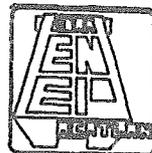




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"



REHABILITACION DE POZOS PROFUNDOS

N<sup>o</sup> CTs. 7340966-9

M-0028745

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

MODESTO SANCHEZ PALOMARES

MEXICO D.F. MAYO DE 1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

CON ADMIRACION, ORGULLO Y RESPETO A MI MADRE  
EULALIA PALOMARES VDA. DE SANCHEZ :

GRACIAS A MIS PADRES POR DARME LA VIDA,  
Y A MI MADRE POR SEÑALAR MIS DEFECTOS Y VIRTUDES  
PARA ASI, COMPRENDER MIS TRIUNFOS Y FRACASOS.

HOY QUE SE ME BRINDA UNA VEZ MAS LA RAZON DE SER,  
ES LA EXISTENCIA LA UNICA OPORTUNIDAD DE SABER VIVIR,  
PORQUE EL TIEMPO MAS IMPORTANTE DE LA VIDA ES AHORA.

QUE LA FELICIDAD ESTA EN UNO MISMO Y ASI, CADA UNO  
DE NOSOTROS SOMOS LA CRIATURA MAS IMPORTANTE DEL MUNDO,  
POR LO TANTO A MI MADRE GRACIAS MIL.

AGRADEZCO A MIS HERMANAS POR ACEPTAR MI MANERA DE SER :

PETRA

Y

MA. VICTORIA

CON APRECIO PARA MIS CUÑADOS :

JUAN MANJARREZ ARVIZU

Y

L. VICTOR CONTRERAS RODRIGUEZ

A MIS INOLVIDABLES SOBRINOS :

VICTOR

EDGAR

ADRIAN

# I N D I C E

	Página
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I : ANTECEDENTES.	2
1 ) ALGUNOS ASPECTOS LEGALES EN EL MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS.	12
2 ) EXTRACCION PERMANENTE Y EXPLOTACION RACIONAL DEL ALMACENAMIENTO,	16
3 ) RECARGA ARTIFICIAL	18
 CAPITULO II : DETECCION Y ANALISIS DEL PROBLEMA.	 20
1 ) LA REJILLA	21
a) Los diámetros de la rejilla de un pozo.	23
b) Tipos de rejilla	25
c) Sustituto de la rejilla de un pozo	27
d) Resultados de algunos ensayos para pozos.	28
2 ) CARACTERISTICAS DE ARENAS ACUIFERAS MEDIANTE EL ANALISIS GRANULOMETRICO,	30
3 ) DISEÑO DE POZOS DE AGUA	31
a) Recomendaciones de diámetros del pozo y del adame	32
b) Determinación de la profundidad del pozo	33
c) Selección de las aberturas de las ranuras en una rejilla de pozo	33
d) Determinación del diámetro de la rejilla.	37
e) Capacidad transmisora de la rejilla	39
f) Elección del metal de una rejilla	39
g) Las aguas corrosiva e incrustante.	39
h) Fuerzas aplicadas sobre la rejilla.	41
i) Los filtros artificiales de grava y sus condiciones geológicas	43
j) Factores de costo en el filtro artificial de grava	44
k) Secuencia lógica en el diseño de un filtro artificial de grava.	45

l) Control de material acuífero fino mediante el espesor del filtro de grava	46
m) Pozos dotados con filtro artificial de grava.	47
n) El mantenimiento vertical de la formación acuífera mediante un estabilizador.	48
o) Colocación del estabilizador de la formación	49
4 ) LOS EQUIPOS DE PERFORACION EN LA CONSTRUCCION DE POZOS	50
a) Equipo del tipo Rotatorio con circulación directa	51
b) Formación de la camada filtrante	51
c) Fluido de perforación.	52
d) Control del lodo de perforación	54
e) Equipos de Percusión	56
f) Perforación en formaciones suaves	56
g) Equipos Rotatorios de circulación inversa.	58
h) Equipos Combinados.	58
i) Ventajas y desventajas de los equipos de circulación directa	59
j) Ventajas y desventajas de los equipos de percusión	61
 CAPITULO III : METODOS DE REHABILITACION.	 63
1 ) POZO DESARROLLADO EN FORMA NATURAL	64
2 ) POZO DESARROLLADO MEDIANTE UN FILTRO ARTIFICIAL	64
3 ) ACOMODO DE LOS GRANOS DE ARENA EN FORMA DE ARCO.	68
4 ) METODO DE REHABILITACION O DESARROLLO QUIMICO	69
a) Agentes dispersores	70
b) Hielo seco	71
c) Acido clorhídrico.	72
5 ) METODO DE REHABILITACION O DESARROLLO FISICO	73
a) Tratamiento Neumático.	73
b) Tratamiento mecánico	78
c) Desarrollo mediante explosivos	82
d) Desarrollo mediante sobrebombeo.	82
e) Desarrollo debido a un chorro de alta velocidad	83
f) Desarrollo con procedimientos de contralavado	86
6 ) NECESIDAD DE DESARROLLO DE LOS POZOS EN ROCA	86

	Página
CAPITULO IV : APLICACIONES.	88.
1 ) RESULTADOS DEL DESARROLLO DE POZOS EN ARENA FINA.	89
2 ) HABILITACION O DESARROLLO NEUMATICO "BETA" (METODO FISICO)	92
a) Conceptos	92
b) Descripción del equipo de desarrollo neumático "BETA"	95
c) El desarrollo neumático de pozos de agua	99
d) Método de desarrollo neumático a pozo abierto	105
e) Método de desarrollo neumático a pozo cerrado.	106
3 ) HABILITACION O DESARROLLO WELL-AID (METODO QUIMICO)	110
a) Modo de usarse	110
CONCLUSIONES.	113
BIBLIOGRAFIA.	116

# I N T R O D U C C I O N

El agua es un elemento natural que interviene en el desenvolvimiento de un poblado o de una ciudad. Es decir, incrementa las actividades económicas y por ende la producción de dichas actividades, - llámense agrícolas, industriales, artesanales, etc. También aumenta el beneficio social debido a la creación de escuelas, hospitales, - centros de recreación y cultura, parques y jardines, etc.

La justificación de esta tesis es, crear en el lector una conciencia de la importancia que tiene la extracción del agua del subsuelo y los problemas a los cuales se enfrenta el Ingeniero Civil, - así como las consecuencias que provocan dicha extracción.

Por consiguiente, en el capítulo I se expone la preponderancia del agua como recurso hidráulico en la República Mexicana, la situación tecnológica y el manejo del agua subterránea.

Se localizan las zonas de la República con problemas a causa de una explotación sin medida de dicha agua.

Asimismo se anotan algunos aspectos legales que facilitan el manejo de los recursos hidráulicos, racionando la extracción de agua de los mantos acuíferos.

La recarga artificial es un método que permite al acuífero disminuido en su almacenamiento de agua, volver a equilibrarse y evitar problemas consecuentes por ausencia de esto último.

El capítulo II muestra los problemas que se presentan en la perforación de los pozos profundos para agua potable, cuando se ejecuta la rehabilitación de esos pozos.

Las características del material que rodea a un pozo se pueden conocer mediante el análisis granulométrico, el cual se explica someramente.

En las rejillas de los pozos existen problemas, que posteriormente analizados en el diseño de los mismos pueden resolverse de una manera adecuada.

Los equipos de perforación utilizados en los pozos, se mencionan de - tal forma que se incluyen sus ventajas y desventajas correspondientes; junto con la problemática ocasionada a la rehabilitación de pozos.

Los métodos de rehabilitación son señalados en el capítulo III. Existen pozos desarrollados o habilitados en forma natural o habilitados mediante un filtro artificial, ambos son expuestos en esta parte - del trabajo.

La rehabilitación de pozos abriga dos tipos : los procedimientos físicos y los medios químicos. Esta técnica es relativamente nueva y algunos perforadores de pozos no la llevan a cabo.

Además se menciona la habilitación de pozos en roca.

Por último el capítulo IV trata sobre la aplicación tanto del - procedimiento físico(mecánico) como del químico. En el físico, se utiliza el metodo de desarrollo neumático "BETA" y en el químico la habilitación se efectúa por medio de un compuesto llamado "WELL AID".

La rehabilitación de los pozos profundos es una respuesta a la necesidad de mejorar la productividad en dichos pozos, viejos o nuevos. Pero dicha productividad no debe ser de una manera intensiva sin darse cuenta de los efectos posteriores.

El agua subterránea en México, es un recurso hidráulico muy importante en regiones áridas y semiáridas que son más del 60% en el país, su aprovechamiento intensivo, responde al auge económico alcanzado en esas zonas.

La explotación desmesurada de dicha agua en México, se inició en 1950, de ahí la creación de importantes Distritos de Riego.

La falta de tecnología en el comportamiento de acuíferos, no permite un control adecuado en el aprovechamiento de aguas, sólo satisface la necesidad de crecimiento de las zonas agrícolas.

Debido a la perforación sin medida de pozos, que provocó la extracción de grandes volúmenes de agua subterránea, en México existen más de 30 acuíferos con sobreexplotación (ver Lámina y Tabla I), esto hace que se realice un inventario de nuestros recursos hidráulicos subterráneos, mediante estudios con tecnología moderna del agua subterránea.

Dichos estudios se iniciaron en 1968, acumulando hoy más de 150 estudios a detalle, cubriendo un 70% del área del país, en los que se implantan políticas de explotación adecuada del agua subterránea.

Actualmente, el manejo del acuífero se enfoca a determinar niveles máximos y mínimos del agua, para regular la capacidad de su almacenamiento, coadyuvando así al incremento de actividades económicas, que de otra manera no podrían realizarse.

Se tomará en cuenta los efectos generados en el comportamiento de acuíferos, para que no se produzcan colapsos económicos al no poder restituir las condiciones originales con las que se inició la

En México, el manejo del agua subterránea responde, además de las condiciones físicas del medio (clima, hidrografía, fisiografía, geología, etc.), a las presiones socio-económicas y políticas producidas por la misma evolución del país; ésto hace que el volumen extraído sea mayor a su recarga natural, generando abatimientos progresivos en los niveles piezométricos e implicando efectos colaterales, tales como : incremento en los costos de bombeo, intrusión de agua de mar en acuíferos costeros, asentamiento de terrenos, formación de grietas, etc.

