por lo general se utilizan tubos de latón o de cobre de un cuarto de pulgada de diámetro, para obtener una línea de aire. El extremo superior del tubo se acondiciona con una válvula y conexiones apropiadas, de manera que se pueda usar un inflador de neumáticos para introducir aire en la línea. Asimismo, se instala una te en ésta, a la cual puede conectarse un manómetro y poder medir la presión de aire que se halla dentro del tubo. Un manómetro graduado en metros de agua resulta más apropiado que los que vienen calibrados en kilogramos por centímetro cuadrado.

El artefacto funciona basado en el principio de que la presión de aire requerida para expulsar el agua contenida en la porción sumergida de la línea, es igual al peso de una columna de agua de la misma altura. Si esta presión se expresa en metros de agua, se puede calcular entonces la profundidad del agua en el pozo.

El primer paso necesario consiste en la determinación exacta de la profundidad que existe desde la boca del ademe del pozo, o desde algún otro punto de referencia, hasta el extremo inferior de la línea de aire. Una vez que se halla instalado y conectado el manómetro, se inyecta aire dentro de la línea. La presión indicada por el manómetro aumentará hasta alcanzar un valor máximo, lo que significa que toda el agua ha sido expulsada de la línea de aire. En este instante, la presión de aire dentro del tubo estará balanceando justamente la presión del agua y la lectura del manómetro indicará la presión necesaria para soportar una columna de agua de una altura igual a la distancia que media entre el nivel del agua en el pozo y el fondo del tubo. Si el manómetro indica metros de agua, mostrará directamente la longitud de la porción sumergida de la línea en metros.

Substrayendo la longitud sumergida de la longitud

total de la línea de aire, se obtendrá la profundidad del agua desde el punto de medición o referencia escogido. La medición que se haga antes de arrancar la bomba, indicará el nivel estático del agua.

Cualquier cambio en el nivel del agua vendrá dado por la diferencia de presión indicada por el manómetro en dos mediciones consecutivas. El abatimiento durante el bombeo, y también durante la recuperación que se produce después de interrumpido aquél, se puede observar fácilmente de las lecturas de presión.

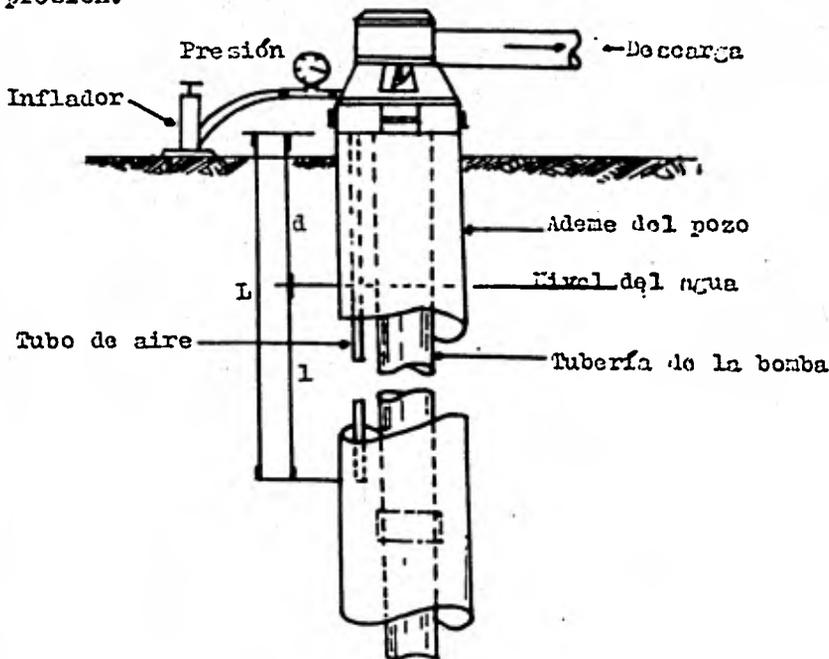


Fig. IV.17 Instalación típica para la medición de los niveles por el método de la línea de aire

Con referencia a la figura IV.17 la profundidad del agua se calcula siempre mediante la expresión:

$$d = L - l$$

en la cual:

d es la profundidad del agua en metros

L es la profundidad del extremo inferior de la línea de aire en metros.

l es la carga de presión, en metros, representada por una columna de agua cuya altura sea igual a la longitud de la porción sumergida de la línea de aire.

Supongamos que tenemos una instalación en donde la distancia desde la boca del ademe del pozo al extremo inferior de la línea de aire es de 30 metros. Conforme se va inyectando el aire lentamente en la línea, se observa que la próxima lectura en el manómetro es de 15 metros. La profundidad del nivel del agua será entonces igual a la diferencia entre 30 y 15, ó sea, 15 metros. Digamos que ésta corresponde al nivel estático del agua.

Supongamos ahora que la bomba empieza a funcionar. Conforme el nivel del agua dentro del pozo desciende, la longitud sumergida de la línea disminuye, y la presión en el manómetro también baja. Si tenemos una lectura del manómetro de, digamos 11 metros, ello quiere decir que la longitud sumergida de la línea ha disminuido en 4 metros y que la profundidad del agua ha descendido desde 15 a 19 metros. Esto representa un abatimiento dentro del pozo, de 4 metros por debajo del nivel estático. Si el manómetro es fabricado para lecturas en libras por pulgada cuadrada (caso de los fabricantes en Estados Unidos) cada lectura deberá multiplicarse por 0.704 para convertirla a metros de agua. Una lectura por ejemplo, de 15 libras por pulgada cuadrada, corresponderá a una carga de presión de 10.56 metros.

La confianza en las mediciones efectuadas con la línea de aire, depende de la precisión del manómetro y del cuidado puesto al al operar el inflador para obtener la lectura. La profundidad se determina por lo general con una precisión de unos 6 centímetros del valor real.

Con el objeto de evitar turbulencias cerca de la entrada de la bomba, el extremo inferior de la línea de aire deberá introducirse hasta más o menos 1,5 metros por debajo del punto en que el agua hace su entrada a la bomba.

Dentro de la República Mexicana las empresas de-

dicadas a la perforación de pozos de agua, han optado por métodos de desarrollo y aforo que resulten más económicos, utilizando la mayoría de las veces el mismo equipo para ambos casos. Estos métodos de desarrollo y aforo son muy apegados a los utilizados en otros países aunque, difieren en algunas normas; razón por la cual se han creado especificaciones apegadas a nuestro medio. A continuación enunciaremos las principales especificaciones que la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas a optado tomar en los trabajos de desarrollo y aforo para pozos perforados en Territorio Mexicano.

1.- Con el objeto de que los lodos utilizados durante la perforación no se consoliden demasiado obstruyendo permanentemente los orificios provenientes del acuffero, es necesario, que el desarrollo y aforo de pozos en cuestión, deba iniciarse en un plazo máximo de 5 días a partir de la terminación del pozo.

2.- Una vez determinada la capacidad del motor y la bomba, con la longitud de columna y diámetro requerido, el bombeo de desarrollo se iniciará con el caudal correspondiente al mínimo de revoluciones con el que pueda trabajar el equipo de bombeo.

Se mantendrá constante en ese caudal hasta que el agua salga limpia, es decir sin sólidos en suspensión. Inmediatamente a partir de este momento se agitará el pozo en tres ocasiones consecutivas, excepto cuando por la naturaleza del subuelo no sea recomendable.

Por una etapa de agitación del pozo con este sistema deberá entenderse el paro de la bomba hasta que el volumen de agua que se encuentra en la columna de succión haya sido desalojado a través del cuerpo de tazonos, e iniciar nuevamente el movimiento de la bomba hasta que brote agua por la descarga de la misma. Cuando después de agitar tres veces el pozo el agua continúe sacando sólidos en suspensión, se repetirá el ciclo inicial, es decir esperar a que salga el agua limpia y agitar periódicamente. Cuando por el contrario el agua salga limpia después de la agitación señalada, se aumentará en 100 el número de revoluciones de la bomba, a menos que el personal

capacitado de la empresa contratante jusgue conveniente cambiar la velocidad de la bomba en intervalos distintos, a partir de los cuales se repetirá el ciclo anterior, aumentando gradualmente en esta forma la velocidad del equipo de bombeo, hasta llegar a la última etapa, es decir, al límite máximo de revoluciones que sea capaz de proporcionar el equipo considerado, o bien hasta agotar la capacidad del acuífero.

3.- Una vez terminada la etapa de desarrollo, se iniciará el aforo del pozo con los caudales que en cada caso se indique. Antes de iniciar la prueba de aforo es necesario que el nivel del agua en el pozo, se encuentre en su posición original y empesar con el mínimo de revoluciones con el que pueda trabajar el equipo de bombeo.

4.- Durante las etapas de aforo por ningún motivo deberá suspenderse el bombeo. En caso de que esto último llegará a suceder se esperará la recuperación del pozo, e iniciar nuevamente el bombeo para la prueba de aforo.

5.- Las horas de bombeo durante las etapas de desarrollo y aforo de los pozos, no estarán regidas por un número determinado, sino por el comportamiento del mismo.

6.- Una vez que el agua salga limpia y que el nivel de la misma permanezca constante, se aumentará de 100 en 100 el número de revoluciones de la bomba hasta llegar al máximo a que este equipo pueda trabajar, o a agotar el acuífero, dependiendo en cada caso.

7.- Deberán tomarse muestras del agua bombeada durante las etapas mínima, media y máxima de la prueba de aforo.

El volumen de la muestra tomada no será menor de 2 litros en caso de análisis físico-químico general; 3 litros cuando se requieran determinaciones especiales como arsénico, plomo, sílice y cianuro; y 20 litros para las pruebas de clarificación, ablandamiento o demanda de cloro.

Se deberá anotar siempre el tiempo transcurrido después de iniciado el bombeo, a la toma de la muestra.

8.- Al terminar la prueba de aforo se irán tomando datos de recuperación al principio cada 5 minutos la primera 1/2 hora y después cada 1/2 hora hasta que el pozo se recupere totalmente.

9.- Al terminar con el bombeo de aforo se introducirán al pozo 200 litros de una solución de hipoclorito de calcio al 5% con el propósito de desinfectarlo.

10.- Finalmente debe medirse nuevamente la profundidad del nivel del agua dentro del pozo y colocar la tapa de protección.

Para ilustrar mejor los procedimientos a seguir en el desarrollo y aforo, a continuación veremos un ejemplo real de un pozo perforado en el estado de Tabasco.

DISCUSION DEL EJEMPLO:

El equipo de aforo en este caso contaba con un vertedero de orificio circular para medir la descarga, el rango de revoluciones a que podía trabajar el equipo fué de 1000 a 1760 r.p.m., los niveles dinámicos en el pozo se midieron con una sonda eléctrica, la longitud de columna fué de 60 m. con un diámetro de 10" reduciéndose a 6" a la salida del vertedero de orificio, la relación de orificio a diámetro reculto de 0.6. Entrando a la grafica para calcular el valor de K obtuvimos $K = 0.61$ de la fórmula $Q = K A \sqrt{2gh}$ tenemos: $Q = 4.43 K A \sqrt{h}$
 $K = 0.61$

$$A = 0.013241 \text{ m}^2$$

$$\text{de donde: } Q = 0.049293 \sqrt{h}$$

Como podemos ver en el ejemplo al llegar al número de revoluciones del equipo de aforo el pozo se agotó; no se decidió usar una columna de bombeo mayor puesto que se trata de una población rural en la cual el gasto requerido no pasa de 15 l.p.s.

Respecto a la recuperación podemos notar que no se siguieron las especificaciones como debían ser, pues se tomaron los datos después del desarrollo y no del aforo como lo marcan las especificaciones. Esta fué rápida al principio y más lenta al ir el pozo tomando su nivel estático original.

El comportamiento del pozo durante las pruebas de desarrollo y aforo fue normal, pues en ningún rango de revoluciones se noto un cambio brusco de nivel y ademas no se tuvieron observaciones anormales.

REGISTRO DEL DESARROLLO

135

PROGRAMA: Sahon-Coulesmar

POBLADO: Vernet 2ª Sección

FECHA/: 13, 14 y 15 Nov/30

MUNICIPIO: Lacusmana

ESTADO: Tabasco

Nivel Estático: 7.9 m

Fecha del Des.		r.p.m. de la bomba	Prof. m	Alt. Piez. m	Diám. Desc. pulg.	Gasto en la Desc. l.p.s.	Observaciones
Día	Hora						
13	16	1000	20.00	0.10	10"n6"	15.5	Agua turbia
	17		20.82	"		"	" "
	18		21.15	"		"	" "
	19		21.74	"		"	" "
	20		22.30	"		"	" "
	21		22.45	"		"	" "
	22	1100	23.00	0.15		"	Se agito 3 veces
	23		25.4	"		19.1	Agua turbia
	24		26.27	"		"	" "
14	1		26.45	"		"	" "
	2		26.78	"		"	" "
	3		26.79	"		"	" "
	4		26.80	"		"	" "
	5	1200	28.30	0.20		"	" "
	6		28.48	"		22.0	Se agito 3 veces
	7		28.75	"		"	Agua turbia
	8		28.96	"		"	" "
	9		29.03	"		"	" "
	10		29.10	"		"	" "
	11	1300	31.00	0.30		"	Agua clara
	12		34.69	"		26.9	" "
	13		36.13	0.28		"	Agua turbia
	14		36.28	"		26.0	" "
	15		36.80	"		"	Se agito 3 veces
	16		37.33	"		"	Agua turbia
	17	1400	40.27	0.34		"	Agua Clara
	18		41.50	"		23.7	" "
	19		41.75	"		"	" "
	20		43.00	"		"	" "
	21		44.80	"		"	" "

REGISTRO DEL DESARROLLO

135

PROGRAMA: Sahon-Coullamar

POBLADO: Vernet 2^a Sección

FECHA: 13, 14 y 15 Nov./30

MUNICIPIO: Macuspana

ESTADO: Tabasco

Fecha del des.		F.p.m. de la bomba	Prof. m	Alt. Piez. m	Diam. Desc. Pulg.	Costo en la Desc. l.p.s	Observaciones
Día	Hora						
14	22	1500	44.86	0.40	10" a 6"	31.12	Agua Clara
	23		44.88	"	"	"	" "
	24		52.60	0.39		30.7	" "
15	1		53.25	0.40		31.12	" "
	2		54.75	0.39		30.7	" "
	3		55.20	0.40		31.12	" "
	4		55.40	"		"	" "
	5	1600	55.42	0.45		33.06	Agua turbia
	6		53.60	"		"	" "
	7		59.25	0.44		32.7	Se agitó 3 veces
	8		59.40	0.45		33.06	Agua turbia
	9		59.90	0.44		32.7	Agua Clara
	10		59.91	"		"	Agua Clara
	11	1760					Se agotó el pozo
	12	1600	53.90	0.45		33.06	Agua turbia
	13		59.30	"		"	Agua Clara
	14		59.88	"		"	Agua Limpia
	15		59.38	"		"	" "
	16		59.38	"		"	" "

DATOS DE RECUPERACION

Hora	Prof. Sonda (m)	Hora	Prof. Sonda (m)
16.05	23.00	13.00	16.00
16.10	26.10	13.30	13.40
16.15	25.80	19.00	11.25
16.20	25.10	19.30	10.10
16.25	24.40	20.00	9.45
16.30	23.37	20.30	9.12
17.00	20.14	21.00	3.36
17.30	18.80	21.30	3.75

REGISTRO DEL AFORO

137

PROGRAMA: Sahon-ConlamarPOBLADO: Vernet 2ª SecciónFECHA: 16 y 17 Nov./80MUNICIPIO: LacusnanaESTADO: Tabasco

Fecha del Aforo		r.p.m. de la bomba	Prof. m	Alt. Piez. m	Día. Desc. Pulg.	Gasto en la Desc. l.p.s.	Observaciones
Día	Hora						
16	5	1000	24.21	0.10	10" a 6"	15.5	Agua Clara
	6		24.65	"			" "
	7		25.40	"			" "
	8		25.85	"			" "
	9		25.90	"			" "
	10	26.13	"	" "			
	11	26.21	"	" "			
	12	1200	27.91	0.22		23.12	" "
	13		28.35	"			" "
	14		28.90	"			" "
	15		29.50	"	" "		
	16		30.55	"	" "		
	17		30.58	"	" "		
18	1400	35.20	0.35		29.16	" "	
19		38.75	"			" "	
20		39.00	"			" "	
21		39.60	"			" "	
22		40.93	"			" "	
23		41.20	"	" "			
24	1600	59.60	0.36		29.5	" "	
17		1	59.51			"	" "
		2	59.58			"	" "
		3	59.46			"	" "
		4	59.47			0.35	29.16
	5	59.49	0.36	29.5	" "		

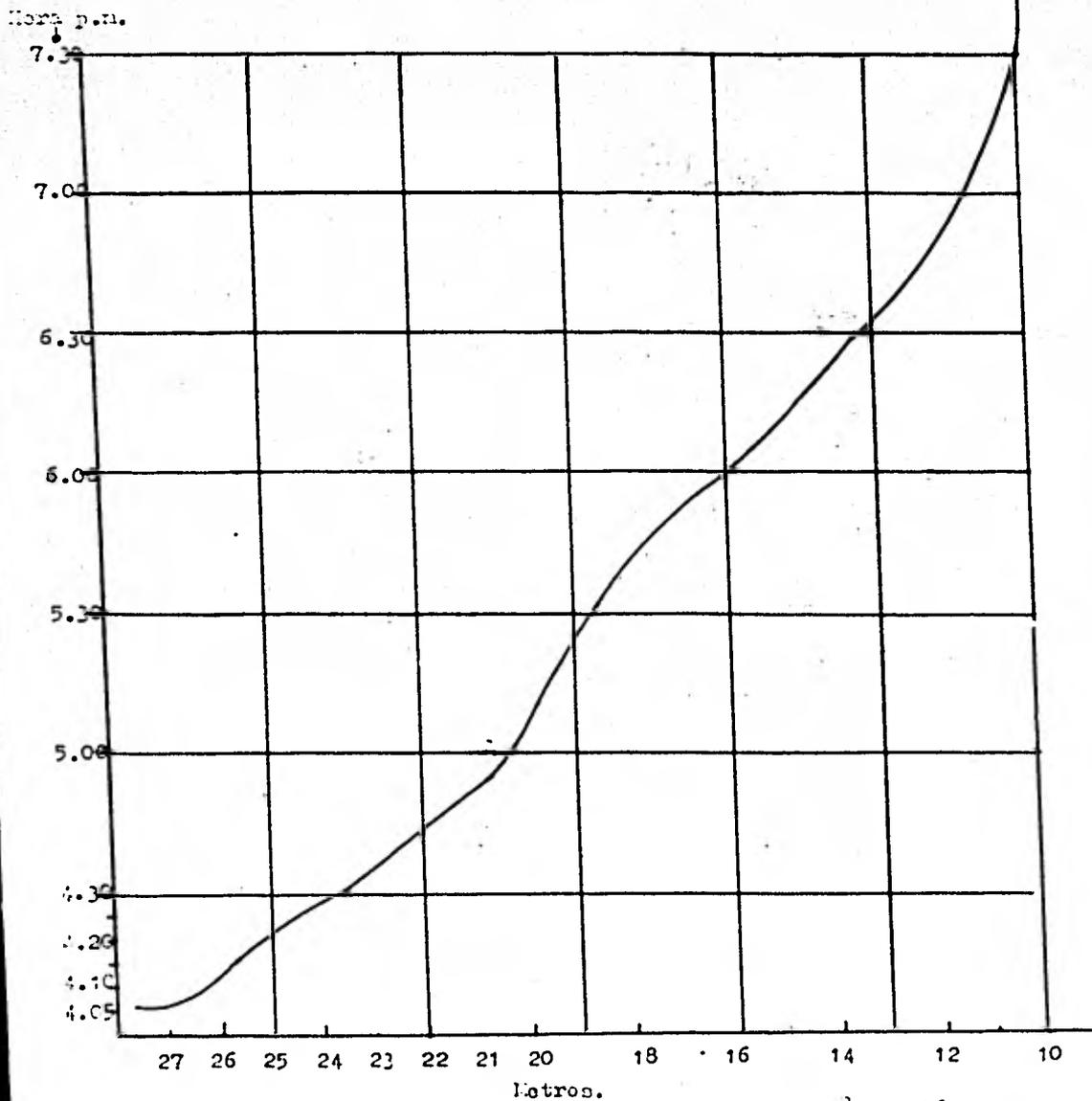


FIG. IV.13 Grafica de recuperación del pozo vernet 2^a sección perforado en el estado de Tabasco

CAPITULO V

PRECIOS UNITARIOS

Generalidades

Como en todo proceso constructivo dentro de la perforación de pozos, uno de los múltiples problemas que se presentan es el establecimiento de los precios unitarios equitativos a que debe pagarse un trabajo, ha sido tradicionalmente un punto de divergencia de opiniones entre las empresas contratistas y los organismos oficiales o particulares encargados de la realización de obras, lo que ha constituido motivo de discusiones, pérdidas de tiempo y entorpecimiento del desarrollo de las obras, creando en muchos casos fricciones entre el personal encargado de los trabajos.

Si con anticipación se establecen en forma perfectamente definida las especificaciones, normas y criterios generales que servirán de base para el cálculo de los precios unitarios, los puntos de divergencia se reducirán al mínimo.

La elaboración de los precios unitarios, no es más que una etapa dentro del proceso constructivo general, que se inicia con la investigación o estudio de la factibilidad de realizar una obra y que termina con la construcción de la misma.

No es posible calcular precios unitarios sin apoyo en especificaciones, ya que son éstas precisamente las que definen la obra que se requiere y la forma en que debe ejecutarse, lo que indudablemente constituye la base para determinar los precios unitarios de los conceptos de esa obra.

Previo a la elaboración de estos precios unitarios, es absolutamente indispensable, conocer a fondo los recursos tanto humanos, como de maquinaria y materiales, así como la disponibilidad de los mismos.

En términos generales, los elementos que componen un precio unitario son:

COSTOS DIRECTOS	}	Materiales			
		Mano de Obra			
		Equipo			
		Admon. en Obra			
		Admon. Central			
		Financiamiento	COSTO	+ UTILIDAD =	PRECIO
		Impuestos	UNITARIO		<u>UNITARIO</u>
		Finanzas y Seguro			
		Imprevistos			

Existen variaciones de criterio en cuanto a la forma de integrar un precio unitario, tanto en los costos directos, como los costos indirectos, con respecto al criterio establecido en la tabla anterior.

En los principales organismos oficiales que dentro de sus múltiples funciones se dedican a la perforación de pozos para agua han hecho una clasificación general de las formaciones geológicas para formular las estimaciones de trabajo. Cada organismo en particular tiene su propia clasificación aunque la diferencia entre cada uno de ellos es mínima.

A continuación tenemos la clasificación que la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas ha elaborado con relación a las formaciones geológicas, atendiendo tanto a la dureza, como a la dificultad para atravesarlas.

TIC I	}	Arcilla
		Limo
		Arena
		Arena arcillosa y limosa
		Gravilla
		Gravilla con arena
		Toba deleznable (sinéctica o arenosa).
		Piroclásticos finos

TIPO II	}	Arenisca
		Lutita
		Conglomerado
		Grava gruesa
		Aluvión fino
		Caliza y Dolomita no silicificadas
		Tobas riolíticas y andesíticas compactas
		Nolita y andesita alternadas
		Pizarra.
		Margas
TIPO III	}	Conglomerado y aglomerado de gran heterog genidad
		Aluvión grueso
		Rocas ígneas extrusivas no alteradas
		Gneiss
		Esquistos
		Caliza y Dolomitas silicificadas
		Mármol
Otras rocas metamórficas		

Es también importante dentro de la elaboración de los precios unitarios el rendimiento de equipos de perforación. La tabla siguiente nos da información de experiencias que se han tenido, en cuanto a rendimientos se refiere.

RENDIMIENTOS DE EQUIPOS DE PERFORACION, PARA DIFERENTES DIAMETROS Y TIPOS DE MATERIALES
(m/Hora)

Profundidad (m)	Perforación		Aplicaciones							
	3"	12"	8"-12"	12"-15"	12"-17½"	12"-22"	17½"-22"	17½"-24"	17½"-26"	17½"-28"
			MATERIALES TIPO I							
0-100	2.30	1.43		2.51	2.34	2.33	2.43	2.30	2.17	1.31
100-200	2.19	1.36		2.46	2.22	2.30	2.36	2.31	2.03	1.73
200-300	2.09	1.30		2.40	2.03	2.13	2.30			
300-400				2.34	1.95	1.99	2.22			
			MATERIALES TIPO II							
0-100	1.64	0.93	1.45	1.50	1.33	1.30	1.33	1.32	1.29	1.23
100-200	1.52	0.86	1.40	1.45	1.28		1.32	1.26	1.23	1.21
200-300	1.40	0.79	1.36	1.39	1.13		1.23			
300-400			1.30	1.34	1.11		1.23			
			MATERIALES TIPO III							
0-100	0.74	0.54	0.30	0.83	0.66		0.76	0.71	0.63	0.65
100-200	0.65	0.48	0.76	0.79	0.62		0.71	0.66	0.63	0.62
200-300	0.58	0.42	0.71	0.74	0.58		0.66			
300-400			0.66	0.69	0.52		0.60			

Tabla V.1 La tabla muestra los rendimientos promedio de equipos de perforación para los diferentes materiales clasificados, en base a estos rendimientos es posible calcular los precios unitarios por metro lineal perforado.