- 1 VALLE PESCADEROS
- 2 VALLE TODOS SANTOS
- 3 VALLE LA PAZ
- 4 VALLE SANTO DOMINGO
- 5 VALLE EL VIZCAINO
- 6 VALLE SAN QUINTIN
- 7 VALLE DE MANADERO
- 8 VALLE OJOS NEGROS
- 9 VALLE REAL DEL CASTILLO
- 10 VALLE LAS PALMAS
- 11 VALLE DE MEXICALI
- 12 MESA ARENOSA DE SAN LUIS
- 13 COYOTE COSTA
- 14 VALLE BISANI
- 15 PITIQUITO - CABORCA
- 16 VALLE EL SAHUARAL
- 17 COSTA DE HERMOSILLO
- 18 SAN JOSE GUAYMAS
- 19 VALLE DE GUAYMAS
- 20 MARGEN IZQUIERDA DEL RIO SINALOA
- 21 VALLE DE JUAREZ
- 22 VALLE VILLA AHUMADA
- 23 VALLE DE JANOS
- 24 CASAS GRANDES
- 25 VALLE ALDAMA
- 26 VALLE JIMENEZ CAMARGO
- 27 COMARCA LAGUNERA
- 28 VALLE CALERA
- 29 VALLE DE LORETO
- 30 VALLE DE LEON
- 31 ZONA DE LAGUNA SECA
- 32 BAJIO CELAYA
- 33 VALLE DE GUERETARO
- 34 VALLE DE TOLUCA
- 35 VALLE DE MEXICO



Lámina 1 Zonas con problemas de explotación excesiva del agua subterránea en la República Mexicana.

Para construir la siguiente tabla, se hicieron los siguientes señalamientos :

- ZONA-----(  A  )
- ESTADO-----(  B  )
- EXTRACCION TOTAL MILLONES DE M<sup>3</sup>/AÑO-----(  C  )
- EXTRACCION PERMANENTE, MILLONES DE M<sup>3</sup>/AÑO-----(  D  )
- EXPLORACION EN EXCESO, MILLONES DE M<sup>3</sup>/AÑO-----(  E  )
- ABATIMIENTO MEDIO ANUAL, EN METROS-----(  F  )
- COMENTARIOS-----(  G  )

TABLA I ZONAS CON PROBLEMAS DE EXPLORACION EXCESIVA DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA REPUBLICA MEXICANA.

( <u>  A  </u> )	( <u>  B  </u> )	( <u>  C  </u> )	( <u>  D  </u> )	( <u>  E  </u> )	( <u>  F  </u> )	( <u>  G  </u> )
(6) Valle San Quintín.	BCN	45	33	12	0.45	El nivel estatico ha disminuido hasta alcanzar valores máximos totales del orden de 12m. - bajo el nivel del mar. El efecto más notable es la intrusión salina, del mismo que amenaza gravemente la evolución de esta región.
(7) Valle El Manadero	BCN	20	19	1	0.27	Al igual que en el caso anterior, el nivel estático de los acuíferos disminuyó hasta quedar bajo el nivel del mar, propiciando la intrusión salina del mismo, que contamina el agua dulce cuyas concentraciones de sólidos totales alcanzan valores de 2500ppm.
(11) Valle Mexicali	BCN	1200	399	900	0.50	En la porción sur del valle, los niveles dinámicos de los pozos se encuentran bajo el nivel del mar y propician la intrusión del mismo. Se recomienda relocalizar los pozos de la parte sur del valle de Mexicali en la porción norte de la mesa de San Luis.

	( <u>A</u> )	( <u>B</u> )	( <u>C</u> )	( <u>D</u> )	( <u>E</u> )	( <u>F</u> )	( <u>G</u> )
(12) Mesa Are-nosa de San Luis Rio Colorado	SON	200	150	50	0.50		La explotación en exceso provoca abatimiento gradual del nivel estático de los acuíferos. El espesor saturado disminuye y las columnas y los costos de bombeo aumentan. La mayor parte del flujo subterráneo proviene de los EUA, que empiezan a aprovecharlo y reducen su disponibilidad en México.
(4) Valle Santo Domingo.	BCS	136	146	190	0.90		Actualmente parte del acuífero tiene abatimientos totales hasta de 9m. bajo el nivel del mar que provocan intrusión salina del mismo.
(3) Valle La Paz.	BCS	26	18	8	0.40		Durante la época de bombeo, los niveles dinámicos se encuentran entre 5 y 30 m. bajo el nivel del mar. Esta situación propicia la intrusión salina del mismo, que amenaza principalmente a los pozos que abastecen a la Cd. de la Paz.
(5) Valle El Vizcaíno.	BCS	10.2	6.7	0.5	0.83		Los volúmenes bombeados provocan la disminución del volumen almacenado; invirtiendo la dirección del flujo y evitando las salidas subterráneas del acuífero.
(8) Valle Ojos Negros.	BCN	13.6	11.5	2.1	0.53		Se provoca con el régimen de explotación el minado gradual de las reservas subterráneas y una ascendente concentración de sales disueltas en el agua, al recircular los volúmenes de riego.
(9) Valle Real del Castillo	BCN	6.5	6	0.5	0.18		Los efectos de bombeo excesivo se manifestarían a muy corto plazo, sin preverse intrusión salina.
(2) Valle Todos Santos.	BCS	1	0.5	0.5	0.55		Los bombeos superiores a los actuales podrían facilitar la intrusión salina del mar.

( A ) ( B ) ( C ) ( D ) ( E ) ( F )

( G )

- (1) Valle BCS I.6 I.4 0.2 0.16 Los niveles piezométricos están  
Pes - bajo el nivel del mar, y presen-  
cade- ta síntomas de intrusión de a -  
ro. gua salada.
- (10) Va - BCN 8 6 2 I.14 El exceso de bombeo ha modifi -  
lle cado principalmente en el ex -  
de tremo aguas abajo del valle, a -  
las fectando incluso los volúmenes-  
Pal- de escurrimiento que capta la -  
mas. Presa Abelardo L. Rodríguez.
- (27) Co - COAH I300 550 750 I.70 Actualmente la región está ve -  
mar- dada debido a que el nivel es -  
ca tático de los acuíferos ha des-  
La - cendido hasta alcanzar los 60m.  
gu - de profundidad. Las consecuen-  
nera cias son: disminución del espe-  
sor saturado en 50m. aproxima -  
damente y aumento en los costos  
de bombeo y perforación.
- (22) Va - CHIH 180 87 123 ---- Abatimiento local del nivel es-  
lle tático en los valles Alamos de-  
Vi - Peña Juárez y Villa Ahumada. Se-  
lla recomienda relocalizar las zo -  
Ahu- nas de bombeo para poder con -  
mada tinuar con el ritmo de explota-  
ción actual.
- (25) Va - CHIH 54 45 9 ---- Actualmente es zona de veda. Sin  
lle embargo, la explotación continúa  
Al - debido a que la agricultura de-  
dama pende casi en su totalidad del  
agua subterránea. Las consecuen-  
cias son: Disminución del espe -  
sor saturado e incremento en -  
las columnas y costos de bombeo.
- (24) Va - CHIH III 110 1 2.00 El nivel estático acusa un des-  
lle (7) (2) censo progresivo. Sin embargo, el  
Ja - fuerte espesor del acuífero de-  
nos (300m.) permite que el ritmo de  
(Ca - explotación actual continúe -  
sas hasta que el costo del bombeo -  
Gran se vuelva prohibitivo.  
des)

( A ) ( B ) ( C ) ( D ) ( E ) ( F ) ( G )

- (21) Va - CHIH 30 16 14 0.86' El acuífero que abastece de agua a Cd. Juárez ha registrado abatimientos de nivel estático que van de 0.50 a 2m. Las consecuencias son; disminución del espesor saturado e incremento en los costos de bombeo que hacen crítico el abastecimiento a esta ciudad.
- (23) Va - CHIH 73 40 33 1.00 Aunque la información disponible es escasa, se sabe que esta zona está explotada en exceso. El nivel estático ha descendido paulatinamente causando disminución en el espesor saturado e incremento en los costos de bombeo que hacen crítico el abastecimiento a esta ciudad.
- (26) Va - CHIH 238 224 14 0.60 El nivel estático se ha abatido. Sin embargo, la explotación en exceso es local y puede disminuirse si se relocalizan las zonas de bombeo.
- (35) Va - D. F. 250 --- --- --- La explotación excesiva del agua subterránea ha ocasionado el hundimiento de la Cd. de México. La velocidad media de dicho fenómeno fué de 8cm./año para el período 1963-69 y el máximo total registrado fué de 8m. (cruce de Av. Juárez y Reforma)
- (32) Ba - GTO. 250 170 80 1.64 De el período 1966-70, se produjeron los mayores abatimientos debido al incremento desmedido en la extracción. En la actualidad esta zona está vedada y se recomienda disminuir la explotación a fin de evitar mayores descensos del nivel estático.
- (30) Va - GTO. 157 65 92 1.40 La explotación excesiva de los acuíferos ha originado abatimientos cuyos máximos se localizan al sur de la Cd. de León.

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
(31) Zo - na La - guna Seca	GTO. 66	52	14	0.90		Actualmente existen dos zonas - con abatimientos locales. Una es Dr. Mora-San José Iturbide y la otra es Laguna Seca. Sin embargo la región que presenta mayores problemas es la parte norte de- Laguna Seca, que ha reducido su aportación al río de la Laja.
(34) Va - lle de To - luca	MEX. 510	340	170	0.50		El nivel estático del acuífero- freático se ha abatido hasta - alcanzar máximos del orden de - 7m. (Presa Alzate). En el acuífe- ro confinado el abatimiento to- tal máximo ha sido de 17m. Si se continúa con el ritmo de extrac- ción actual el nivel se abatirá hasta 70m. (1976).
(33) Va - lle Que- re - taro	QRO. 130	70	60	1.50		La explotación excesiva de los- acuíferos de este valle ha pro- piciado el descenso progresivo- del nivel estático. El abati- miento máximo registrado en el período 1965-71 fué de 11m. y se localizó urbano-industrial - de la Cd. de Querétaro, hecho - que dice todo acerca del uso - del agua subterránea.
(20) Mar- gen Iz - qui- erda del Río Si - na - loa	SIN. 300	250	50	1.50		El nivel estático se abate lo - calmente reduciendo el espesor- saturado de los acuíferos. Debi- do a la intercepción del escu- rrimiento superficial del río - Sinaloa cuando se construya la- Presa Sinaloa de Leyva el espe- sor saturado se reducirá aún - más.
(17) Cos- ta de Her- mo - si - llo.	SON. 850	350	500	2.00		El efecto causado por la explo- tación en exceso ha sido el - descenso general del nivel es- tático que actualmente se en- cuentra bajo el nivel del mar.- Esta situación propicia la in- trusión salina, disminuye el es- pesor saturado de los acuíferos y aumenta las columnas y los - costos.