PRECIOS UNITARIOS EN LA PERFORACION

Para calcular los precios unitarios en la perforación de pozos de agua, como en cualquier otro trabajo de construcción, es necesario tener conocimiento del equipo que va a utilizarse y tener la cotización de sus precios en el mercado en el momento de hacer el análisis de costos de la Hora - Máquina como normalmente se acostumbra en todo trabajo de construcción. A continuación veremos el análisis de costos de Hora - Máquina para una perforadora de pozo de agua con una línea de perforación para 250 mts.

ANÁLISIS DE COSTOS

MÁQUINA PERFORADORA MSA MODELO B7 100 C

Costo de Hora - Máquina

Valor de adquisición		11'701,300.00
Menos: Un juego de llantas. (14 pzas)		
Llantas 1100x22-12 capas.	3,500.00	<u>119,000.00</u>
		11'582,300.00
Menos: valor de rescate	15%	<u>1'737,345.00</u>
Valor por depreciar		9'844,955.00
Depreciación	14%	
Reparaciones mayores y menores	10%	
Intereses, impuestos, almacén, seguros.	<u>12%</u>	
Cuma	36%	
Lapso de depreciación	7 años	
Horas de trabajo por año:	3000	
Cargos fijos del equipo básico	$\frac{9'844,955.00 \times 36}{3000 \text{ h}}$	\$ 1,131.40 Hora

CARGOS FIJOS DEL EQUIPO COMPLEMENTARIO

Cotizaciones:

(1) Soldadura electrica 300 amp. motor gasolina, Solacc.	190,000.00
(2) Equipo soldadura automática	6,000.00
(3) Planta de luz 5KW motor diesel 12 H.P. Mister	23,000.00
(4) Camioneta Ford F-350, motor	

gasolina 140 H.P.	\$320,000.00	
Menos 5 llantas		
750 x 16 a \$2,800.00pza.	<u>14,000.00</u>	306,000.00
(5) Motobomba centrífuga 4"x4"		
motor gasolina 12 H.P.		30,000.00

CARGOS FIJOS

	Soldadora Eléctrica	Equipo Sold. Aut.	Planta de luz	Camioneta	Motobomba
Depreciación	20%	25%	10%	25%	20%
Rep. mayores	15	20	10	15	8
Intereses, etc.	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>12</u>
	47	57	32	53	40

Horas de trabajo determinadas por el equipo básico = 2000 Hrs.

CARGOS:

(1) Soldadora =	$\frac{190,000.00 \times .47}{2000}$	44.65 h.
(2) Eq. Sold. Aut. =	$\frac{6,000.00 \times .57}{2000}$	1.71 h.
(3) Planta de luz =	$\frac{128,000.00 \times .12}{2000}$	20.48 h.
(4) Camioneta =	$\frac{306,000.00 \times .53}{2000}$	81.10 h.
(5) Motobomba =	$\frac{30,000.00 \times .40}{2000}$	6.00 h.
		<u>153.94 h.</u>

TOTAL CARGOS FIJOS: 1,131.40 + 153.94 31,335.34 h.

A) Combustible y Lubricantes.

	H.P. Diesel	H.P. Gasolina	Fact. pot. y op.	H.P. de Operación Diesel	Gasolina
Malacate y rot.	300		0.7	210	
Bomba de lodos.	350		0.9	315	
Soldadora eléct.		60	0.3		18
Planta de luz.	12		0.5	6	
Camioneta		140	0.3		42
Motobomba		18	0.5		9

Sumas: 531 69

Diesel

0.1514 L/H.P.h x 531 HP x (1.01 + 0.16)/L 94.06 h.

Gasolina:

0.227 L/H.P.h x 69 HP x (2.34 + 0.16)/L 46.99 h.

Lubricantes	Tipo de Aceite	Camb. cart. Cap/100 h.	Consumo Con uno L/h/MT	Consumo hora
Mot. Diesel	IBX-53-SAE 30/40	4.50	.0031 x 531 MT	1.55
Mot. y rot.	"	0.30		
De br. de lodos	"	0.60		
Fluor. de luz	"	0.04		
Mot. gasolina.	SAE 30		.0031 x 60 MT	.19
Soldadora	"	0.06		
Cambioneta	"	0.05		
Traca. rot.	SLL-SAE 140			.10
Traca. bomb. lod.				.36
Grival				.15
	Sumas:	5.55 litros/h		2.45
	Consumo	8.00 L/h.		

Aceite: 8.00 litros/h x (29.70 + 0.16)/L = 223.33 h.
 Traca y estopa: 3.00

FIDELIOS
 15 pzas. x 150.00/pza.: 100 horas = 22.50 = 269.33 h.
 Suma de combustible y lubricantes:
 94.06 + 46.99 + 269.38 = 3410.43 h.

B) Llantas
 Del equipo básico:
 119,000.00/3000 h = 39.67
 De la camioneta:
 14,000.00/1000 h. = 14.00 = 53.67 h.
 Total consumos 410.43 + 53.67 = 464.10 h.

CARGOS POR CARGO DE OBRA

Salarios	Básico nominal, s/día
1 Cabo de perforación \$450.00	\$450.00
1 Perforador	\$360.00
1 "Chungo"	\$300.00
3 Ayudantes de piso \$210.00	\$630.00
1 Soldador	\$302.00
1 Técnico de 1a \$418.00/2	\$209.00
1 Chofer	\$314.00
1 Operador de máquinas	<u>\$210.00</u> = \$2,345.00

Seguro Social		
1.237 \$ de 32,845.00		3481.37
Impuesto sobre erogaciones		
1 \$ de 32,845.00		<u>23.45</u>
Suma:		3,355.32

Días pagados por año.		
Salario	365	
Aguinaldo	15	
Prima de vacaciones,		
25 \$ de 6 días	<u>1.5</u>	331.5

Cargo horario por mano de obra.
3,355.32/365 = 331.5 días/año
2000 h/año 31,640.03

COSTO TOTAL DE LA HORA MÁQUINA TRABAJANDO

Cargos fijos	31,335.34	
Consumos	\$ 464.10	
Mano de obra	<u>31,640.03</u>	33,439.47/hora
Más porcentaje de gastos indirectos 44.3 %		<u>11,523.53</u>
Tarifa hora-máquina trabajando		24,963.15/hora

COSTO HORA MÁQUINA PARADA

El costo de hora máquina parada es el costo de la máquina trabajando incluyendo los cargos siguientes:

- a).-Rep.aciones mayores, 3 % anual sobre el valor de adquisición.
 - b).-Manos del equipo básico
 - a).-Cargo horario por reparaciones mayores
- | | |
|-------------------------------|----------------|
| <u>39,334,955.00 x 0.03 =</u> | 1,180.53 |
| 3000 | |
| b).-Manos del equipo básico = | <u>1377.45</u> |
| | 2557.98 |

Costo hora-máquina trabajando	33,439.47
Deducciones por máquina parada	<u>2557.98</u>
Costo hora-máquina parada	32,771.49
Más porcentaje gastos indirectos 44.3 %	<u>14,520.17</u>
Tarifa hora-máquina parada	<u><u>24,963.66</u></u>

171

ANALISIS DEL CARGO INDIRECTO EN
PORCIENTO DEL CARGO DIRECTO.

INDIRECTOS GENERALES.

1.-Cargos de oficinas, bodegas y talleres.	1.00%
2.-Administración de campo	4.00%
3.-Interés del capital invertido	3.75%
4.-Transporte de personal	2.00%
5.-Fianzas y financiamientos, seguros, etc.	11.25%
6.-Administración central	3.25%
7.-Impuestos fiscales	3.75%
8.-Imprevistos	<u>1.00%</u>

PORCENTAJE DE GASTOS INDIRECTOS
GENERALES

30.00%

9.-Cargo por utilidad

Utilidad sobre cargos directos	11.00%
Utilidad sobre gastos indirectos	
11% de 30%	<u>3.30%</u> 14.30%

PORCENTAJE TOTAL POR GASTOS

INDIRECTOS Y UTILIDAD

44.30%

Una vez que hemos visto la forma de calcular el costo hora-máquina para una perforadora rotaria con línea o tubería de perforación para 250 mts. de profundidad, el paso siguiente será el calcular los precios unitarios por metro lineal perforado para los diámetros más comunes en exploración y ampliaciones para los diferentes tipos de materiales clasificados en la tabla de páginas anteriores; y basandonos en los rendimientos hora-máquina para los diámetros más usuales en trabajos de perforación.

CONCEPTO: Perforación con equipo rotario para cada uno de los tres tipos de materiales y con un diámetro exploratorio de 8" (20.32 cm.) de 0 a 100 mts. de profundidad.

1.- EQUIPO:

COSTO HORARIO DE OPERACION DE MAQUINARIA 34,963.15	MATERIALES		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Rendimiento en la exploración de 8" de diámetro.			
Tipo I 2.30 ml/h.			
$\frac{34,963.15}{2.30} =$	2,157.89		
Tipo II 1.64 ml/h.			
$\frac{34,963.15}{1.64} =$		3,026.31	
Tipo III 0.74 ml/h.			
$\frac{34,963.15}{0.74} =$			6,706.95

2.- MATERIALES

a) MATERIALES NECESARIOS EN LA EXPLORACION.

- 1.) Barrena tricónica de 20.32 cm. de diámetro con insertos de carburo de tungsteno 220,000/pza.
- 2.) Barrena para martillo A-100-15 con insertos de carburo de tungsteno 210,000.00/pza.

Cargo por barrena tricónica	TIPO I	MATERIALES	
		TIPO II	TIPO III
Tipo I $\frac{220,000/\text{nza.}}{400 \text{ ml.}} =$	550.00		
Tipo II $\frac{220,000/\text{nza.}}{250 \text{ ml.}} =$		880.00	
Tipo III $\frac{220,000/\text{nza.}}{150 \text{ ml.}} =$			1,466.66
Cargo por barrena para martillo			
Tipo I $\frac{210,000/\text{nza.}}{800 \text{ ml.}} =$	262.50		
Tipo II $\frac{210,000/\text{nza.}}{500 \text{ ml.}} =$		420.00	
Tipo III $\frac{210,000/\text{nza.}}{300 \text{ ml.}} =$			700.00
3) Bentonita \$2,300.00 ton.			
Cargo por bentonita			
$\frac{19.4 \text{ ton.} \times 2,300/\text{ton.}}{222 \text{ ml.}} =$	196.85	196.35	196.35
4) Espumante \$21.92/Lt.			
Cargo por espumante			
$\frac{2,300 \text{ Lt.} \times 21.92/\text{Lt.}}{222 \text{ ml.}} =$	227.10	227.10	227.10
COSTO DIRECTO	3,394.34	4,750.26	9,297.56
COSTO INDIRECTO MAS			
UTILIDAD 44.30 %	1,503.69	2,104.36	4,113.81
PRECIO UNITARIO (ml.)	4,898.03	6,354.62	13,416.38
	<u><u> </u></u>	<u><u> </u></u>	<u><u> </u></u>

CONCEPTO: Perforación con equipo rotario para cada uno de los tres tipos de materiales y con un diámetro exploratorio de 8" (20.32 cm.) de 100 a 200 mts. de profundidad.

1.- EQUIPO:

COSTO HORARIO DE OPERACION DE MAQUINARIA \$4,963.15	MATERIALES		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Rendimiento en la exploración de 8" de diámetro			
Tipo I 2.19 ml/h.			
$\frac{4,963.15}{2.19} =$	2,266.28		
Tipo II 1.52 ml/h.			
$\frac{4,963.15}{1.52} =$		3,265.23	
Tipo III 0.65 ml/h.			
$\frac{4,963.15}{0.65} =$			7,635.62

2.- MATERIALES

a) MATERIALES NECESARIOS EN LA EXPLORACION.

- 1) Barrena tricónica de 20.32 cm. de diámetro con insertos de carburo de tungsteno 220,000/pza.
- 2) Barrena para martillo A-100-15 con insertos de carburo de tungsteno 210,000/pza.