(A) (B) (C) (D) (E) (F)

(G)

- |                                  |          |     |    |      |   |
|----------------------------------|----------|-----|----|------|---|
| (29) Va -<br>lle<br>Lo -<br>reto | ZAC. 47  | 30  | 17 | 0.40 | La parte sur del valle tiene explotación en exceso. El origen de lo anterior es la concentración de pozos en los alrededores de la población de Loreto. No se recomienda aumentar la extracción actual.                     |
| (28) Va -<br>lle<br>Ca -<br>lera | ZAC. 180 | 100 | 80 | ---- | El abatimiento del nivel estático ha afectado casi todo el valle. Los máximos descensos son del orden de 17m. y causan reducción del espesor saturado de los acuíferos y aumento en las columnas y en los costos de bombeo. |

(A)-(B)(C)(D)(E)(F)

(G)

- (16) Va - SON. 140 70 70 2.00 Los efectos causados por la explotación en exceso son semejantes a los de la Costa de Hermosillo con la diferencia de que en esta zona no existe intrusión salina del mar.
- (19) Va - SON. 180 100 80 1.60 Esta zona es la que acusa los efectos más graves de la explotación en exceso, ya que además de los señalados en la Costa de Hermosillo la calidad del agua subterránea se ha deteriorado en torno alarmante y alcanza concentraciones de sólidos disueltos del orden de 6000ppm.
- (18) Va - SON. 15 7 8 1.10 Los efectos más desfavorables originados por el abatimiento general del nivel estático son: intrusión salina del mar, reducción del espesor saturado, incremento en las columnas y costos de bombeo y contaminación del agua dulce que alcanza concentraciones del orden de 6000ppm.(sólidos disueltos).
- (13) C. SON. 214 318 104 1.00 El nivel estático se encuentra actualmente bajo el nivel del mar ayudando así a la intrusión salina que contamina los acuíferos de agua dulce. La concentración de sólidos totales alcanzan valores del orden de 2000ppm. Las columnas y los costos de bombeo se incrementan.
- (14) C. SON. 90 186 96 1.00 Los principales efectos producidos por el abatimiento del nivel estático son: Reducción del espesor saturado de los acuíferos o incremento en las columnas y en los costos de bombeo.
- (Va - lle  
El  
Sa -  
hua -  
ral.
- (lle  
de  
Guay  
mas.
- (lle  
San  
José  
de  
Guay  
mas.
- (Río  
Mag-  
da -  
lena  
(Co -  
yote  
Cos-  
ta)
- (Río  
Mag-  
da -  
lena  
(Va -  
lle  
Bi -  
sa -  
ni)

I ) ALGUNOS ASPECTOS LEGALES EN EL MANEJO DE LOS RECURSOS  
HIDRAULICOS.

12

En México, como en otras partes del mundo, se considera que el agua subterránea está constituida por dos componentes principales, el volumen renovable (recarga estacional del acuífero) y el volumen no renovable (almacenamiento del acuífero); el manejo de ambas depende entre otras cosas de la determinación del potencial que tenga cada uno y además de la existencia o falta de fuentes alternativas que permitan realizar el uso conjunto de los recursos hidráulicos existentes.

El manejo del agua subterránea tiene por objeto regular la explotación, el uso y aprovechamiento de este recurso, considerando su interdependencia con el agua superficial, a fin de satisfacer las distintas demandas de agua a corto, mediano y largo plazos.

Dentro de los aspectos relacionados con el manejo del agua subterránea, existe otro tipo de problemas de carácter político y social que obligan a modificar las restricciones técnicas que se plantean para preservar el recurso; este tipo de problemas se han resuelto mediante campañas de concientización en las que juega un papel muy importante la participación de los usuarios, de donde han surgido propuestas para establecer un reglamento legal y administrativo para la explotación de acuíferos.

Entre las principales disposiciones institucionales referentes a las aguas del subsuelo, que consta en nuestra Ley Federal de Aguas, se establece lo siguiente :

## PRIMERO.

Las aguas son propiedad de la Nación.

## SEGUNDO.

El Organismo regulador respecto a la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas es la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ( SARH ).

## TERCERO.

Llevar un registro permanente respecto al aprovechamiento del agua subterránea para regular su explotación.

## CUARTO.

Por interés público se decretan zonas de veda para el control de la extracción y utilización de las aguas del subsuelo, debiéndose instalar medidores y además accesorios para determinar gastos, volúmenes y niveles.

## QUINTO.

Las zonas de veda se reglamentarán para fijar los volúmenes de extracción que se autoricen, así como las disposiciones que se requieran.

## SEXTO.

La realización de obras de recarga artificial en los acuíferos que sea factible y que así lo requieran.

## SEPTIMO.

Establecimiento de medidas para preservar la calidad del agua subterránea.

Además de las acciones que hasta ahora se han adoptado para manejar el agua subterránea, se han propuesto para mejorar el uso racional - las siguientes políticas :

PRIMERA.

Proveer los elementos técnicos e institucionales necesarios para - regular firmemente las aguas subterráneas.

SEGUNDA.

Concluir el inventario de la disponibilidad de aguas subterráneas - y mantenerlo actualizado. Continuar los estudios de gran visión, de - tallados e interdisciplinarios.

TERCERA.

Identificar las posibilidades y establecer los mecanismos para cam- biar el uso del agua superficial y subterránea de una actividad a - otra que ofrezca mejores perspectivas sociales y económicas.

CUARTA.

Aliviar problemas de sobreexplotación de acuíferos, implantando téc- nicas de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas y re - carga artificial.

QUINTA.

Reforzar la toma sistemática de información simultáneamente con la - explotación de los acuíferos, cubriendo aspectos cuantitativos y de - calidad.

SEXTA.

Establecer la coordinación entre dependencias que manejan informa - ción hidrológica en todos sus aspectos, y uniformizar y hacer dispo - nible la información que se reúna mediante bancos de información.

## SEPTIMA.

Apoyar el uso eficiente del agua y la reducción de la explotación -  
excesiva.

## OCTAVA.

Promover la mayor participación y cooperación de los usuarios en la  
selección e implantación de programas para el aprovechamiento del -  
agua subterránea.

## NOVENA.

Restringir la descarga de desechos, tanto en la superficie como en -  
el subsuelo, de acuerdo a las características de los sistemas de -  
flujo de aguas subterráneas de tal forma que se garantice la cali -  
dad del agua de los acuíferos.

## DECIMA.

Establecer "distritos de manejo o conservación de acuíferos" que -  
impulsen la correcta implantación de las políticas propuestas y que  
consideren la naturaleza regional o local de los problemas deriva -  
dos de la explotación excesiva o intensiva de las aguas subterrá -  
neas.

## 2 ) EXTRACCION PERMANENTE Y EXPLOTACION RACIONAL DEL ALMACENAMIENTO.

16

Como se mencionó anteriormente, el manejo de los acuíferos debe referirse a su comportamiento expresado como respuesta a la explotación que de ellos se realiza. Cuando ésta excede la extracción permanente se presenta la sobreexplotación que puede considerarse negativa ó positivamente según se permitan o no los ya citados efectos destructivos.

La extracción permanente, rendimiento seguro o recarga aprovechable, es el máximo volumen de extracción que no produce abatimiento indefinido ni daños irreparables al acuífero.

El cálculo de la extracción permanente se deriva del balance de aguas subterráneas y toma en consideración los valores medios de las aportaciones como son el flujo subterráneo y la recarga vertical por infiltración en la red de aguas superficiales, cantidades que de alguna manera son reflejo de la variación de la precipitación.

El hecho de que se tengan años con recarga inferior a la media favorece una sobreexplotación que puede ser aceptable de acuerdo con las características del acuífero, sobre todo tomando en cuenta que en años de mayor precipitación se tendrá una recuperación que restablecerá los niveles del agua.

En cuencas con niveles freáticos someros es recomendable el abatimiento de dichos niveles mediante la extracción adicional temporal, porque de ello puede derivarse un incremento en la extracción permanente al rescatar los volúmenes que originalmente se evapotranspiraban.

En algunos casos el abatimiento continuo de los niveles del agua en el acuífero se asocia con la sobreexplotación, lo que puede ser e -

rróneo y tratarse tan sólo de una excesiva concentración del bombeo, que se resuelve distribuyendo mejor los pozos de explotación.

Aprovechar la capacidad de almacenamiento de un acuífero desde un punto de vista positivo, representa grandes ventajas, dado que es como hacer uso de un capital que se tiene guardado, y significa un conocimiento de las condiciones físicas, administrativas, sociales, económicas, legales y políticas que ello representa.

Algunas consideraciones sobre estos aspectos son las siguientes :

Entre las condiciones físicas, se destaca la cantidad de agua almacenada, su calidad, el tipo de acuífero y sus fronteras. De aquí se obtienen los elementos que permiten tomar una decisión apropiada en cuanto a sobreexplotar, sin agotar las reservas e inutilizar el acuífero, mediante reducción de la extracción combinada con etapas de recuperación. Estas pueden depender de la aportación de fuentes alternativas o por extracciones inferiores a la permanente y el auxilio de recarga artificial.

Importar agua de cuencas vecinas puede ser una solución a la sobreexplotación, aún cuando hasta ahora no lo es para el uso agrícola aisladamente.

En los aspectos sociales y económicos interviene el uso que se le da al agua como base de sustentación de las actividades productivas de una región, por lo que no puede permitirse la pérdida de ese recurso básico. El cambio en el uso del agua, implica un problema social en cuanto a ocupación, generalmente de agricultores que necesitarán del sector primario, pasar tal vez, al sector industrial, si esta la actividad que inicia la extracción del agua.

El crecimiento de las ciudades ó la implantación de las industrias desplazan a la agricultura, además de que económicamente el uso urbano-industrial del agua permite cargas de bombeo superiores a las-

del sector agropecuario, por lo que debe planearse y reglamentarse - cuidadosamente esta transferencia de uso.

### 3 ) RECARGA ARTIFICIAL.

Se ha insistido mucho en los últimos años en la conveniencia de llevar a cabo programas de recarga artificial, lo cual indudablemente es positivo, siempre y cuando no se forjen ilusiones sobre los - resultados que puedan alcanzarse, ni se pierdan de vista las cir - cunstancias y limitaciones que cada sitio en particular impone.

Pensar que la recarga artificial sea la solución a los graves pro - blemas de sobreexplotación que se padece en más de 30 sitios en el país, sería una quimera, pues en la mayoría de los casos el problema lo constituye la escasez misma de agua para usos primordiales, con - cuanta mayor razón para recargarla como sucede en la mayor parte de las zonas áridas, en otras viene a ser su calidad, fuertemente dete - riorada, como en el Valle de México y en algunos lugares la necesi - dad de construir grandes obras para regular los caudales torrencia - les y dar lugar al proceso de infiltración, como en los acuíferos de las regiones del Pacífico-Centro y Golfo de México.

Entre los métodos de recarga artificial se tienen :  
cauces de ríos ó arroyos, canales ó drenes permeables, superficies de inundación, desviación de causes, ramales a base de zanjas, vasos es - calonados, pozos de absorción, etc.

La selección del método depende de las condiciones hidrológicas de la localidad, entre las que deben considerarse los suelos. Es así como suelos impermeables hacen pensar en la necesidad de pozos, con - una serie de estructuras auxiliares como son, presa para regular es - currimientos, conducciones y filtros.

Para llevar a cabo un programa de recarga artificial, puede ser con -

19  
veniente iniciarlo mediante proyectos piloto que permitan probar -  
la eficiencia del método en un sitio específico.