Cargo por barrena tricónica	MATERIALES		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Tipo I $\frac{220,000/pza.}{400 \text{ ml.}} =$	550.00		
Tipo II $\frac{220,000/pza.}{250 \text{ ml.}} =$		880.00	
Tipo III $\frac{220,000/pza.}{150 \text{ ml.}} =$			1,466.66
Cargo por barrena para martillo			
Tipo I $\frac{210,000/pza.}{800 \text{ ml.}} =$	262.50		
Tipo II $\frac{210,000/pza.}{500 \text{ ml.}} =$			700.00

Cargo por barrena para martillo	MATERIALES		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Tipo III $\frac{210,000/\text{pza.}}{300 \text{ ml.}} =$			700.00
3) Bentonita 32,300.00/ton.			
Cargo por bentonita.			
$\frac{19.4 \text{ ton.} \times 2,300/\text{ton.}}{222 \text{ ml.}} =$	196.85	196.95	196.35
4) Espumante 321.92/lit.			
Cargo por espumante.			
$\frac{2,300 \text{ lts.} \times 21.92/\text{lit.}}{222 \text{ ml.}} =$	227.10	227.10	227.10
COSTO DIRECTO	3,502.73	4,939.18	10,226.24
COSTO INDIRECTO MAS			
UTILIDAD 44.3%	1,551.71	2,210.21	4,530.22
PRECIO UNITARIO	5,054.44	7,199.38	14,756.46

CONCEPTO: Perforación con equipo rotario para cada uno de los tres tipos de materiales y con un diámetro exploratorio de 12" (30.48 cm.) de 0 a 100 mts. de profundidad.

1. Equipo

COSTO HORARIO DE OPERACION

DE MAQUINARIA 34,963.15

Rendimiento en la explotación de 12" de diámetro.

Tipo I 1.43 ml/h.

$$\frac{34,963.15}{1.43} =$$

3,470.73

Tipo II 0.93 ml/h.

$$\frac{34,963.15}{0.93} =$$

5,336.23

Tipo III 0.54 ml/h.

$$\frac{34,963.15}{0.54} =$$

9,191.02

2) Materiales

a) MATERIALES NECESARIOS EN LA EXPLORACION.

- 1) Barrena tricónica de 12" con insertos de carburo de tungsteno \$240,000.00/pza.
- 2) Barrena para martillo A-100-15 con insertos de carburo de tungsteno \$225,000.00/pza.

	MATERIALES		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Cargo por barrena tricónica			
Tipo I $\frac{240,000/pza.}{400 ml.} =$	600.00		
Tipo II $\frac{240,000/pza.}{250 ml.} =$		960.00	
Tipo III $\frac{240,000/pza.}{150 ml.} =$			1,600.00
Cargo por barrena para martillo			
Tipo I $\frac{225,000/pza.}{800 ml.} =$	281.25		
Tipo II $\frac{225,000/pza.}{500 ml.} =$		450.00	
Tipo III $\frac{225,000/pza.}{300 ml.} =$			750.00
3) Bentonita \$2,300.00/ton.			
Cargo por bentonita			
$\frac{29.1 ton. \times 2,300/ton.}{222 ml.} =$	301.48	301.48	301.48
4) Espumante \$21.92/Lt.			
Cargo por espumante			
$\frac{2,900 lbs. \times 21.92/Lt.}{222 ml.} =$	286.34	286.34	286.34
COSTO DIRECTO	4,939.80	7,334.05	12,128.34
COSTO INDIRECTO MAS			
UTILIDAD 44.3%	2,188.33	3,248.98	5,373.07
PRECIO UNITARIO (M.L.).	<u>7,128.13</u>	<u>10,583.03</u>	<u>17,501.92</u>

CONCEPTO: Ampliación con equipo rotario de 12" (30.48 cm) a 17½" (44.45 cm.) de diámetro para cada uno de los tres tipos de materiales de 0 a 100 mts. de profundidad.

1. Equipo

COSTO HORARIO DE OPERACION

DE MAQUINARIA \$4,963.15

Rendimiento de ampliación de 12" a 17½" de diámetro.

Tipo I 2.34 ml/h.

$$\frac{4,963.15}{2.34} =$$

MATERIALES
TIPO I TIPO II TIPO III

2,121.00

Tipo II 1.33 ml/h.

$$\frac{4,963.15}{1.33} =$$

3,731.69

Tipo III 0.66 ml/h.

$$\frac{4,963.15}{0.66} =$$

7,519.02

2) MATERIALES

a) MATERIALES NECESARIOS EN LA AMPLIACION

1) 1 rima de 17½" de insertos de carburo de tungsteno \$138,000/pza.

2) 1 juego de roles cortadores para rima de 17½" \$68,200/pza.

Cargo por rima de 17½"

Tipo I $\frac{138,000/pza.}{800 ml.} =$ 172.50

Tipo II $\frac{138,000/pza.}{500 ml.} =$ 276.00

Tipo III $\frac{138,000/pza.}{300 ml.} =$ 460.00

Cargo por roles cortadores 17½"

Tipo I $\frac{68,200/pza.}{400 ml.} =$ 170.50

Tipo II $\frac{68,200/pza.}{250 ml.} =$ 272.50

Carga por roles cortadores 17 1/2"

$$\text{Tipo III } \frac{68,200/\text{pza.}}{150 \text{ ml.}} =$$

	MATERIALES		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
			454.67

3) Bentonita \$2,300/ton.

Carga por bentonita

$$\frac{34.5 \text{ ton.} \times 2,300/\text{ton.}}{222 \text{ ml.}} =$$

357.43	357.43	357.43
--------	--------	--------

4) Espumante \$21.92/Lt.

Carga por espumante

$$\frac{2010 \text{ Lts.} \times 21.92/\text{Lt.}}{222 \text{ ml.}} =$$

198.46	198.46	198.46
--------	--------	--------

COSTO DIRECTO

3,019.89	4,836.38	8,990.48
----------	----------	----------

COSTO INDIRECTO MAS

1,337.81	2,142.52	3,982.78
----------	----------	----------

UTILIDAD 44.3%

PRECIO UNITARIO (ML)

4,357.70	6,978.90	12,973.26
----------	----------	-----------

CONCEPTO: Ampliación con equipo rotario de 17 1/2" (44.45 cm) a 22" (51.88 cm) de diámetro en cualquiera de los tres tipos de materiales y a una profundidad de 0 a 100 mts.

1. Equipo

COSTO HORARIO DE OPERACION

DE MAQUINARIA \$4,963.15

	MATERIALES		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III

Rendimientos de ampliación de 17 1/2" a 22" de diámetro.

Tipo I 2.43 ml/h.

$$\frac{4,963.15}{2.43} =$$

2,042.45

Tipo II 1.38 ml/h.

$$\frac{4,963.15}{1.38} =$$

3,596.49

Tipo III 0.76 ml/h.

$$\frac{4,963.15}{0.76} =$$

6,530.46

2) MATERIALES

a) MATERIALES NECESARIOS PARA LA AMPLIACION	MATERIALES		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
1) Rima de 22" con insertos de corturo de tungsteno 3143,724.00/pza.			
2) Juego de cortadores para rima de 22" \$90,944.00/pza.			
Cargo por rima de 22"			
Tipo I $\frac{143,724/pza.}{800 \text{ ml.}} =$	179.66		
Tipo II $\frac{143,724/pza.}{500 \text{ ml.}} =$		287.45	
Tipo III $\frac{143,724/pza.}{300 \text{ ml.}} =$			479.08
Cargo por roles cortadores de 22"			
Tipo I $\frac{90,944/pza.}{400 \text{ ml.}} =$	227.36		
Tipo II $\frac{90,944/pza.}{250 \text{ ml.}} =$		363.98	
Tipo III $\frac{90,944/pza.}{150 \text{ ml.}} =$			606.29
3) Bentonita \$2,300/ton.			
Cargo por bentonita			
$\frac{46 \text{ ton.} \times 2,300/\text{ton.}}{212 \text{ ml.}} =$	499.06	499.06	499.06
4) Espumantes \$21.92/Lt.			
Cargo por espumantes			
$\frac{2,220 \text{ Lts.} \times 21.92/\text{Lt.}}{212 \text{ ml.}} =$	229.54	229.54	229.54
COSTO DIRECTO	3,178.07	4,976.52	8,344.43
COSTO INDIRECTO MAS			
UTILIDAD 44.3%	1,407.88	2,204.60	3,696.58
PRECIO UNITARIO (M.L.)	<u>4,585.95</u>	<u>7,181.12</u>	<u>12,041.01</u>

Como se ha visto en la forma anterior, es esta una de las maneras de calcular los precios unitarios para formular un catalogo general de precios unitarios para la perforación de pozos de agua, que cada empresa contratante dedicada a este ramo debe tener. En la misma forma se procedería para calcular los precios unitarios por cualquier otro concepto relacionado con la perforación de pozos, como seria por ejemplo, el acarreo de materiales a granel que es pagado por m³-m., la instalación o desmantelamiento de equipo que es pagado, dependiendo de las características del mismo como pago global, o la colocación de materiales graduados que son utilizados como filtros y que son pagados por metro lineal perforado dependiendo de la separación entre diámetro del agujero y diámetro de ademe, etc.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

Capitulo I

Introducción y generalidades.

Como pueden ver, el agua ha sido desde los tiempos más remotos un elemento indispensable no solo en el desarrollo de las civilizaciones sino en la existencia de la propia vida vegetal o animal. Las civilizaciones paganas antes de la era cristiana ya tenían sus abastecimientos de agua para los núcleos de población que formaban y conocían hasta cierto punto que las aguas contaminadas les eran perjudiciales para la salud y aunque con métodos muy rudimentarios ya para entonces trataban de desinfectarlas.

Los tipos de fuentes de abastecimiento existentes a disposición del hombre son dos, las superficiales y las subterráneas. Las superficiales comprenden los lagos, ríos, áreas de drenaje que envían agua a los embalses y los procedimientos que permiten captar el agua de lluvia, las subterráneas, con las que incluyen a los pozos, manantiales y galerías filtrantes.

Las fuentes superficiales, algunas veces pudieron ser subterráneas o viceversa, y a su vez pueden volverse superficiales en un tercer sitio pues existe una gran relación entre ellas.

Las aguas superficiales, siempre ha sido más fácil comprender su comportamiento debido a que pueden verse y observarlas, en cambio las subterráneas solo se pueden "ver" y observar a través de los pozos y del flujo en los manantiales.

Acerca del comportamiento de las aguas subterráneas anteriormente se tenía muchas dudas y existían muchas teorías infundadas que a través de los estudios y observaciones se ha tenido mejor conocimiento de su comportamiento.

Existen muchas ventajas que hacen que el agua subterránea tome una gran importancia como una fuente de

abastecimiento para satisfacer las necesidades de la humanidad. Según comparaciones a nivel mundial del agua dulce existente en el mundo solamente algo más del 3% corresponde a las aguas superficiales y el 96% restante corresponden a las aguas subterráneas, otro de ellos indica que el volumen almacenado en el subsuelo es unas 20 veces mayor que el agua dulce superficial.

Independientemente de la precisión de estas estimaciones, el hecho es que las aguas superficiales ya están siendo aprovechadas en su mayoría, mientras las demandas de agua continúan aumentando. Esto significa que en el futuro las demandas de agua tendrán que ser satisfechas en mayor proporción de aguas procedentes del subsuelo.

Además de su mayor abundancia el agua subterránea presenta varias ventajas con respecto al agua superficial, lo cual hace su aprovechamiento cada vez más atractivo.

En el agua subterránea se tienen mucho menores pérdidas por evaporación ya que los depósitos subterráneos se encuentran protegidos de las altas temperaturas que con caídas directamente sobre las áreas expuestas a el sol.

Otra ventaja es que el agua subterránea tiene menor exposición a la contaminación pues los materiales granulares funcionan como un gran filtro que retiene los contaminantes, especialmente los biológicos; y aunque existe la contaminación química por un mal manejo, la baja velocidad con que el agua circula en el subsuelo no propicia su rápida propagación a grandes áreas como en la superficie.

Estas y otras ventajas mencionadas en el capítulo correspondiente nos hace pensar sin duda que el agua subterránea es un recurso que debe ser aprovechado en el futuro, utilizando para ello las mejores técnicas que las investigaciones nos han proporcionado.

Para comprender mejor el comportamiento de las aguas subterráneas es importante comprender el significado de los factores que intervienen en dicho comportamiento. A continuación definiremos algunos de estos factores:

Acuíferos.

Llamamos "acuifero" a aquellos estratos que nos pueden proporcionar agua en una cantidad aprovechable, a su vez los acuiferos pueden clasificarse en tres tipos principales que son: confinados, semiconfinados y libres.

Decimos que un acuifero es confinado cuando se encuentra limitado superior e inferiormente por formaciones impermeables relativamente, y el agua contenida en él se encuentra a una presión mayor que la atmosférica.

Si un acuifero está limitado por formaciones que nos permeables que él mismo, pero a través de las cuales puede recibir, o ceder, volúmenes significativos de agua se le llama acuiferos "semiconfinados"

Llamamos acuiferos "libres" cuando tiene como límite superior al nivel freático. Haciendo una analogía con obras hidráulicas, puede decirse que un acuifero confinado funciona como una tubería a presión y que un acuifero "libre" funciona como un gran canal. También debemos tener en cuenta que los acuiferos confinados o semiconfinados pueden convertirse en libres, cuando la superficie piezométrica desciende bajo el techo del acuifero.