Asímismo se hace necesario medir los volúmenes y la calidad de agua  
disponible para infiltración, perforar pozos de observación, efectuar  
reconocimientos geológicos y emplear trazadores (sal común), "para -  
medir el tiempo de residencia y de la disolución del agua inyecta -  
da".

Como se ha visto anteriormente, el objetivo principal del trabajo de desarrollo es el de incrementar la porosidad y la permeabilidad, de alguna o de otra manera, en la relación pozo construido-acuífero.

Pero para esto, se presentan ciertos problemas en algunas partes, que son elementos importantes en la construcción de un pozo, - tales como : la rejilla, los filtros naturales de la formación, los filtros artificiales de grava y los fluidos de perforación utilizados en la perforación del agujero de la formación acuífera.

Los anteriores problemas se irán desmenuzando, en los conceptos siguientes como : la rejilla, en el diseño de pozos de agua y - en los equipos de perforación de la construcción de pozos.

## 1 ) LA REJILLA.

Una rejilla de pozo, sirve como sección de captación de un pozo - que toma el agua de un acuífero de material fino, no consolidado, como la arena.

La rejilla permite que el agua fluya libremente hacia el pozo, desde la formación saturada, evitando que la arena penetre y además actúa como un retenedor estructural, que estabiliza el agujero dentro del material no consolidado.

El diseño de una rejilla, es eficiente si permite el paso de agua libre de arena al pozo, en cantidades abundantes y con un mínimo de pérdida de carga.

A menudo se ignoran las rejillas de pozos y características ventajosas de su diseño. En su lugar, se emplean sustitutos improvisados como el tubo ranurado.

Las características adecuadas de una buena rejilla diseñada son :

- + Aberturas en forma de ranuras, que sean continuas e ininterrumpidas alrededor de la circunferencia de la rejilla.
- + Poca separación de las ranuras abiertas, para proveer el máximo porcentaje de área de entrada.
- + Aberturas ranuradas en forma de V, que se ensanchan hacia adentro.
- + Construcción a base de un solo metal, para evitar la corrosión galvánica.
- + Adaptabilidad a distintas condiciones, mediante el uso de diversos metales.
- + Máxima área abierta, en correspondencia con una adecuada resistencia.
- + Amplia resistencia para soportar las fuerzas a que la rejilla deberá estar sometida durante y después de su instalación.
- + Una serie completa de accesorios y aditamentos para el extremo, que facilite su instalación y las labores de acabado del pozo.

La rejilla del tipo de ranura continua, se fabrica mediante el arrollado de alambre estirado en frío, de sección transversal triangular, colocado espiralmente alrededor de un sistema circular de barras longitudinales.

En cada punto en donde el alambre cruza las barras, ambos elementos se aseguran firmemente.

El sistema más resistente para unir el alambre a las barras, es de soldadura (actuando rígidamente).

Las rejillas soldadas se fabrican de Everdur, bronce rojo al silicio, acero inoxidable tipo 304 o tipo 316, acero Monel, hierro galvanizado Armeo y acero galvanizado de bajo contenido de carbono.

Otro método de fabricación de rejillas de ranura continua es, introducir a presión el alambre exterior dentro de escopladuras practi- cadas en las barras longitudinales (no es tan rígida)

Las aberturas en la rejilla de ranura continua se obtienen separando como se desee los sucesivos anillos del alambre.

Si se requieren aberturas de ranura de 0.020 pulgadas (0.508 mm.), los alambres que forman la superficie de la rejilla se separan a 0.020 pulgadas (0.508 mm.) durante el proceso de fabricación.

Una misma sección o tramo de rejilla puede fabricarse de uno, dos o más diferentes tamaños de abertura, si las condiciones geológicas exigen esta variación.

Cada ranura abierta entre dos alambres, tiene forma de V, debido al perfil especial de alambre usado para formar la superficie de la rejilla.

Uno de los problemas, que se presentan al desarrollar un pozo es el siguiente :

Las aberturas en forma de V, con bordes exteriores aguzados, son más angostas en su cara exterior y se ensanchan hacia adentro. Cualquier grano de arena que pase por los aguzados labios de la abertura en V, atravesará la rejilla sin atascarse en ésta.

El tipo de abertura de ranura continua le permite dos puntos de contacto a cualquier grano de arena, para que las partículas individuales que sean retenidas por la rejilla no puedan obstruir las aberturas.

Las aberturas de rejilla, junto con sus características a desear antes descritas tienen bastante importancia en el éxito al desarrollar un pozo y en el acabado de éste.

Todo el principio del desarrollo de un pozo, depende del paso de los tamaños menores de arena y limo a través de las aberturas de la rejilla, que es parte del trabajo de acabado de aquél.

Estas aberturas deben ser tales que impidan la obstrucción y permitan completar y satisfacer el trabajo de desarrollo.

Las aberturas de ranura continua, brindan más área de captación por metro cuadrado, que cualquier otro tipo, para un tamaño dado de abertura ranurada.

Cualquier cantidad de agua, fluye con más libertad a través de una rejilla de gran área abierta o de captación, que al paso de una en que ésta esté limitada.

La velocidad de entrada a través de una área de captación mayor es baja y esto implica que la pérdida de carga producida por la rejilla, es mínima; a su vez, ello hace que el abatimiento dentro del pozo se reduzca, para cierto caudal de bombeo. En general, una área abierta grande y una velocidad reducida de entrada, alargan la vida útil de aquellos pozos que tuvieran obstrucción por las incrustaciones.

a ) Los diámetros de la rejilla de un pozo.

Las rejillas de pozo de ranura continua y de construcción soldada, se hallan en dos series de diámetros:

Una es de diámetro telescópico y la otra es hecha al tamaño de la tubería o rejillas de tamaño ID (ID, es el diámetro interior real). Las rejillas de tipo telescópico se colocan en el pozo deslizándolas a lo largo del ademe de éste, la rejilla queda colocada a manera de dos tubos de un telescopio. El diámetro de cada rejilla aquí, es el necesario para introducir la misma a través del ademe y se designan por su diámetro nominal. Por ejemplo una rejilla de este tipo para un pozo de 10 cm. de diámetro, tendrá a su vez un diámetro exterior de 9.5 cm.

La tabla II, ofrece dimensiones y otros datos de la serie de diámetros fabricados de este tipo.

· TABLA II Rejillas de Pozo Johnson-Modelo Telescópico  
Dimensiones en Pulgadas

Ø NOMI- NAL	Ø EXTE- RIOR REAL	LUZ MINIMA INTE- RIOR	ACCESORIOS ROSCADOS CORRESPON- DIENTES AL TUBO (&)	Ø DE LA TUBERIA DE IZADO (&&)
3	2 3/4	2	2" M F	2
4	3 1/4	3	3" M F	2 1/2
5	4 3/4	4	4" M F	3
6	5 5/8	4 7/8	5" M F	4 6 5
8	7 1/2	6 5/8	6" M F	5 6 6
10	9 1/2	8 5/8	8" M F	6 6 8
12	11 1/4	10 3/8	10" M F	8 6 10
OD, 14	12 1/2	11 3/8	12" M	8 6 10
OD, 16	14 1/4	13 1/8	14" M	12
OD, 18	16 1/4	15	16" M	12
OD, 20	18 1/4	17	---	12
OD, 24	22 5/8	21 1/4	---	12
OD, 30	27 1/4	25 1/2	---	12
OD, 36	32	30 1/2	---	12

(&) Máximas conexiones roscadas de extremo de un diámetro (Ø) exterior no mayor que la rejilla.

(&&) Tamaño usual de la tubería para conectar a la zapata de izado.

M = macho ; F = hembra ; OD = Diámetro exterior.

La serie fabricada al tamaño de la tubería ID, suministra rejillas del mismo diámetro correspondiente a la tubería de ademe de tamaño estándar.

Estas rejillas se usan en aquellos casos en que el diseño del pozo requiere que ésta vaya unida al ademe del pozo y cuando se desee mantener un diámetro constante en toda la profundidad del mismo; estas rejillas se acompañan con anillos para soldar en cada extremo y así soldarse al tamaño correspondiente de tubo; también llevan accesorios de rosca para el extremo, pero no se usan éstos en tamaños mayores de 12 pulgadas de diámetro exterior:

La tabla III, ofrece dimensiones y detalles de la serie ID:

TABLA III Rejillas de Pozo Johnson-Modelo de Diámetro Interior  
Dimensiones en Pulgadas

Ø NOMI- NAL	Ø INTE- RIOR	Ø EXTE- RIOR	DIAMETRO EXTERIOR DEL EXTREMO CON ROSCA INTERNA (HEMBRA) (#)	ACCESORIOS NORMALES PARA CONEXIONES DE EXTREMO ROSCADO
2	2	2 5/8	2 3/4	2" M Y F
3	3	3 3/4	3 3/4	3" M Y F
4	4	4 3/4	4 3/4	4" M Y F
5	5	5 5/8	5 3/4	5" M Y F
6	6	6 5/8	7 3/16	6" M Y F
8	8	8 3/4	9 1/8	8" M Y F
10	10	10 3/4	11 5/16	10" M Y F
12	12	12 7/8	13 1/2	12" M Y F
14	13 3/4	14 3/4	-----	---
16	15 3/4	16 1/4	-----	---
20	19 1/4	20	-----	---
24	23 5/8	24 1/2	-----	---
30	29 1/2	30 1/2	-----	---

(#) Dimensiones correspondientes a rejillas de acero inoxidable y Everdur, los accesorios roscados hembra para rejillas de hierro Armeo y acero galvanizado, son ligeramente más grandes.

Las rejillas para pozos, de aberturas de ranura continua, se fabrican en cualquier ancho de abertura desde 0.15 mm.

Las aberturas de ranuras, se designan por números que corresponden al ancho de la abertura en milésimas de pulgada (la abertura N° 10 corresponde a 0.010 pulgadas, o sea 0.25 mm.)

El tamaño de las aberturas se selecciona de modo que se ajuste a la graduación de la arena del acuífero. Si el pozo va a ser dotado de un filtro de grava, la abertura de la ranura debe retener alrededor del 90% de la grava.

## b ) Tipos de rejilla

Los tipos de rejilla, acondicionados en un pozo, aquí presentes, son 2 clases : las rejillas tipo celosía y las de tipo base tubular las cuales en su fabricación, influye mucho las aberturas de las ranuras. Ver fig. II-a.

Estos 2 tipos de rejilla, se enuncian a continuación.

## x) Celosía.

En este tipo, las aberturas forman hileras de celosías. También dichas aberturas pueden estar orientadas tanto a ángulo recto, como paralelamente al eje de la rejilla. Estas se practican en la pared de un tubo soldado mediante una operación de troquelado.

El tamaño de la ranura o el ancho de la abertura, se establecen mediante la acción de un sacabocados que actúa contra un troquel, el cual limita la extensión hasta la cual el metal es estirado. Este proceso corta la pared metálica del tubo en un tanto igual a la longitud de cada abertura.

El número de tamaños de abertura que se pueden hacer, depende de la serie de troqueles de que disponga el fabricante.