Propiedades de las rocas.

Son también importantes las propiedades de las formaciones que forman el subsuelo bajo el cual se encuentran los acuiferos, de lo cual tenemos:

La propiedad de la roca (n) es una medida del volumen de vacíos que contiene, y se expresa como un porcentaje del volumen total.

Cuando tenemos una zona de saturación, la porosidad se toma como una medida de la cantidad de agua que la roca contiene, puesto que en esta zona los vacíos están totalmente saturados.

Se define como Rendimiento Específico (S_y) de una roca a la cantidad de agua que libera, por unidad de volumen cuando el nivel freático experimenta un abatimiento unitario. Y la Retención Específica (r) como la capacidad de una roca para retener un cierto volumen de agua en contra de la gravedad, por unidad de volumen de roca.

De acuerdo a las anteriores definiciones podemos tener: $n = S_y + r$

El coeficiente de almacenamiento específico (G_s) lo podemos definir como la cantidad de agua liberada por unidad de volumen de material, cuando la carga hidráulica decrece una unidad y es expresada en unidades de longitud l/L.

El coeficiente de almacenamiento (S) se define como la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al exposor del acuífero, cuando la carga hidráulica decrece una unidad. Es un coeficiente adimensional.

De las dos definiciones anteriores se desprende que: $S = S_s \cdot b$
en que b es el espesor del acuífero.

La permeabilidad (K) es la capacidad de una roca para permitir la circulación de agua a través de ella y su valor está dado por el coeficiente de permeabilidad, que es definido como el caudal que circula a través de un área unitaria transversal al flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario. Esta propiedad depende de la forma, acomodo y distribución granulométrica de las partículas que lo constituyen.

Un concepto relacionado con el anterior es el coeficiente de transmisibilidad el cual se define como el producto del coeficiente de permeabilidad y el espesor saturado del acuífero. Se expresa en $m^2/\text{seg.}$ o en $m^2/\text{día.}$

El contenido de humedad de una roca (u) es la cantidad de agua que contiene por unidad de volumen, cuando esta se encuentra saturada el contenido de humedad es igual a la porosidad.

(G_s) El grado de saturación es la relación entre la cantidad de agua que contiene y su volumen de vacíos; y se expresa en porciento. En la zona de saturación todos los materiales tienen un G_s de 100 %.

La definición de humedad (W_h) es la diferencia entre la retención específica y el contenido de humedad, cuando éste es inferior a aquella. Dicho de otra manera, es la cantidad de agua que una roca requiere para satisfacer su retención específica.

Ademas de las propiedades de materiales que limitan los acuíferos éstos tienen mecanismos de recarga y descarga naturales, que pueden ser modificados mediante recarga y/o descargas artificiales.

La recarga natural del acuífero tiene lugar por la infiltración de agua de lluvia en formaciones permeables. El acuífero puede también ser recargado artificialmente mediante la infiltración de agua a través de obras construídas con este fin.

La descarga natural tiene lugar a través de manantiales y cauces o por evapotranspiración, o subterráneamente al mar o a cualquier masa de agua superficial.

El agua se mueve en el acuífero de las zonas de recarga a las de descarga, con velocidades que pueden variar desde unos cuantos centímetros por año en materiales arcillosos y pudiendo llegar en algunas rocas volcánicas y calizas a varios kilómetros por año.

Los niveles freáticos o piezométricos oscilan continuamente respondiendo a la recarga y descarga de los acuíferos. Si el nivel del agua no está afectado por una captación, se le llama nivel estático en caso contrario se le llama nivel dinámico o de bombeo.

Cuando la descarga se efectúa por medios artificiales como son galerías o pozos profundos, da lugar a una serie de técnicas que debemos emplear para obtener los máximos beneficios de estas obras artificiales de descarga.

En nuestro caso en particular hemos visto las principales características que influyen en el comportamiento de los acuíferos que nos serán de utilidad al aplicar los métodos adecuados; en este caso para la perforación de pozos profundos y así obtener un considerable ahorro económico y una explotación racional del acuífero.

CONCLUSIONES

Capítulo II

Métodos utilizados.

Dentro de la perforación de pozos una vez que se ha determinado la zona donde ha de necesitarse el agua se procede en base a la cercanía, localización de cuencas, accesibilidad y otros factores, a la realización de estudios geofísicos o geohidrológicos o de la información procedente de pozos cercanos, a dar la localización precisa de donde ha de perforarse el próximo pozo.

Las etapas más importantes durante la construcción de un pozo podemos en general tomarlas como cuatro y que son: la perforación, la instalación del ademe, la colocación de la rejilla y el sellado cuando se necesita para protección sanitaria, y por último el desarrollo y aforo, para obtener un máximo rendimiento. Cuando se impone el uso de un filtro de grava, su colocación se considera parte de la instalación de la rejilla.

En general los métodos utilizados para el abastecimiento de agua subterránea son:

El de percusión o también llamado de pulseta que es uno de los más antiguos. El rotario que en la actualidad emplea el tipo convencional o el de circulación inversa y que utiliza lodos bentoníticos como fluidos de perforación, o también últimamente se ha difundido el empleo de aire como fluido de perforación llamado generalmente método neumático.

En la perforación de rocas ígneas del tipo de los granitos, basaltos, andesitas, tobas, etc. Puede utilizarse equipos de percusión o rotarios, siendo más recomendable el método de percusión, si se emplea el sistema rotario se recomienda utilizar como fluidos de perforación aire o espumante, cuando las formaciones anteriores presentan alternancia se puede variar del sistema de perforación del neumático al convencional.

Las más comunes de las rocas sedimentarias que se pueden encontrar al efectuar una perforación son las calizas, margas, conglomerados, areniscas y lutitas. Puede usarse el sistema de percusión o el rotario neumático con martillo.

Las lutitas y las margas se consideran no productoras por su alto contenido de arcilla.

De las rocas metamórficas las más conocidas son las de origen metamórfico regional, que están representadas por pizarras, filitas, esquistos y gneiss. Los esquistos y gneiss pueden ser productoras cuando han desarrollado una permeabilidad secundaria (fracturamiento) se recomienda el empleo de los equipos rotarios.

Cuando tenemos formaciones aluviales es muy recomendable el utilizar equipos rotarios de circulación directa empleando lodos bentoníticos como fluido de perforación.

Lo anteriormente expuesto no deben considerar solamente como recomendaciones generales, ya que no se ha mencionado que cuando las rocas ígneas o metamórficas presentan fracturamiento, y si se está utilizando el equipo rotario las pérdidas de circulación pueden ser no controladas y nos obligarán a cambiar al sistema de percusión.

Método de percusión

El método de percusión es adecuado cuando se perforan formaciones rocosas consolidadas o en rocas con cavernas o formaciones permeables, donde se tiene mucha pérdida de fluido y es igualmente preferido cuando se necesita obtener muestras representativas de las formaciones atravesadas.

La operación se lleva a cabo, levantando y dejando caer con regularidad una pesada línea de herramientas del agujero que se va abriendo. El barrenado fractura o desmorona la roca dura. Cuando se está perforando en materiales suaves o no consolidados el barrenado afloja el material. En ambos casos la acción de vaivén entremecida con agua las partículas desprendidas, formando así un lodo. El agua necesaria es agregada al agujero cuando no se encuentra presente en éste.

El lodo resultante debe ser retirado de tiempo en tiempo mediante una bomba de arena o una cuchara de extracción.

Una sarta completa de herramientas de perforar se constituye por cuatro elementos que son: el barrenado, la barra de peso, las tijeras de perforar y el portacable giratorio. La barra le imprime un peso adicional al barrenado, el cual -

ayuda a mantener recto el agujero cuando se perfora en roca dura. Las tijeras consiste en un par de barras de acero articuladas. Cuando se está trabajando en aquellos materiales en los que el barreno esta propenso a quedar aprisionado, se utilizan las tijeras para aflojar las herramientas.

Cuando se esta perforando en formaciones cuaves por el método de percusión difiere un poco de aquella que se realiza en roca dura. En primer termino el barreno debe ser seguido de cerca por una tubería de ademe conforme el agujero va profundizandose, con el objeto de evitar el socavamiento y mantenerlo abierto. En segundo lugar, la acción penetrante del barreno constituye, en mayor parte el efecto de aflojamiento y mezclado. La fracturación es de poca importancia, excepto cuando aparecen cantos grandes.

Método californiano

El método californiano utiliza los mismos principios que el de percusión con excepción de tres aspectos: una pesada cuchara llamada cuchara de lodos que se utiliza al mismo tiempo como cuchara y como barreno; en lugar de tubería estándar de acero se usan como ademe tubos cortos de acero laminado, se emplean a su vez gatos hidráulicos para introducir el ademe, en vez de utilizar las herramientas para producir el impacto necesario.

En este sistema la perforación del ademe, en aquellos lugares en que el registro del pozo indica la presencia de gravas o arenas acuíferas, se realiza al terminar el hincado del mismo por medio de un perforador de ademe, ya que no se puede escoger una rejilla adecuada pues los acoples del ademe son muy debiles.

En este sistema el tamaño de los agujeros en el ademe es muy irregular por lo que arroja grandes cantidades de arena lo cual significa un inconveniente.

El método rotario.

El método hidraulico consiste en oradar un agujero mediante la acción rotaria de un trépano, los fragmentos que se producen son removidos con un fluido que continuamente se hace circular. El trépano se fija al extremo inferior de la línea

de tubería. En el sistema convencional el fluido es bombeado a través de la tubería de perforación y expulsado por las boquillas de ésta. El lodo, entonces fluye verticalmente hasta la superficie a través del espacio anular que se halla alrededor de la tubería. Ya en la superficie del terreno, el fluido se conduce hasta un foso de sedimentación y de ahí a otro de reserva. En éste es de nuevo bombeado hacia el interior de el pozo una vez que su contenido de fragmentos se ha sedimentado.

En el sistema se utilizan generalmente dos tipos de trépanos que son: el de rodetes dentados, usualmente denominado trépano para roca y el de arrastre, que comprende el tipo de cola de pescado o el de tres aletas. Los trépanos de arrastre contienen aletas cortas con filos cortantes forjados y unas boquillas o eyectores que dirigen chorros de fluido de perforación por debajo de las aletas para mantenerlas limpias y enfriarlas. Los trépanos de arrastre ejercen rápida acción en arcillas o arenas pero no funcionan bien en gravas gruesas o formaciones rocosas.

El trépano de rodetes ejerce una acción cortante y de trituración. Los rodetes o cortadores son dentados los cuales son endurecidos y con una gran variedad de formas y separaciones, generalmente se utiliza el carburo de tungsteno para tratar los dientes o cortadores. Al igual que los trépanos de arrastre tienen boquillas para el fluido de perforación, el tipo más utilizado en formaciones consolidadas es el trépano o barrena tricónica.

El fluido de perforación puede ser desde un agua lodosa hasta una mezcla viscosa y sus principales funciones pueden ser: proteger las paredes del agujero del socavamiento, recoger los fragmentos del fondo del pozo, sellar las paredes del agujero para reducir la pérdida de circulación, enfriar y limpiar el trépano, etc. Para formar los lodos de perforación en la actualidad cuando se trabaja con este sistema se utiliza bentonita agregada al agua para formar el lodo.

La viscosidad del fluido de perforación es una de las variables que más influyen en la velocidad de la perforación, también son importantes el peso sobre el trépano, la

velocidad de rotación, el estado de conservación del trépano, etc.

El método rotario de circulación inversa.

El método rotario de circulación inversa, a diferencia del rotario convencional se invierte la circulación del fluido de perforar. El extremo de aspiración de la bomba en lugar de descarga, se conecta al vástago giratorio a través del eslabón superior, y de ahí a la tubería de perforación. Esta vez el fluido de perforación con su carga de fragmentos se desplaza hacia arriba por dentro de la tubería y es descargado por la bomba al foso de sedimentación.

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

El fluido puede describirse como un agua lodosa más que un lodo de perforación, los espumantes son utilizados en este método de perforación. La perforación de gravas gruesas y secas son las que nos presentan más pérdidas de agua por este sistema por lo que es recomendable agregar al agua arcilla, pero esto se trata de evitar a menos que sea imprescindible.

Al utilizar este sistema la tubería de perforación debe tener diámetros del orden de 15 cm. con objeto que cantos que tengan hasta 12 cm. de diámetro puedan ser extraídos por dentro de la tubería.

Con este sistema se pueden perforar pozos hasta de 1.5 m. de diámetro. Se recomienda que la velocidad de descenso del agua sea del orden de 30 cm. por segundo y las velocidades angulares del trépano varien entre 10 y 40 r.p.m.

La circulación inversa proporciona el método más económico para perforar en diámetros grandes, formaciones suaves y no consolidadas. Cuando las condiciones geológicas son adecuadas, el costo de perforación de un agujero de 0.90 o 1 m. de diámetro es ligeramente mayor que uno de 0.60 m.

En consecuencia la mayor parte de los agujeros perforados por este método son del orden de unos 0.60 m. de diámetro o mayores.

Las condiciones que limitan el método son: cuando el nivel estático se encuentra muy elevado, la falta de abastecimiento de agua para compensar las pérdidas por formaciones muy permeables, formaciones rígidas de arcilla o lutitas y la existencia de gran cantidad de guijarros o cantos.

Perforación rotaria con aire comprimido.

Cuando se utiliza aire comprimido como fluido de perforación, en lugar de lodo se dice que se está empleando el método neumático comúnmente. En este sistema se hace circular aire a presión por la tubería de perforación el cual escapa por las aberturas del trépano, subiendo luego por el espacio anular que rodea a la tubería. El aire arrastra los fragmentos hasta la superficie o los expulsa de las figuras de la roca.

Este método se aplica generalmente a formaciones consolidadas. Las máquinas de perforar rotarias diseñadas para trabajar con aire, están por lo general equipadas con una bomba convencional de lodo además de un compresor de aire de gran capacidad. El lodo de perforar puede utilizarse cuando se está perforando en materiales derrumbables que se hallen sobre el basamento. Posteriormente la perforación se prosigue utilizando aire.

Los ensayos de campo han demostrado que en formaciones consolidadas cuando se utiliza aire en lugar de lodo de perforación, la velocidad de penetración es mayor así como la duración del trépano. Sin embargo si mucha agua ingresa al pozo la velocidad de penetración no es mayor que la que se obtendría si se perforará con lodo.

El otro tipo de herramienta que se utiliza en este sistema es un martinete neumático, que se halla colocado en el extremo inferior de la tubería, este combina el efecto percusivo de la perforación con herramientas de cable, con la acción rotaria de los equipos respectivos. Hasta ahora los trépanos de gran diámetro no han resultado prácticos; el máximo tamaño que corrientemente se utiliza es de unos 15 cm. de diámetro aunque se dispone también de tamaños un poco mayores.

El aire comprimido deberá suministrarse a una presión entre 7 y 7.7 kg/cm² aunque algunas herramientas necesitan hasta 14 kg/cm² y la velocidad apropiada de rotación se encuentra entre 10 y 30 r.p.m.

Una de las ventajas prácticas al perforar por este sistema en pozos domiciliarios, consiste en que el perforador puede observar conforme avanza la perforación, cuanto agua es expulsada del pozo junto con los fragmentos. En esta forma estará en condiciones de juzgar si el pozo a alcanzado la profundidad suficiente como para producir el rendimiento que se desea obtener.

Otros métodos de perforación

Perforación a chorro

El método es similar al de percusión a chorro, este combina la acción de golpeteo con la expulsión de chorros de agua a un costado del cincel con que se está perforando. Este sistema se ha visto limitado a perforar pozos de 7.5 a 10 cm. de diámetro y a profundidades del orden de unos 60 m. la forma de decalcear los fragmentos es similar al utilizado en el método rotario convencional y las carreras del trépano en este caso son más cortas que en el sistema de percusión convencional.

El método de percusión a chorro puede utilizarse para la penetración de areniscas o esquistos, que no sean muy duras. El uso principal es el de perforar pozos de pequeño diámetro en arenas acuíferas.

Método de percusión hidráulica

El método es similar al que se utiliza por percusión a chorro, el trépano es también similar excepto que se halla provisto de una válvula de retención de bola, entre el trépano y el extremo inferior de la tubería de perforación.

La perforación se ejecuta levantando y dejando caer el trépano mediante carreras cortas y súbitas. Conforme el trépano cae y golpea en el fondo, el agua que contiene los fragmentos hace su entrada a través de los orificios del trépano. Cuando este es subido, la válvula de retención se cierra y atrapa al fluido contenido en ella. Este movimiento alterno continuo produce una acción de bombeo que eleva el fluido hasta la superficie, donde es descargado a un foco de sedimentación.

El agua se hace retornar al agujero para completar así el ciclo de circulación del fluido, lo que tiene lugar en dirección inversa a la del método de chorro.

La ventaja del método es que necesita un mínimo de equipo y además pueden obtenerse muestras de buena calidad de las formaciones. Sin embargo su utilización se restringe a perforaciones de pequeño diámetro y a formaciones arcillosas y arenas libres de guijarros o cantos.

El método consiste en la instalación de un taladro en la parte inferior de la línea de perforación en el método rotario. Este sistema de perforación tiene aplicación en lugares en que las formaciones arcillosas permanecen sin derrumbar hasta que se instale la tubería de ademe, resulta difícil perforar arenas debajo de la superficie freática.

Cuando se encuentren guijarros o cantos, estos deberán ser extraídos mediante la cuchara de extracción, por lo que el espacio anular entre el agujero y la tubería debe ser de un diámetro suficientemente grande para permitir esta operación. Pozos hincados o clavados.

Los pozos hincados solamente pueden construirse en formaciones suaves que se encuentren libres de guijarros o cantos y se hincan hasta profundidades de unos 15 m.

Los pozos hincados son bombeados por lo general utilizando la presión atmosférica. Si se utiliza tubería de 5 cm. o mayor se pueden usar ciertos tipos de bombas, tales como la de eyector o chorro, o la de cilindro para bombear agua desde profundidades mayores.

Las punteras pueden clavarse por medios manuales que no necesitan más que uno o dos hombres y mecanismos apropiados para esto. Los diámetros pueden variar entre 7.5 y 10 cm. solamente, el hincado puede hacerse con un pesado mazo aunque no es recomendable, pues los golpes desviados pueden torcer o quebrar la tubería.

Puede acoplarse a una máquina de percusión una herramienta de hincado de unos 35 o 40 kgs. de peso y da muy buenos resultados.

Estos pozos son generalmente utilizados para drenar áreas como en el caso que se este construyendo la cimentación de un edificio, pues se ha comprobado que en ocasiones muy frecuentes resulta más económico hincar o clavar pozos de pequeño diámetro que poner a trabajar un sistema de bombas para drenar el área de trabajo.

PROGRAMA DE PERFORACION

Para tener bases para realizar el diseño del pozo se hace necesario tener siempre un programa de perforación, apoyándose en los estudios previos a la perforación y poder determinar por ejemplo: tipo y capacidad del equipo que es posible instalar, profundidad por alcanzar, diámetro de perforación, localización de las tuberías de adorno, etc.

Una vez que se ha determinado el sitio preciso donde se ha de efectuarse la perforación y escogido el método más adecuado o del que se disponga para la perforación se comienza siempre la perforación con un diámetro exploratorio que generalmente se encuentra entre 3" y 12" de diámetro.

Muestreo

Durante la perforación exploratoria deben obtenerse muestras de los materiales atravesados cada 2 m. generalmente o cada cambio de formación pero nunca se tomarán muestras en intervalos mayores de 10 m., es también importante que cuando se sospeche de la existencia de contaminación se tomen muestras del agua durante la perforación exploratoria y en base a esto se determine si se debe continuar o no la perforación o buscar otro sitio para la construcción del pozo.

Registro eléctrico.

Si durante la perforación exploratoria no se nota nada anormal al terminar está se deberá correr un registro eléctrico vertical para compararlo con el corte litológico que se obtenga de las muestras tomadas, ya basándose en esta comparación o en la interpretación que se de al registro eléctrico estaremos en condiciones de dar el diseño definitivo del pozo o determinar suspender la construcción del mismo dependiendo de cada caso en particular.

Verticalidad.

Es también importante que durante la perforación exploratoria se efectúen chequeos de la verticalidad del pozo pues se tienen límites tolerables y cuando se rebasan los mismos se tienen problemas en la selección y profundida a que se deba instalar el equipo de bombeo así como en el funcionamiento del mismo o de la instalación de las tuberías de adorno.

En la perforación por rotación el alineamiento del pozo se verifica cuando ya se ha instalado el ademe pero siempre antes de que esté sea sellado dentro del agujero por cementación o de alguna otra manera.

Cementación

Intimamente ligado con los trabajos de terminación, esta el uso del cemento, estas operaciones deben realizarse cuando en el curso de la perforación se pretenda aislar acuíferos de alta salinidad o bien para evitar contaminación de acuíferos de buena calidad factibles de explotación.

Esta consiste en inyectar cemento de manera que éste ocupe el espacio anular comprendido entre la tubería de ademe y las paredes del agujero.

Una de las maneras de colocar la cementación es la llamada cementación forzada que consiste en introducir el cemento a presión por el interior de la tubería de contrademe y penetrar en el espacio anular a través de agujeros perforados expresamente en la parte inferior de la columna de contrademe.

Tuberías de ademe

Las tuberías de ademe se instalan principalmente para crear en el pozo una "camara de bombeo" pues durante la explotación los pozos están sujetos a una serie de fluctuaciones en sus niveles de bombeo. También se hacen necesarias cuando se tienen que aislar acuíferos, pues sirve de soporte a la cementación, son necesarias además en formaciones demasiado derrumbables en que se hace necesaria la colocación de un filtro artificial de grava entre la tubería de ademe y el agujero.

La longitud de las tuberías de ademe será mayor que la suma del nivel de bombeo y los futuros abatimientos, a fin de que al estar en operación los tazonos de la bomba, éstos no queden frente al acuífero evitando la succión directa y los consiguientes arenamientos; su diámetro estará en función del gasto por extraer. A partir de este nivel y hasta el fondo se instala el cedazo pudiendo ser de igual o menor diámetro que el de la tubería lisa.

La unión de las tuberías se lleva a cabo colocando a tope los tramos de tubería los cuales son generalmente de 6 m. cada tramo, una vez colocados a tope se unen por medio de tres

cordones de soldadura eléctrica en el espacio que para ello dejan los viceles, a manera de refuerzo perimetral se distribuyen y sueldan tres o cuatro placas de aproximadamente 7.5 x 15 cm. los tramos así unidos deberán formar un cilindro de manera tal que al calibrarse no presenten una desviación mayor de 1/2 grado en 100 m. de longitud. Una vez unidos se van suspendiendo hacia abajo del agujero por medio de una grúa que generalmente viene junto con el equipo de perforación.

Generalmente el espacio libre entre la tubería de ademe y el agujero variará entre 3" y 5" hacia cada lado; espacio suficiente para la colocación del filtro de grava.

Tapón de fondo

La función principal del tapón de fondo consiste en evitar que los arenamientos originados por las turbulencias del bombeo penetren por la parte inferior del ademe y forzar a éstos a entrar por las ramuras del cedazo durante el desarrollo. Consiste en una lechada agua-cemento cuyo volumen ocupará de 1 a 1.5 m. lineales de dicha tubería.

Filtro de grava.

La colocación de los filtros de grava se realiza para impedir que los materiales finos procedentes de formaciones aluviales sean arrastrados al interior del pozo. Para esto se debe programar un espacio anular entre las tuberías de ademe y el agujero y cuyas medidas más usuales se encuentran entre 3" y 5" hacia cada lado, los cuales deberán ser ocupados preferentemente por gravas de cuarzo o en su defecto de arroyos o ríos, pues éstas no son fácilmente deleznable.

El tamaño de estas sera el que especifique el análisis granulométrico de los materiales perforados o de las aberturas de la rejilla en su caso.

Limpieza.

Terminado de engravar el pozo se procederá a limpiarlo extrayendo todos los materiales y lodos que hayan quedado procedentes de la perforación.

La labor se efectuará bombeando agua limpia a través del interior del pozo con la bomba de lodos.

También debe efectuarse una labor de "pistonao" para realizar una labor enérgica.

Deberá aplicarse además un tratamiento a base de un dispersor de arcillas con una proporción de 20 litros por cada 30 metros de profundidad. Este tratamiento podrá auxiliarse con cargas de hielo seco que podrán variar desde 50 hasta 500 kgs.

Finalmente deberá soldarse una tapa con cordón continuo, como medida preventiva de la conservación del pozo antes de iniciar las operaciones de desarrollo y aforo.

CONCLUSIONES

Capítulo III

Rehabilitación y tratamiento.

Casi en condiciones generales los pozos de agua funcionan deficientemente a través del tiempo debido a algunas razones de las cuales podemos mencionar:

Un diseño inadecuado del pozo, deficiencias de construcción, mala selección de la bomba, obturación de los poros del acuífero por materiales finos arrastrados por el flujo del agua hacia el pozo, o por incrustaciones de elementos precipitados químicamente, por corrosión de la tubería, etc.