La forma de las aberturas tipo celosía es tal que esta rejilla no se puede usar con éxito en pozos desarrollados naturalmente.

Por lo tanto, aquí encontramos otro problema que afecta al desarrollo de un pozo ya que las aberturas se bloquean durante dicho proceso de desarrollo, en el cual el material del acuífero contenga una apreciable cantidad de arena.

De aquí, que el uso de este tipo de rejilla queda limitado casi por completo a los pozos construídos con filtro de grava.

Debido a los apreciables espacios ciegos que quedan entre las aberturas contiguas, el porcentaje de área abierta de estas rejillas es reducido.

Por lo general, se fabrican en tramos de 1.50 metros de longitud, los cuales se pueden unir por soldadura para constituir secciones más largas.

Las rejillas del tipo de celosía son hechas de varios materiales, incluyendo el acero templado, el acero inoxidable y el bronce Everdur.

## xx ) Base tubular.

Este tipo de rejillas, se fabrican usando un tubo de acero perforado que sirve como núcleo, el cual se cubre con una funda de ranuración continua.

Esta funda se obtiene por el arrollado de un alambre de sección trapezoidal colocado sobre el tubo, o arrollándolo sobre una serie de barras longitudinales separadas como se desee alrededor de la circunferencia exterior del tubo; estas barras mantienen el alambre re -

tirado de la superficie del tubo, logrando que muy pocas de las aberturas queden bloqueadas.

Este tipo de construcción es más eficiente que el de la rejilla de arrollado directo sobre el tubo.

Una envoltura mejor, se obtiene cuando una unidad integral y soldada, de rejilla, se hace deslizar sobre la pared exterior del tubo; esta funda es más resistente y menos susceptible de rasgarse.

Este tipo de rejilla, contiene dos grupos de aberturas : Las exteriores, son vueltas continuas del alambre arrollado; las interiores consisten de los agujeros o perforaciones hechas en el tubo que sirve de núcleo estructural.

El área total de las perforaciones de la tubería, es menor que la abertura formada por el alambre exterior de manera que el comportamiento hidráulico del conjunto depende del porcentaje de área abierta de la tubería del núcleo.

Por lo general ese porcentaje es bajo.

En la fabricación de este tipo de rejilla se usa como núcleo, un tubo de acero con una funda exterior de acero inoxidable, bronce o latón.

Cuando una aleación de cobre, o de acero inoxidable, se pone en contacto con un tubo ordinario de acero, se producirá una acción electro-lítica y tendrá lugar la corrosión del tubo.

Este tipo de rejilla sufre mucho el efecto de la corrosión galvánica, debido a su construcción con dos metales diferentes.

De manera que éste, es otro problema que nos impediría efectuar un buen desarrollo.

Una manera o modo de evitar la acción electro-lítica es utilizar para el tubo del núcleo, el mismo metal que para la funda; el costo aumenta, pero el producto es más durable.

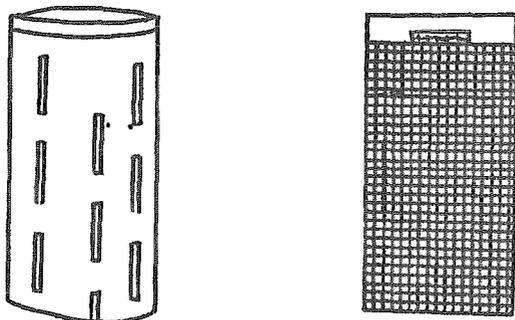


Fig. II-a. Comparación entre una tubería ranurada y una rejilla de pozo, ambas de acero inoxidable y con el mismo ancho de abertura, que muestra cómo la rejilla de abertura ranurada continua, dispone de 10 veces más área abierta por metro lineal o por metro cuadrado de superficie lateral.

c ). Sustituto de la rejilla de un pozo.

Cuando por cualquier circunstancia, no se pueda utilizar una rejilla comercial en un pozo, se usa la llamada tubería ranurada, ésta contiene ranuras producidas por cualquier medio, su utilización es un sustituto improvisado de una rejilla de pozo.

Las aberturas pueden consistir en ranuras cortadas con una sierra, ranuras producidas por un soplete de oxiacetileno, ranuras formadas mediante un punzón y un troquel, o la perforación basta obtenida con un perforador de ademe.

El perforador de ademe de pozos, es una herramienta que se utiliza en el campo para producir aberturas en tubería de acero; una vez que el ademe se ha hecho descender dentro del pozo a través de la perforación granular acuífera.

Las limitaciones más importantes de la tubería perforada son :

- + Las aberturas no son lo suficientemente próximas.
- + El porcentaje de área abierta es bajo.
- + Las aberturas son inexactas y varían de tamaño.
- + Las aberturas suficientemente pequeñas, que a veces se necesitan para controlar el paso de arena fina y media, resultan difíciles, si no imposibles de obtener.

El problema que afecta al éxito de desarrollo, es que ésta tubería no es resistente a la corrosión y que los procedimientos para perforar el tubo, aceleran el ataque corrosivo sobre el metal, si es que el agua es agresiva.

Los berdes mellados y las superficies de las ranuras son susceptibles de una corrosión selectiva.

Se ha demostrado mediante ensayos, la mayor eficiencia de las rejillas comerciales de pozos, al compararlas con la tubería ranurada.

Otro sustituto, es el tubo hecho de plástico ranurado, éste se limita a pozos de pequeño diámetro, debido al material que es de baja resistencia y que es de un sexto a un décimo de la correspondiente a las rejillas de acero inoxidable o bronce Everdur.

En relación con la poca resistencia del tubo hecho de plástico, se tiene otro problema, y es la dificultad de obtener accesorios adecuados para sus extremos.

Los accesorios normales dispuestos no permiten manipular el material por métodos y herramientas convencionales empleados en la mayoría de las operaciones de perforación de pozos.

La tubería de material plástico, ofrece muy bajo porcentaje de área abierta y se limita al igual que la tubería ranurada de acero.

d ) Resultados de algunos ensayos para pozos.

Mediante algunos ensayos en pozos de prueba, al instalarles tanto rejilla comercial como tubería ranurada en un acuífero, que esencialmente es el mismo en todos los sitios (comprobado mediante las muestras de arena tomadas en la perforación), se determinó que :

"El área abierta que sería de desear en una rejilla de pozo, es aquella que sea por lo menos igual al porcentaje de vacíos o porosidad de la formación granular acuífera o del filtro de grava soportado por la rejilla".

Lo anterior es una regla lógica, si suponemos que cierta arena con tiene un 30% de vacíos o porosidad y que una rejilla instalada en el pozo tiene un 10% de área abierta; la diferencia representa una restricción del flujo al ir penetrando el agua al pozo, significando esto un mayor abatimiento, ya que se produce una pérdida de carga con el movimiento del agua a través de las aberturas de la rejilla.

En un pozo desarrollado en forma natural, el área abierta de la rejilla realmente excede de la porosidad del material acuífero no alterado.

Lo anterior nos representa un problema, si es que no utilizamos el desarrollo del pozo (se refiere a la restricción del flujo).

El desarrollo del pozo aumenta la porosidad del acuífero en los alrededores de la rejilla. Por lo tanto, el área abierta de dicha rejilla, debería ajustarse a la porosidad obtenida mediante el desarrollo si es que se quiere evitar aquella restricción del flujo.

Mediante ensayos de laboratorio, se concluye que no se obtiene ventaja adicional, cuando el área de la rejilla excede de un 15% a un 20%. Esto es porque en dichos ensayos, las rejillas se han rodeado de unos pocos centímetros de grava y todo el conjunto se ha sumergido en un tanque de agua abierto (esto nos representa el comportamiento de una rejilla, cuando ésta se instala en un pozo).

En el campo, estos ensayos de laboratorio son una guía falsa en la selección de una rejilla.

Los pozos enrejillados, dan buenos resultados si el área abierta de captación total, es la mayor posible para un tamaño dado de abertura y para los requisitos exigidos de resistencia.

En pozos de formaciones de arena fina, no se puede obtener una rejilla, cuyo porcentaje de área abierta sea igual al porcentaje de porosidad de la arena. El tamaño de aberturas requeridas para regular la entrada de arena fina, es a menudo tan pequeña, que aún la mejor rejilla de ranura continúa fallaría en brindar el porcentaje óptimo de área abierta.

Por ejemplo, si se requieren ranuras de una abertura N<sup>o</sup> 10 (0.010 pulg) la rejilla más eficiente de construcción soldada dará sólo un poco - más de 14% de área abierta. Algunas otras rejillas menos eficientes, - alcanzan un poco menos de 10% de área abierta.

Una tubería ranurada improvisada, tendrá un poco menos del 2% de área abierta.

En tanto que, ninguna dará del 25% al 30% de abertura equivalente a - la porosidad de formación granular; la rejilla soldada es la que se - aproximará a la magnitud requerida.

Una rejilla de diseño pobre no podrá alcanzar óptimos resultados, aún para un perforador eficiente que perfora y enrejille un pozo.

Bastante importa que la rejilla sea fabricada al tamaño o tamaños - correctos de aberturas de ranuras, que se ajusten a la graduación de - la arena, o de la grava y arena que constituyen la formación acuífera.

2 ) CARACTERISTICAS DE ARENAS ACUIFERAS MEDIANTE ANALISIS GRANULOMETRICO.

30

Los análisis granulométricos de las muestras obtenidas durante esa perforación de agujeros de investigación o de pozos de producción, revelan las características de la arena acuífera.

El resultado que se obtiene, permite tomar en cuenta los factores que inciden en el diseño de un pozo, dotado de rejilla.

Uno de los factores críticos consiste en escoger la abertura correcta de la rejilla.

El análisis granulométrico completo de una muestra de arena, se lleva a un gráfico para obtener así una curva que muestre la distribución de los diversos tamaños de granos, desde finos a gruesos y que constituyen la muestra.

Para poder comparar la graduación de una muestra con la de otra, se hace necesario ajustarse a un procedimiento uniforme para el ensayo de las muestras de arena.

El instrumental necesario para analizar muestras de arena, incluye una hornilla para su secado, un juego de mallas estándar y una balanza de precisión para pesar los materiales.

Por lo general se emplean las cribas de malla de alambre, de 20 cm. de diámetro, los mejores tipos de balanza dan el peso en gramos y son sensibles hasta aproximadamente un gramo, las balanzas que dan el peso en onzas también se utilizan, pero por lo general son menos precisas.

Las curvas de análisis granulométrico tienen muchas otras aplicaciones, no solamente en el campo de los pozos de agua.

Dichas curvas se utilizan además, para representar la graduación de la arena utilizada en el concreto, materiales de tierra para terraplenes y represas, arenas filtrantes y para muchos otros tipos de materiales granulares.

## 3 ) DISEÑO DE POZOS DE AGUA.

El diseño de un pozo de agua, implica escoger los factores dimensionales apropiados para la estructura de éste y de los materiales que se van a utilizar en su construcción.

Un buen diseño, exige la seguridad de una combinación óptima de comportamiento, larga vida de servicio y un costo razonable.

Las guías de diseño aquí presentes, se refieren a pozos dotados de rejilla, emplazados en materiales no consolidados; comparativamente, los pozos ubicados en formaciones de rocas consolidadas y construídos con rejilla, exigen el tener que considerar mayor número de detalles de diseño, sin embargo, los mismos principios básicos se aplican en ambos casos.

La mayor parte de la información en este trabajo, se refiere al diseño de pozos municipales, industriales o de riego.

Tales pozos deben en general, diseñarse para obtener de ellos el mayor rendimiento disponible en el acuífero y la mayor eficiencia en términos de capacidad específica.

Estos factores inciden directamente en los costos de operación.

Los factores especiales de diseño de los pozos pequeños como los de uso domiciliario, agropecuario y comercial se enuncian a continuación:

Resulta útil considerar al pozo como una estructura en base a dos elementos principales.

Un elemento está constituido por la parte del pozo que sirve como alojamiento del equipo de bombeo y como conducto vertical a través del cual fluye el agua en su movimiento ascendente desde el acuífero hasta el nivel en que hace su entrada a la bomba.

Por lo general, esta es la parte ademada del pozo, aunque en algunos casos, una fracción de esta longitud puede permanecer libre de adame, si el pozo se ha construído dentro de materiales consolidados.

El otro elemento, es el intervalo de captación del pozo. Ya que éste es el lugar en donde el agua proveniente del acuífero hace su entrada al pozo, su diseño debe ser muy cuidadoso de los factores hidráulicos, que influyen en el comportamiento del pozo.

Lo anterior se aplica en especial a un pozo que deriva agua de una formación no consolidada, tal como la arena; en este caso se usa una rejilla como captación en la estructura de éste; la rejilla bien construída, permite que el agua entre al pozo libremente y a baja velocidad, para así evitar que la arena entre al pozo junto con el agua; sirve también como retenedor estructural que soporta el material suelto.

En un acuífero formado por roca consolidada, el pozo en general viene a ser un agujero perforado dentro del acuífero hasta una profun -

didad adecuada; el rendimiento del pozo variará con el número, tamaño y continuidad de aberturas que se hallan en la roca y que aparecen al perforar el agujero dentro del acuífero.

a ) Recomendaciones de diámetro del pozo y del ademe.

Escoger el diámetro del pozo adecuado es muy importante, ya que afecta en buena parte el costo de la obra; puede que el pozo sea o no del mismo diámetro, de la superficie hasta el fondo. Hecha la perforación con un ademe de tamaño dado, quizá las condiciones de la misma u otros factores hagan necesario reducir el diámetro a cierta profundidad y terminar el tramo inferior del pozo en uno menor.

El diámetro del pozo se escoge de modo que se cumpla :

- + Que el ademe sea lo suficientemente amplio, para permitir acomodar la bomba con una tolerancia adecuada para su instalación y eficiente funcionamiento.
- + El diámetro del intervalo de captación del pozo debe garantizar una buena eficiencia hidráulica del mismo.

Al escoger el tamaño del ademe, el factor gobernante es en general, - el tamaño de la bomba que va a necesitarse para la descarga deseada o potencial del pozo; el diámetro del ademe debería ser de dos números mayor que el diámetro nominal de la bomba; ninguna circunstancia impedirá escoger un diámetro menor de al menos un número más grande que los tazonos de la bomba. La tabla IV, muestra los tamaños de ademe recomendados para diversos rangos de rendimiento o caudal de bombeo.

TABLA IV. Diámetros recomendados de pozo.

PRODUCCION PREVISTA DEL POZO.	DIAMETRO NOMINAL DE LOS TAZONES DE LA BOMBA.	DIAMETRO OPTIMO DEL ADE- ME DEL POZO.	MINIMO DIAMETRO DE ADEME.
M <sup>3</sup> /MIN.	(CM.)	(CM.)	(CM.)
Menos que 0.4	10.0	15.0 ID	12.5 ID
0.3 a 0.7	12.5	20.0 ID	15.0 ID
0.6 a 1.5	15.0	25.0 "	20.0 "
1.3 a 2.5	20.0	30.0 "	25.0 "
2.3 a 3.4	25.0	35.0 OD	30.0 "
3.2 a 5.0	30.0	40.0 "	35.0 OD
4.5 a 6.8	35.0	50.0 "	40.0 "
6.0 a 12.0	40.0	60.0 "	50.0 "

ID= Diámetro interior. OD= Diámetro exterior.

Cuando el agua no es en sí corrosiva, se escoge un 40% de retención; si es que se tuviera confianza en la muestra.

Se observa entonces aquí, otro problema que afecta al desarrollo.

Cuando el agua es corrosiva, se aconseja la solución más conservadora ya que el aumento de sólo unas pocas milésimas de pulgada o fracción de milímetro, debido a la corrosión, causaría la invasión de arena al pozo.

En una formación homogénea de arena gruesa y grava, el diseñador tiene un amplio margen para escoger aberturas de las ranuras; la curva granulométrica de arena y grava juntas, es más aplanada que la de arena fina, cualquier variación de pocas milésimas en el tamaño de la ranura, permitirá que sólo una pequeña diferencia de cantidad de material pueda pasar a través de la rejilla durante el desarrollo.

Por lo tanto, las aberturas de ranura escogidas se hallarán entre los tamaños de arena con un rango de 30% al 50% de retención.

Tendríamos un problema de desarrollo, si las aberturas escogidas retienen solamente un 30%, ya que mayor cantidad de material pasará al pozo durante el proceso de desarrollo; ello hace que el tiempo necesario para esta labor aumente, sin embargo, una de las ventajas obtenidas al escoger una rejilla con un tamaño de abertura, es la de eliminar el costo de una labor de sobredesarrollo.

Cuando el agua es de características incrustantes, la vida útil del pozo, también puede extenderse más allá del instante en que la obstrucción empieza a reducir el rendimiento del mismo.

Un beneficio para desarrollar el pozo, es el que los tamaños grandes de ranura, hacen también posible que se desarrolle una zona de material más grueso alrededor de la rejilla, implicando esto un aumento de la capacidad específica del pozo, haciéndolo más eficiente.

Por otra parte, si se tienen dudas acerca de la confianza en las muestras, si el acuífero es delgado y sobreyacido por material suelto y de granulometría fina, o cuando el tiempo de desarrollo es de interés, se requiere escoger una abertura de rejilla en forma más conservadora; se prefiere en este caso, un tamaño de abertura de ranura de 40% al 50% del material acuífero.

Naturalmente, existen más formaciones heterogéneas o acuíferos estratificados; en esta situación las aberturas de ranuras de diversos tramos de una rejilla, se escogen de manera que se ajusten a la graduación de los materiales de todos los estratos, cada sección de rejilla debe contener aberturas que se ajusten al material de cada estrato individual.

Escoger las aberturas de una rejilla de diversas ranuras, implica obedecer o aplicar dos reglas adicionales, que son las siguientes :

#### PRIMERA REGLA.

Si el material fino descansa sobre material grueso, se extenderá la -

rejilla que tiene su abertura diseñada para el material fino de al menos 0.60 m. dentro del material más grueso que se halle por debajo.

#### SEGUNDA REGLA.

Si el material fino reposa sobre un material grueso, el tamaño de ranura del tramo de rejilla que se instalará en el estrato de granulometría gruesa, no será mayor que el doble de la abertura de ranura - que se emplee para el material fino.

Al aplicar estas dos reglas se reduce la posibilidad de que el pozo pueda bombear arena, en el caso de que la profundidad de la parte superior y la del fondo de cada estrato distinto, no hayan sido determinadas con exactitud.

Las guías para el tamaño de la ranura, indica que alrededor de un 60% del material de la formación pasa a través de la rejilla durante el proceso de desarrollo.

El presentarse esta situación, causa un problema para la habilitación e desarrollo del pozo, y es que la eliminación de esta fracción de material (60%), da por resultado cierto asentamiento del que se halla alrededor de la rejilla, permitiéndole también al material de arriba - que se asienta un poco; la posición del estrato más fino sobreyacente se desplaza un poco hacia abajo conforme tiene lugar el asentamiento.

En la presente fig. II-b, ilustra lo que sucedería si no se aplicara la primera de las dos reglas anteriores; en este caso, aquella sección de rejilla cuyas aberturas fueron diseñadas para ajustarse a la arena más gruesa, empieza a la profundidad en que tiene lugar el cambio de formación, es decir el contacto entre ambos estratos.

Al irse removiendo la parte fina del material más grueso durante el desarrollo, puede ocurrir el asentamiento de la capa de arena fina - que yace por encima; ello podría ocasionar que la parte superior de - rejilla que contiene las mayores aberturas se ponga en contacto con la arena fina, permitiendo la invasión continua de arena al pozo.

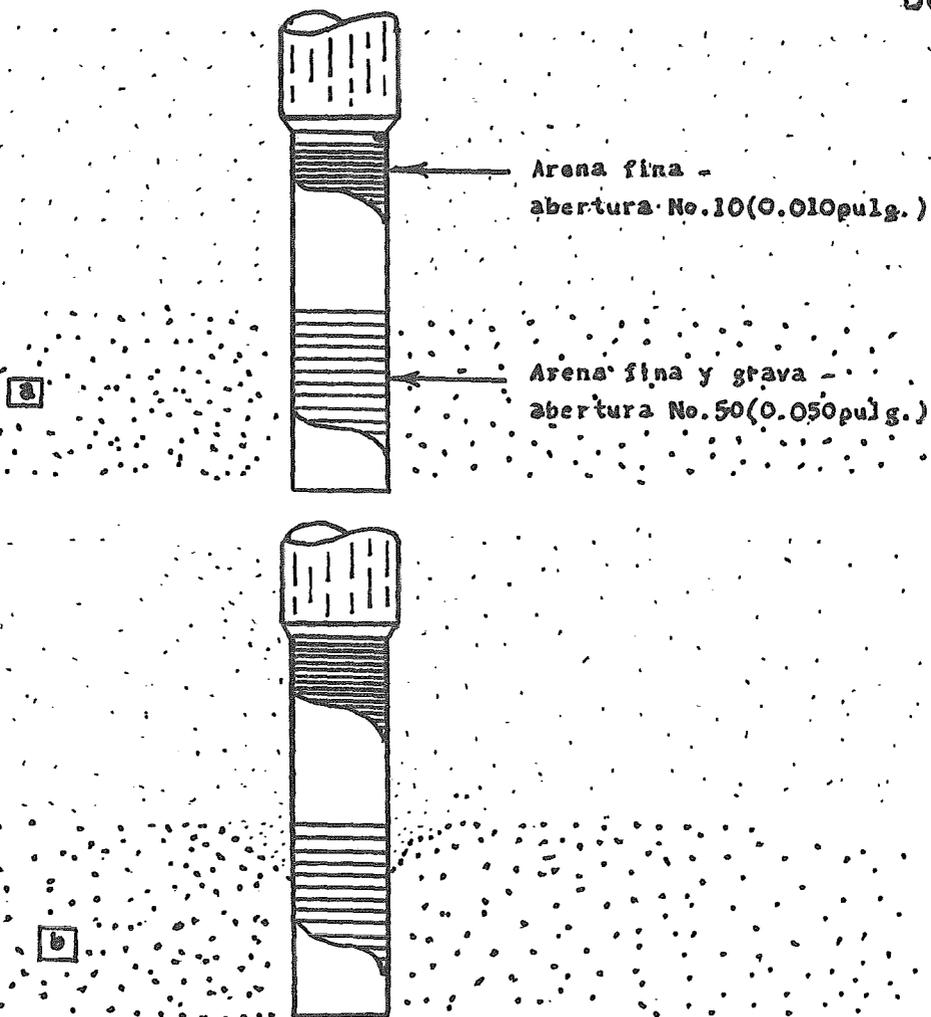


Fig. II-b. La rejilla de la parte inferior de un acuífero estratificado (a) debe ser más corta que el espesor de la arena más gruesa para evitar la condición (b) en que se muestra la posibilidad de que la arena fina penetre a la parte superior de la rejilla, después de desarrollar el pozo.