Todos los puntos antes mencionados pueden ser controlados cuando menos parcialmente, si la obra de captación se ejecuta de acuerdo a las técnicas adecuadas.

Básicamente todos los procesos de rehabilitación se basan en invertir el flujo de agua en el interior del pozo, provocándose el movimiento de los finos hacia él.

Pozos en operación bien diseñados reciben una notable mejoría si cada 5 años más o menos son sometidos a un tratamiento de rehabilitación, pozos mal diseñados requieren de rehabilitaciones en periodos más cortos dependiendo de su ineficiencia.

Básicamente los tratamientos a que se someten los pozos son dos: a base de rehabilitación mecánica y a base de tratamientos químicos.

Los métodos empleados en las rehabilitaciones de pozos son esencialmente los mismos que se emplean en el desarrollo, la diferencia es que las rehabilitaciones se efectúan a pozos en operación a través del tiempo y los desarrollos se llevan a cabo inmediatamente después de terminada la construcción del pozo y antes de que éste se ponga en operación.

Los tratamientos químicos deben aplicarse en etapas sucesivas dependiendo éstas, del tratamiento que se trate.

Tratamientos con ácido

El ácido clorhídrico es el más empleado de los tratamientos a base de ácido, este se usa con un inhibidor, que en caso de que este no sea conseguido puede usarse gelatina casera el inhibidor o la gelatina protegen al adorno del pozo de los -

efectos del ácido; mientras que el ácido clorhídrico (muriático) disuelve los carbonatos de calcio y magnesio y hace que los hidroxidos de hierro y manganeso se solubilizan con el agua.

Las concentraciones que deben usarse son las más altas que se consiguen en el mercado y que generalmente son del 27 % de ácido puro.

El ácido debe usarse a plena concentración, la cantidad de ácido que se necesita para un solo tratamiento es de 1.5 a 2 veces el volumen de la columna de agua contenida en la rejilla. Tan pronto como sea posible deberá agitarse el ácido de una u otra manera por un término de una o dos horas, la agitación se podrá continuar si se juzga necesario, después debe achicarse el pozo hasta que el agua se encuentre clara. Mientras se maneja la cuchara el perforador podrá cerciorarse si el primer tratamiento ha mejorado el rendimiento del pozo.

El tratamiento deberá repetirse enseguida, y si se cree conveniente se aplicará un tercer tratamiento.

Se puede variar el método al alternar el tratamiento con ácido con la aplicación de cloro, el cloro elimina la gelatina depositada por la bacteria ferrosa.

El ácido sulfámico

El ácido sulfámico es un material granular seco, que se convierte en un ácido líquido fuerte cuando se disuelve en agua.

El ácido sulfámico reacciona con los carbonatos de calcio y de magnesio, produce sulfamatos de calcio que son altamente solubles al agua, aunque su actividad es más lenta que el ácido muriático.

Las concentraciones recomendadas para el tratamiento de pozos depende de la temperatura del agua en el pozo, pero varían entre 17 y 23 lbs. por cada 100 litros de agua y los rangos de temperatura para estas concentraciones entre 5° y 24° C a mayor temperatura mayor concentración de ácido que debe usarse.

Tratamiento con cloro

Se ha encontrado que el cloro mata las bacterias y al mismo tiempo produce un efecto de "combustión" de la viscosidad causante de la obstrucción de los poros, ya que es un fuerte agente oxidante.

La solución de cloro que puede utilizarse varía entre 14 y 18 kgs. en un pozo de diámetro grande el cual debe agregarse lentamente durante un período de 10 a 12 horas. Después de introducida la solución de cloro, debe obligarse a pasar por las formaciones acuíferas, agregando un volumen considerable de agua, deberá utilizarse de 50 a 100 veces el volumen de agua contenida en el pozo.

Se deberán aplicar tres o cuatro aplicaciones sucesivas de cloro.

Polifosfatos cristalinos

Estos actúan en forma muy parecida a varios detergentes domésticos aunque sin producir efervescencia o espuma.

Los polifosfatos no disuelven la incrustación como lo hace el ácido. La acción limpiadora de este reactivo es la de romper los materiales incrustantes y dispersarlos a que la bomba los extraiga del pozo. Por cada 100 litros de agua deberán utilizarse de 1.8 a 3.6 kgs. de polifosfato. Este deberá disolverse e introducirse en forma de solución.

Se puede usar también alternativamente hipoclorito de calcio que elimina la bacteria ferrosa o cualquier otro organismo productor de viscosidad que se halle presente. Se deben usar alrededor de 120 gms. de hipoclorito por cada 100 litros de agua en el pozo. Deberán realizarse dos o más tratamientos sucesivos. El tiempo a que debe sujetarse la operación dentro del pozo es de alrededor de 24 horas.

Los métodos utilizados para efectuar una agitación física enérgica son los mismos que los utilizados en desarrollo de pozos recién terminados.

La agitación de la solución puede realizarse por medio de un bloque de "pistonoo", aire comprimido o chorros de agua, puede también utilizarse una bomba para pozo tipo turbina vertical, sin embargo la agitación no será vigorosa.

Importancia de la rejilla.

El tipo de rejilla que se utilice también influye en la agitación que se tenga dentro del pozo, la forma de las aberturas de ésta, conjuntamente con el porcentaje de área abierta incide directamente por ejemplo en la eficiencia de la agitación por chorro.

Experiencias de campo han demostrado un aumento considerable de la capacidad específica en pozos que ya prácticamente se consideran inoperantes.

Pozos en roca.

El departamento de aguas de los E.E.U.U. ha probado tratar pozos perforados en roca con tratamientos químicos, pero las voladuras con nitroglicerina han demostrado ser más efectivas. Las muestras recogidas después de las detonaciones han indicado que las incrustaciones se extienden únicamente unos 13 mm. por fuera de la pared del agujero.

Elección de la rejilla

El metal de que esta hecha la rejilla rara vez influye en la manifestación de incrustaciones. Sin embargo en lugares donde la incrustación tiene lugar, es importante escoger metal para rejilla que sea susceptible de tratarse con ácido. - Las rejillas fabricadas con aleaciones resistentes a la corrosión, tales como el metal de Everdur, o el acero inoxidable y el bronce rojo al silicio; deberían utilizarse en todas las instalaciones definitivas.

CONCLUSIONES

Capítulo IV

Desarrollo y aforo

Desarrollo.

El desarrollo de un pozo comprende las etapas de su completación encaminadas a eliminar los materiales finos del acuífero y, como consecuencia, a limpiar, abrir o ensanchar los pasajes de la formación, de modo que el agua pueda entrar más libremente al pozo. El objetivo primordial del proceso de desarrollo es el reparar cualquier daño temporal del acuífero.

Un pozo puede desarrollarse de dos maneras: una de ellas es acondicionándolo con una rejilla moderna para que forme lo que se llama un desarrollo natural con el que se logra que el procedimiento en sí utilice los mismos materiales del acuífero para formar una zona de alta permeabilidad en torno al pozo. Consiste en la eliminación de las partículas más finas de la formación acuífera, permitiéndoles entrar al pozo a través de la rejilla y luego ser extraídas por achicamiento o bombeo.

Otra manera de proveer una envoltura de material altamente permeable al rededor de la rejilla, es por medio de un filtro artificial de grava. Consiste en colocar adrede grava artificialmente graduada, alrededor de la rejilla, en el espacio anular que se provee con este propósito.

Todos los métodos de perforación obstruyen los poros de la formación en mayor o menor grado. El objetivo pues del desarrollo es reparar cualquier daño sufrido durante la perforación. Para tal caso se han originado una serie de métodos de desarrollo de los cuales comentaremos los más utilizados.

Sobrebombeo

Este método es uno de los menos enérgicos y el que ha demostrado no dar beneficios muy satisfactorios.

Consiste en bombear agua del pozo, provocando un fuerte descenso en él, siempre mayor que el que tendrá durante su operación.

Lavado a contracorriente

Todos los métodos de lavado a contracorriente tienen a invertir alternativamente la dirección del flujo en el pozo con lo que se crean turbulencias que provocan agitación y se

evitan los "puentes" en el material granular.

Arranques y paradas de la bomba.

Este método tiene tres variantes que son:

Máximo descenso y recuperación.

Consiste en provocar en el pozo el máximo descenso y esperar a que se recupere totalmente es decir que tome nuevamente su nivel estático y repetir el ciclo mientras se observen señales de mejoría.

Este es un método eficaz aunque tiene el inconveniente de requerir una gran bomba y espera de mucho tiempo en la recuperación.

Máximo descenso sin recuperación.

Igual que en el caso anterior este método se lleva a cabo bombeando agua hasta lograr un máximo descenso pero ahora con la variante que no se tiene que esperar la recuperación total para realizar nuevamente el bombeo.

Este método es más rápido que el anterior y de efectividad semejante, con el único inconveniente de castigar mucho el equipo de bombeo.

Bombeos cortos.

Consiste en bombear agua hasta que se descargue en la superficie, parando la bomba para que el agua caiga por la tubería de bombeo, repitiendo la operación todas las veces que sea necesario.

Este método es poco efectivo y además castiga mucho el equipo de bombeo.

Lavado bajo presión.

Consiste en el bombeo de agua a presión por una tubería de pequeño diámetro. En general son métodos más enérgicos que los anteriores, pero tienen el inconveniente de requerir una bomba de inyección más o menos potente, cárcamos de azolve y de succión.

Existen tres variantes del método:

Chorro vertical y pozo abierto.

Se manda una línea de inyección, abierta en su extremo inferior, hasta el fondo del pozo y por ella se manda agua a la máxima presión posible, el agua con el azolve sale por el espacio anular.

Es un sistema no muy efectivo, pero muy recomendable como un lavado preliminar del pozo.

Chorro vertical y pozo cerrado

Esencialmente la instalación es la misma, pero con la variante de que aquí se cierra herméticamente la boca del pozo dejándole una descarga lateral provista de válvula; con la válvula cerrada se inyecta presión al pozo hasta alcanzar la máxima presión y luego se abre la válvula de descarga, se repite la operación las veces que sea necesario iniciándose con presiones bajas que se aumentarán paulatinamente.

Chorros horizontales.

La instalación es muy semejante a la de chorro vertical y pozo abierto, pero se tapa el extremo inferior de la tubería de inyección haciendo en cambio pequeñas salidas laterales para que los chorros salgan horizontalmente y directo al codo. Es también un sistema efectivo si se opera cuidadosamente girando, bajando y subiendo lentamente la herramienta.

Pistoneo

El desarrollo se efectúa mediante un embolo que se hace girar, bajar y subir alternativamente por el interior del pozo. Es un método muy utilizado en la actualidad aunque sus resultados son muy discutibles cuando no se opera cuidadosamente.

Influyen en un buen resultado principalmente los siguientes factores: el diámetro del pistón, la localización del pistón, el peso del mismo y el ciclo de pistoneo.

En los ciclos de pistoneo se tienen tres etapas las cuales tienen que ser progresivas para que obtengamos los mejores resultados: 1a etapa 20 carreras por minuto, 2a etapa de 28 a 32 carreras por minuto y 3a etapa de 40 a 45 carreras por minuto.

Desarrollos con aire comprimido.

Los desarrollos con aire comprimido proporciona un medio muy eficaz, teniendo la ventaja de no requerir de un equipo muy caro y fácil de conseguir, este equipo consiste de un compresor en buenas condiciones y de equipo auxiliar.

En este método existen tres variantes principalmente y que son :

Método de pozo abierto, método de pozo cerrado y el método combinado.

El método de pozo abierto

Este se basa en provocar agitaciones en el pozo mediante descargas de aire comprimido, bombeándose después el agua mediante un sifón.

El método de pozo cerrado

La instalación es semejante a la utilizada en el método de pozo abierto, pero ahora se sella la boca del pozo con una tapa para después inyectar presión al pozo. Con esto se consigue una inversión del flujo dentro del acuífero, lo cual limpia los pasajes obstruidos durante la perforación, es un método más enérgico que el anterior.

El método combinado

Con este método se logran los máximos resultados pues es una combinación de los dos anteriores; el pozo va sellado y además se requiere de un tanque de aire comprimido.

El sistema se opera alternativamente como en el caso de pozo cerrado y pozo abierto. Este método nos proporciona mayores inversiones de flujo por lo que se recomienda si se cuenta con el equipo adecuado.

Métodos con dinamita

El método está limitado a formaciones rocosas; consiste en provocar fracturas adicionales en la roca y ampliar las existentes, por medio de explosivos. Este tipo de trabajos requiere gran experiencia en el manejo de explosivos ya que si no se usa adecuadamente más que ayudar nos podía perjudicar el rendimiento de la capacidad específica del acuífero.