El diseñador de pozos deberá siempre diseñar la rejilla para que ésta se ajuste a las condiciones acuíferas del pozo, no implicando ningún costo adicional el empleo de una rejilla de múltiples tamaños de abertura.

Si se utilizan las aberturas apropiadas para que se ajusten a cada estrato, se obtendrá la máxima capacidad específica posible y reducción notable de las posibilidades de invasión de arena al bombear el pozo.

Para determinación del diseño, de la abertura de ranura de la rejilla, tenemos la siguiente tabla :

**T A B L A Y**      Diseño para Escoger las Aberturas

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	TAMAÑO EFECTIVO (mm)	CUADRADO DEL TA - MAÑO (mm) <sup>2</sup>	ABERTURAS POSIBLES DE REJILLA mm 40% de		
				Mínima	Retención	Máxima
30 a 35	4.6	0.254	0.065	0.71	0.76	0.76
35 a 38	3.0	0.660	0.436	1.73	2.03	2.41

d ) Determinación del diámetro de la rejilla.

El diámetro de la rejilla se escoge para cumplir con un principio básico y es el que se debe proveer suficiente área de entrada para que la velocidad de acceso del agua al pozo no exceda de un cierto valor estipulado; el diámetro de la rejilla es un factor que podría variarse una vez que la longitud y el tamaño de las aberturas hayan sido escogidas.

La longitud de la rejilla depende del espesor del estrato granular; el tamaño de las aberturas de las ranuras queda definido por la graduación de la arena; en gran medida las características naturales del acuífero son las que establecen estas dimensiones, dejando al diámetro como factor variable.

Mediante pruebas de laboratorio y la experiencia de campo se ha demostrado que si la velocidad de entrada del agua a través de la rejilla, es de un valor igual o menor a 3 cm/seg, se obtendrá lo siguiente :

- + Las pérdidas por fricción en las aberturas de la rejilla serán de un valor despreciable.
- + La velocidad de incrustación será mínima.

+ La velocidad de corrosión también será mínima.

La velocidad de acceso, se calcula dividiendo la descarga deseada o que se espera obtener, por el área total abierta de las ranuras de la rejilla.

Si la cifra obtenida es mayor a 3 cm/seg., se aumentará el diámetro de la rejilla de modo que se provea suficiente área abierta y la velocidad se aproxime al valor indicado.

Si la velocidad calculada resulta menor al valor mencionado, por ejemplo 1.5 cm/seg., se podrá entonces reducir el diámetro de la rejilla en cierta proporción.

Cualquier rejilla con una mayor área abierta, tiene gran ventaja en cuanto a su costo, al compararla con distintos tipos de rejilla que produzcan la misma velocidad de entrada.

El diámetro de la rejilla deberá ser tan grande como se pueda, para así mantener el valor de la velocidad de entrada por debajo del valor límite de 3 cm/seg.

La mayor parte de los fabricantes de rejillas, ofrecen tablas que indican el área abierta por metro para cada tamaño de ésta y para diversos anchos de ranuras. La tabla VI, es un ejemplo de lo anterior.

TABLA VI Áreas Abiertas de Rejillas Johnson del Tipo Telescópico

DIAMETRO DE LA REJILLA EN PULGADAS	AREA DE CAPTACION POR PIE LINEAL DE REJILLA EN PULGADAS CUADRADAS						
	ABERTURA No. 10	ABERTURA No. 20	ABERTURA No. 40	ABERTURA No. 60	ABERTURA No. 80	ABERTURA No. 100	ABERTURA No. 150
3"	10	19	32	42	43	55	65
4"	14	26	44	57	58	74	88
5"	18	33	55	72	73	94	112
6"	21	39	65	85	87	111	132
8"	28	51	87	113	116	131	160
10"	36	65	110	143	147	166	203
12"	42	77	130	170	174	180	223
14" OD	38	71	123	163	177	198	251
15" OD	39	76	132	175	190	217	268
16" OD	35	69	123	164	171	198	250
18" OD	39	78	139	186	193	224	283
20" OD	47	88	156	209	218	252	318
24" OD	46	87	158	217	266	307	389
26" OD	49	91	166	227	278	321	406
30" OD	57	108	192	268	239	379	480
36" OD	65	124	224	307	376	434	550

NOTA : Cada rejilla se designa por el tamaño de la tubería de acero a través de la cual deberá insertarse por el método telescópico. El número de ranura denota el ancho de la abertura en milésimas de pulgada.

En algunos casos especiales, las áreas abiertas podrían diferir un poco de los valores mostrados. OD = diámetro exterior. 1 pie lineal = 0.305 m. 1 pulg. = 2.54 cm. 1 pulg.<sup>2</sup> = 6.45 cm.<sup>2</sup>

e ) Capacidad transmisora de la rejilla.

Esta capacidad transmisora se expresa, por ejemplo en litros - por segundo por cada metro de rejilla y a la velocidad recomendada de entrada de 3 cm/seg., se calcula fácilmente mediante los valores mostrados en la tabla VI.

Al multiplicar el número de pulgadas cuadradas de abertura, tal como se muestra en dicha tabla, por un factor de 0.31, se obtiene la capacidad de transmisión de la rejilla, en las unidades de la Tabla.

Por ejemplo, el área abierta de una Rejilla Johnson para pozo, de 8 - pulgadas de diámetro y de aberturas de tamaño No. 60 (0.060 pulgadas) - (1.524 mm) es, según la Tabla, de 113 pulgadas cuadradas por cada pie lineal de rejilla, por lo que la capacidad transmisora será de lo siguiente : 0.31 X 113, o sea, de 35 galones por minuto por pie de rejilla (0.434 metros cúbicos por minuto por metro de rejilla).

Tres metros de esta rejilla, a la velocidad estipulada de 3 cm/seg. - transmitirán 1.30 m<sup>3</sup>/mín./m. de agua a través de las aberturas de la misma.

Debe tenerse en cuenta que la capacidad de transmisión de una rejilla de pozo es una característica hidráulica de la rejilla en sí a la velocidad recomendada de acceso y en ningún momento constituye una medida del rendimiento del acuífero en el cual se halla instalada.

f ) Elección del metal de una rejilla.

Tres aspectos que gobiernan la elección del metal con que se va a fabricar la rejilla, son los siguientes :

- + Contenido mineral del agua.
- + Presencia de jaleas bacterianas.
- + Requisitos de resistencia de la rejilla.

El contenido mineral del agua se obtiene por el análisis químico - realizado en dicha agua y revela si el agua es corrosiva o incrustante.

A veces el agua causa tanta corrosión como incrustación.

g ) Las aguas corrosiva e incrustante.

Estas aguas, la corrosiva y la incrustante o a veces una combinación de ambas, son las que posiblemente nos encontremos dentro de un acuífero y por lo tanto se deben analizar, como sigue :

x ) Agua corrosiva.

La corrosión de la rejilla, hace fallar o deteriorar con más frecuencia al pozo, que la corrosión del ademe.

Al agrandarse las aberturas de la rejilla por la corrosión de sólo una pequeña tracción del metal, podría ocurrir la invasión de una - excesiva cantidad de arena al pozo.

Por lo tanto este también representa un problema para efectuar un - buen desarrollo.

Por otra parte, la corrosión podría eliminar unos cuantos milímetros de la pared del ademe y, sin embargo, permitir que el espesor que - quedara evite el colapso del pozo o la entrada de agua de calidad - no apetecible.

De aquí, que sea muy importante usar una rejilla que haya sido cons- truída con un metal resistente a la corrosión.

La lista siguiente proporciona índices de corrosividad del agua que pueden ser útiles al diseñador para descubrir las condiciones pe - tenciales de corrosividad de ésta.

- + Valor bajo del pH. Si es menor que 7, el agua es ácida y existen - condiciones de corrosividad.
- + Oxígeno disuelto. Si es mayor de 2 ppm, el agua es corrosiva. El o - xígeno se halla más en pozos freáticos. No se determina exactamen - te el oxígeno disuelto.
- + Sulfuro de hidrógeno. Su presencia se sabe por el olor a huevos - podridos. La concentración menor a 1 ppm puede causar corrosión - severa, se percibe fácil por el olfato o el gusto.
- + Sólidos disueltos. Si el contenido mineral disuelto es mayor a - 1000 ppm. La conductividad eléctrica del agua es muy alta para po - der causar corrosión electrolítica. La fabricación de rejillas, de - un solo metal que resiste la corrosión, es conveniente.
- + Dióxido de carbono. Si éste es mayor a 50 ppm el agua es corrosiva.
- + Cloruros. Si éstos son mayores a 500 ppm la corrosión se presenta.

La combinación de los anteriores agentes aumenta más la corrosión.

xx ) Agua incrustante.

Esta agua deposita minerales en la superficie de la rejilla y poros de la formación cercanos a ésta; por tanto se obstruyen las abertu - ras de la rejilla y de la formación, afectando de paso al desarrollo del pozo.

Los índices de incrustabilidad de esta agua son :

- + Alto valor del pH. Si es mayor a 7,5, existen incrustaciones.
- + Dureza de carbonatos. Si es mayor a 300 ppm, se deposita carbonato de calcio (costras de cal).
- + Hierro. Si es mayor a 2.00 ppm, existe la incrustación debido a la precipitación de hierro.
- + Manganeso. Si es mayor a 1.00 ppm y con la presencia de un alto pH, existe la incrustación debido a la precipitación del manganeso, si hay oxígeno presente.

Los anteriores índices, son algunos con los que se puede contar.

Los minerales depositados (incrustación), son removidos por la adición al agua de fuertes concentraciones de ácido muriático (ácido clorhídrico), que los disuelve.