AFORO

Una prueba de aforo no es más que una prueba de bombeo la cual se realiza para lograr dos propósitos principales: obtener información acerca del comportamiento del pozo mientras se bombea y el resultado se da en términos de la descarga, el abatimiento observado y la capacidad específica. Lo anterior nos dará una medida de la capacidad productora del pozo terminado y nos permitirá tener una base para la selección del equipo de bombeo.

El otro objetivo de las pruebas, es el de obtener información para determinar el comportamiento de los acuíferos.

Para medir la descarga de la bomba y los niveles estáticos y de bombeo de los pozos existen algunos métodos de los cuales comentaremos enseguida:

Medidas de la descarga

Para medir la descarga se pueden utilizar varios métodos los cuales tienen aplicación dependiendo en cada caso en particular.

Cuando tratamos de medir caudales pequeños un método muy simple podría ser el observar el tiempo necesario para llenar un recipiente de volumen conocido. Puede también utilizarse un medidor de flujo comercial el cual nos mostrará en una carátula el total de metros cúbicos descargados en un tiempo dado. Sin embargo no es muy preciso principalmente durante el tiempo en que se está ajustando.

Quizá el método más utilizado es el vertedero de orificio para medir descargas de bombas centrífugas sin embargo no podría medir el flujo de las bombas de pistón.

El vertedero de orificio es un aditamento colocado en la parte final de la tubería de descarga, consiste de una placa soldada con un agujero o orificio en el centro con un diámetro menor que el de la tubería de descarga, a un costado de la tubería de descarga esta provisto de un aditamento especial llamado "tubo piezométrico" el cual nos mide la presión existente dentro de la tubería de descarga y debido a la colocación de la placa con orificio

Fijando a un soporte una escala graduada se puede medir la distancia desde el centro del orificio a la altura que el

agua alcanza dentro del tubo piezométrico. Se han publicado tablas estándar que dan los valores de la descarga para varias combinaciones de diámetro de orificio y tubo.

Otro método para medir la descarga es el llamado recipiente con orificios el cual consiste de un tambor de 100 o 200 litros al cual se le practican aberturas circulares en el fondo. El agua que se va a medir cae dentro del tanque cilíndrico y descarga a través de los orificios. El recipiente se llena con agua hasta un nivel en que la carga de presión hace que la salida por los orificios sea justamente igual al ocudal que llega de la bomba.

Se instala un tubo piezométrico para leer el nivel del agua dentro del recipiente. El artefacto debe calibrarse y se prepara una curva de calibración que muestra la descarga a través de un solo orificio de tamaño dado, en función de varios valores de la carga de presión.

La razón de la descarga dada por la curva se multiplica por el número de agujeros que se estén utilizando y se obtiene la descarga total.

Este método nos sirve principalmente para medir la descarga de las bombas de pistón en las cuales el flujo de agua no es constante y el rango de caudales entre 30 y 40 metros cúbicos por hora solamente, pues en rangos mayores tiene algunos inconvenientes.

Para estimar la descarga en tubos abiertos ya sean verticales u horizontales existen también tablas en las que dependiendo de la altura de la cresta y del diámetro del tubo nos dan a grosso modo la descarga en litros por minuto. Esta estimación de la descarga solo es recomendable en pozos domiciliarios o donde los caudales son pequeños y no se necesita explotar el pozo ni a un 50 % de su capacidad.

Es también muy utilizado para medir la descarga de pozos surgentes o brotantes.

Mediciones del nivel del agua .

Es importante que al comenzar el bombeo se tome el nivel estático del agua dentro del pozo así como también los niveles dinámicos o de bombeo cada cierto intervalo de tiempo para que junto con la descarga estimar el comportamiento del pozo.

Existen pues algunos métodos para medir los niveles del agua dentro del pozo de los cuales se tiene: el método de la cinta mojada, el método de la línea de aire o el método de la sonda eléctrica; cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes. El método de la cinta mojada

Este método es muy poco práctico ya que solamente se puede leer con precisión hasta profundidades de unos 30 metros. consiste en adherir a una cinta para medir una pesa de plomo, los 50 o 80 cm. inferiores de la cinta metálica para medir se recubren con tiza o yeso. Se hace descender la cinta dentro del pozo hasta que una parte de la sección entizada penetre dentro del agua en el pozo, y la marca más próxima de la cinta se sostiene contra el borde superior del ademe, luego se extrae la cinta, la lectura de la parte mojada de la cinta se resta de la marca que se sostuvo contra el borde del ademe e del punto de referencia y la diferencia será la profundidad del nivel del agua.

Otra desventaja de este método consiste en conocer la profundidad aproximada del nivel del agua, es un método muy poco usual; se utiliza solamente cuando no se dispone de otro método en ese instante.

El método de la línea de aire

Este método es al igual que el de la sonda eléctrica uno de los más utilizados.

El artefacto consiste en un tubo flexible que se introduce varios metros abajo del nivel del agua que se desea medir, en la parte superior se instala un manómetro y un inflador de neumáticos. Primero se mide con exactitud la longitud de la línea de aire, enseguida se envía aire por la tubería o línea de aire con el inflador hasta que la aguja se detenga a pesar de seguir poniendo aire con el inflador; lo que indicará que toda el agua ha sido expulsada de la línea de aire en este instante la presión de aire dentro de la tubería estará balanceada con la presión del agua. Si el manómetro indica metros de agua, mostrará directamente la longitud de la porción sumergida de la línea de aire. Si el manómetro indica lbs./inch² se deberá multiplicar por 0.704 para convertir a metros columna de agua.

Quitando la longitud sumergida de la longitud total de la línea de aire, se obtendrá la profundidad del agua.

el artefacto funciona basandose en el principio de que la presión de aire requerida para expulsar el agua contenida en la porción sumergida de la línea de aire es igual al peso de una columna de agua de la misma altura.

Sonda eléctrica

La sonda eléctrica o el medidor eléctrico de profundidades es el más utilizado para medir los niveles del agua por su practicidad y sencillez del aparato, además es un artefacto muy preciso cuando se toman los cuidados necesarios.

Se suspende un electrodo de un par de alambres aislados, y un amperímetro indica que el circuito se ha cerrado y que la corriente circula al tocar la superficie del agua. Para obtener la corriente se utilizan baterías de linterna, el cambio sufrido por el nivel del agua se mide con una cinta metálica colocada paralelamente a lo largo del cable, usando para ello unas marcas metálicas las cuales el fabricante adhiere al cable a intervalos de 1.5 m. y que sirve como referencia.

Como vimos pues el método de la sonda eléctrica es usado en un 70 % de las veces tanto por lo económico del equipo como de la precisión y la maniobrabilidad del mismo.

En la república mexicana las empresas que se dedican a la perforación de pozos de agua han optado por métodos de desarrollo y aforo que resulten más económicos y que ofrezcan buenos resultados, utilizando en la mayoría de los casos el mismo equipo para desarrollo y aforo, razón por la cual han creado sus propias especificaciones apegadas a nuestro medio y que difieren poco de las empleadas en otros países.

En el ejemplo que se mostro en paginas anteriores de el capitulo referente a desarrollo y aforo en el pozo se tuvo un comportamiento normal aunque se hace notar que no se siguieron las especificaciones como se debian seguir, pues se tomaron datos de recuperación una vez terminada la etapa de desarrollo y no una vez terminado el aforo como lo marcan dichas especificaciones. Si bien se habian tomado ya datos al terminar el desarrollo, era conveniente tomar estos datos al terminar el aforo. Se hace notar que en ambas etapas se utilizo el mismo equipo por lo cual se podría concluir que se utilizo el método de sobrebombeo aunque con algunas variantes en las etapas de desarrollo y aforo

CONCLUSIONES

Capítulo V

Precios unitarios

El cálculo de precios unitarios es de primordial importancia dentro de todo proceso constructivo, pues ha sido siempre un punto de divergencia, cual es el precio justo a que debé pagarse un trabajo.

La elaboración de precios unitarios, no es más que una etapa dentro de todo proceso constructivo general, que se inicia con la investigación de la factibilidad de realizar una obra y termina con la ejecución de la misma.

Antes de elaborar un precio unitario es indispensable conocer a fondo los recursos tanto humanos, como de maquinaria y materiales, así como de la disponibilidad de los mismos.

En terminos generales los elementos que comprenden un precio unitario son:

El costo directo + el costo indirecto = El costo unitario.

El costo unitario + la utilidad = Precio unitario

Existen variaciones en cuanto a la forma de calcular un precio unitario, pero es esta la forma más general.

Los organismos dedicados a la perforación de pozos han elaborado una clasificación general de las formaciones, para que en base a ello elaborar las estimaciones de trabajo.

Esta clasificación se ha hecho atendiendo tanto a la dureza, como a la dificultad para atravesarlas. Se tiene tres tipos generales de materiales que son: el tipo I, el tipo II y el tipo III, de los cuales el tipo I es el de los materiales más perforables y así sucesivamente.

También se tiene tablas de rendimiento de equipos de perforación para los diámetros más comunes con que se trabaja en este tipo de perforaciones para pozos de agua.

Se acostumbra además como en todo trabajo de obra civil obtener los costos de Hora - Máquina; en este caso en particular el costo de Hora - Máquina perforadora la cual incluye el equipo complementario que debé utilizar, así como también el pago de combustibles, mano de obra, reparaciones, etc.

Una vez que se tienen los costos de Hora - Máquina

perforadora, el rendimiento de los equipos de perforación por metro lineal perforado para cada uno de los materiales clasificados, los costos de los materiales y herramientas a utilizar tales como bentonita, espumantes, barrenos, rimas, ampliadores, etc. y se cuenta con el porcentaje de gastos indirectos a cargar el cual incluye la utilidad; se esta ya en condiciones de calcular cualquiera de los conceptos que intervienen en la construcción de un pozo tales conceptos podrían ser por ejemplo:

El precio unitario por metro lineal perforado para los diferentes diámetros y tipos de materiales clasificados, el precio unitario por metro lineal de la colocación de ariete o de la colocación del filtro de grava etc.etc.

Es importante pues que una vez que se da a la empresa contratista el diseño definitivo del pozo se lleve por parte de la empresa contratante una supervisión muy estricta ya que los precios unitarios por metro lineal perforado resultan muy elevados cuando no se lleva un estricto control; por ejemplo al no estar utilizando simplemente el equipo adecuado a las formaciones a atravesar nos puede en muchos casos hasta duplicar el costo total de la construcción del pozo.

BIBLIOGRAFIA

Capitulo I

1.-EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS POZOS

Publicado por:

Johnson División, UOP Inc.

Saint Paul, Minnesota 55165 - 1975

2.-EXPLORACION, CUANTIFICACION Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS

Apuntes publicados por el centro de educación continúa de la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, UNAM por el ing. Ruben Chavez Guillen - Agosto, 1977

Capitulo II

1.-EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS POZOS

Publicado por:

Johnson División, UOP Inc.

Saint Paul Minnesota 55165 - 1975

2.-APUNTES SOBRE PERFORACION DE POZOS DE AGUA

Elaborados por el Departamento de Puentes de Abastecimiento dependiente de la Dirección General de Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Publicas Mexico - 1980

Capitulo III

1.-EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS POZOS

Publicado por:

Johnson División, UOP Inc.

Saint Paul, Minnesota 55165 - 1975

2.-REHABILITACION MECANICA DE POZOS

Elaborados por el ing.

Josefa Dolivar de V

Mexico - 1980

Bibliografía
Capítulo IV

- 1.-EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS POZOS
Publicado por:
Johnson División, UOP Inc.
Saint Paul, Minnesota 55165 - 1975
- 2.-REHABILITACION MECANICA DE POZOS
Elaborados por el Ing.
José María Bolívar del V.
Mexico - 1980
- 3.-ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION PARA LA
PERFORACION, TRABAJOS AUXILIARES Y TERMI-
NACION DE POZOS PARA AGUA POTABLE.
Elaborados por el Departamento de Fuentes
de Abastecimiento, dependiente de la Dirección
General de Construcción de Sistemas de Agua Po-
table y Alcantarillado de la Secretaría de A-
sentamientos Humanos y Obras Publicas.
- 4.-REGISTRO DE DESARROLLO Y AFORO DE UN POZO
PERFORADO EN EL ESTADO DE TABASCO.
Existente en la Residencia de Construcción de
Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de
la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras
Publicas en Villahermosa Tabasco.

Capítulo V

- 1.-APUNTES DE PRECIOS UNITARIOS
Editados por la Facultad de Ingeniería de la UNAM
- 2.-ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS EN LA PERFORACION
DE POZOS DE AGUA
Elaborado por: Desarrollo de Recursos Naturales
Dependiente del grupo I.C.A.
Mexico - 1981
- 3.-ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS EN LA PERFORACION
DE POZOS DE AGUA
Elaborado por: Perforaciones Especializadas S.A.
Mexico - 1981