La rejilla estará construída con metales resistentes a la acción corrosiva del tratamiento con ácido.

El tipo Everdur y el de acero inoxidable 304, han resistido este tipo de tratamiento.

La bacteria ferrosa o ferruginosa se halla en el agua, pero no es ofensiva a la salud, aquella bacteria es un organismo molesto que obstruye los poros de la formación acuífera y de las aberturas de la rejilla. También produce un material pegajoso y de consistencia como jalea viscosa, causan oxidación y precipitación de hierro disuelto, así como de manganeso.

Debido a la unión proliferante de organismos y minerales precipitados, en corto tiempo se obstruye completamente el pozo. Algunos pozos han presentado una reducción del 75% en el rendimiento del pozo, esto ha sido en tres meses o un año.

Un tratamiento efectivo en este caso, es usar una solución fuerte que es de cloro, la cual destruye los organismos; después deberá tratarse con ácido clorhídrico para disolver las precipitaciones de hierro y manganeso, haciendo así posible eliminarles por bombeo, de la zona que rodea al pozo.

La corrosividad de fuertes soluciones y el tratamiento, se repetirán periódicamente, y por lo tanto el material de la rejilla fabricada resistirá aún a los tratamientos químicos.

h ) Fuerzas aplicadas sobre la rejilla.

La rejilla soporta dos fuerzas : la carga de la columna y la presión que le haría sufrir un colapso. Cuando una rejilla larga soporta un peso considerable de tubo por encima de ella, la rejilla actúa como una columna esbelta.

Cuando la presión de los materiales y el secavamiento de éstos a plastan a la rejilla, ésta debe disponer de adecuada resistencia para

soportarlo.

La resistencia de la rejilla a ambas fuerzas es directamente proporcional al módulo de elasticidad del material empleado en su fabricación.

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

El sobrediseño, reduce el área abierta de la rejilla y no es práctico.

Las rejillas de pozos se fabrican en diversas clases de metal. La Tabla VII, es una guía para escoger éste, su costo relativo y la resistencia a la corrosión.

TABLA VII Metales de las Rejillas de Pozo y sus Aplicaciones

METAL ALEACION	COMPOSICION NOMINAL	COSTO RELATIVO	APLICACIONES SUGERIDAS
MONEL	70% níquel 30% cobre	1.5	Alto cloruro de sodio combinado con oxígeno disuelto, como en el agua del mar. No se necesita por lo general agua subterránea potable.
ACERO INOXIDABLE	74% acero 18% cromo 8% níquel	1.0	Sulfuro de hidrógeno. Oxígeno disuelto. Dióxido de carbono. Bacteria ferrosa. Excelente resistencia.
EVERDUR	96% cobre 3% sílice 1% manganeso	1.0	Alta dureza total. Alto cloruro de sodio en ausencia de oxígeno disuelto. Alto contenido de hierro. Extremadamente resistente a los tratamientos con ácido.
BRONCE ROJO AL SILICIO	83% cobre 16% zinc 1% sílice	0.9	Usado para las mismas condiciones que el Everdur, pero inferior y no tan resistente. Se utiliza en aguas no muy activas.
HIERRO ARMCO	99.84 % de hierro puro (doble galvanizado).	0.6	No es resistente a la corrosión pero actúa satisfactoriamente en ciertas áreas. Se utiliza en pozos para riego, en donde las aguas son relativamente neutras.
ACERO	99.35/99.72 hierro 0.09/0.15 carbono 0.20/0.50 manganeso (doble galvanización)	0.5	No es resistente a la corrosión. Por lo general se usa en pozos permanentes, tales como los de prueba, o pozos para desecación. Alcanza una vida útil satisfactoria, especialmente si las aguas no son corrosivas ni incrustantes.

i ) Los filtros artificiales de grava y sus condiciones geológicas.

En un pozo, con un filtro artificial de grava, éste se escoge de manera que retenga prácticamente todo el material de la formación; - la rejilla después escogida debe tener un tamaño tal que a su vez - retenga la grava.

El pozo construido con este tipo de filtro cuesta más que el que se desarrolla naturalmente; en ciertas ocasiones no lo es. Algunas condiciones geológicas inducen a usar el filtro artificial de grava y es imperativo utilizarlo, sin importar los costos.

Las condiciones en pro de la construcción con filtro artificial de grava son :

+ ARENA FINA UNIFORME.

Se considera aquí, ya que puede usarse un tamaño mayor de abertura en las ranuras de la rejilla, por lo tanto el área abierta de la misma, - será mayor.

La característica de las rejillas de pequeño tamaño de aberturas es la de una área menor abierta.

Si la abertura de ranura seleccionada para un pozo con desarrollo - natural, es menor que 0.010 pulgadas (ranura No. 10) (0.254 mm), se considera la alternativa de usar un filtro de grava; se podría aceptar - cierta desviación de este límite, en función del contenido mineral - del agua. Para un agua muy incrustante se puede usar el límite del - 0.015 pulg. al 0.020 pulg. (0.38 mm al 0.51 mm).

+ ACUIFERO ARTESIANO DE GRAN ESPESOR.

Aquí se requiere una gran longitud de rejilla, en el cual la bomba ha de colocarse por sobre el intervalo enrejillado del pozo, se puede - situar centrándola en el agujero, una rejilla de menor diámetro y el espacio anular llenarse con grava.

Esto se prefiere, a utilizar una rejilla más corta de un diámetro pa- recide al del agujero.

+ ARENISCA CEMENTADA SIN COHESION.

Muchos buenos acuíferos se hallan pobremente cementados. Si un pozo - se construye, dejando abierto el agujero dentro de estos acuíferos, se desprenden de las paredes algunas partículas, lo que resulta de esto, es un pozo que arroja arena.

Como la mayor parte de areniscas son de granulometría fina, se pudie- ran usar rejillas con aberturas de 0.005 pulg. (0.127 mm) o aún meno- res para pozos desarrollados naturalmente (con base en un 50% de re- tención).

En esas formaciones, el mejor diseño es proveer un filtro artificial- de grava o una envoltura de arena, de modo que se puedan usar mayores aberturas de rejilla; otra razón para dotar este filtro, es que el ma- terial de la formación casi no ofrece apoyo lateral a la rejilla.

En el proceso de desarrollo, la formación no se adhiere ni se recues- a la rejilla, como en las formaciones no consolidadas.

Otro problema que enfrenta el desarrollo, es que una vez colocada la-

la rejilla en el agujero, algunos espacios vacíos permanecen en el anillo entre la rejilla y la pared del agujero, esto puede causar que una sección de la formación pueda derrumbarse y caer sobre la rejilla en cierto momento, dañándola.

El material suelto y granular embebido entre la rejilla y la pared del agujero se acomoda en todas las irregularidades de éste; en esta forma, soporta a las paredes del agujero y al mismo tiempo brinda apoyo lateral a la rejilla.

#### + FORMACIONES EXTENSAMENTE LAMINADAS.

Existen ciertos acuíferos que están formados de capas alternas de material fino, mediano y grueso.

Es muy difícil precisar y determinar la posición y el espesor de cada estrato y escoger la longitud apropiada de cada intervalo de rejilla de aberturas múltiples relativas a cada estratificación.

En general, es mejor diseñar el pozo, con filtro artificial de grava para así cometer el mínimo error posible.

La graduación del filtro, se rige por el estrato más fino de material en el intervalo productor; escoger así un filtro, no limita el flujo proveniente de estratos de material más grueso, ya que el filtro artificial de grava es más uniforme y limpio que el estrato más grueso del acuífero.

#### j ) Factores de costo en el filtro artificial de grava.

Un pozo dotado de un filtro artificial de grava, es más costoso que el desarrollado en forma natural debido a lo siguiente :

+ El tamaño mayor de un agujero, requerido para instalar un filtro artificial de grava, cuesta más por metro.

+ Debe adquirirse y transportarse hasta el sitio de la obra, grava que ha de ser especialmente graduada.

Al perforar con herramientas de percusión, la segunda razón es en especial válida, ya que al duplicar el diámetro del pozo, se duplica también el costo de perforación.

En la perforación por rotación, en general cuesta más perforar un agujero de mayor diámetro, puesto que se requiere usar fluidos de perforación, que han de ser más viscosos y densos, se deben mantener mayores razones de circulación del fluido para arrastrar los fragmentos hasta la superficie del terreno a través de un agujero que tiene una sección transversal de gran superficie.

Empleando el equipo de circulación inversa, el aumento en el diámetro del agujero no tiene mayor importancia. En general, el perforar un agujero de 90 cm. cuesta casi lo mismo que el de 60 cm.

Los factores de costo extra serían un mayor barrenado, un foso de lodo más extenso y más cantidad de grava. Resulta, pues, más económico en

algunos casos construir un pozo con filtro de grava por este método, ya que la economía en el tiempo de un desarrollo puede contrarrestar el costo inicial extra.

k ) Secuencia lógica en el diseño de un filtro artificial de grava.

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

+ Deben construirse las curvas granulométricas de todos los estratos que componen el acuífero. Se determina el estrato formado por la arena más fina y se escoge la graduación del filtro con base en el análisis granulométrico de este material.

+ Debe multiplicarse el tamaño de arena que corresponde al 70% de retención, por un factor que va desde 4 hasta 6 (útese un factor entre 6 y 9, cuando la arena de la formación es de una graduación altamente no uniforme).

Usese un factor de 4 como multiplicador, si la formación es fina y uniforme; útese 6, si ésta es más gruesa y no uniforme.

Después, sitúese el resultado numérico de esta multiplicación en el gráfico sobre la línea horizontal que corresponde al 70% de retención de la grava.

+ A través del punto inicial de la curva del filtro de grava, debe dibujarse una curva suave que represente a un material cuyo coeficiente de uniformidad sea de 2.5 o menos. Este paso debe efectuarse por tanteos.

+ Prepárense a continuación las especificaciones del material del filtro de grava, escogiéndose primero unos 4 ó 5 tamaños de criba que abarquen la amplitud de la curva y luego establézcase un rango permisible del porcentaje retenido en cada una de las cribas escogidas.

Este rango permisible puede ser de unos 8 puntos de porcentaje por encima y por debajo del porcentaje de retención dado por cualquier

punto de la curva.

Al diseñar materiales para filtros de grava, el diseñador tomará en cuenta las fuentes locales de abastecimiento de arena filtrante, usada en filtros rápidos de tratamiento de agua. Las firmas que producen estos materiales mantienen grandes existencias de arenas limpias y uniformemente graduadas; también gravas que fácilmente se ajustan a los requisitos de los filtros artificiales para pozos.

+ Como último paso, seleccíonese un tamaño de abertura de rejilla que sea capaz de retener un 90% o más, del material del filtro.

Si el diseñador de pozos sigue con cuidado los pasos anteriores, evitará que los pozos arrojen arena, pues el diseño se basa en una relación entre el tamaño de grano de la formación y el filtro de grava: un filtro que tenga tal relación de tamaños, al compararlo con la formación, proveerá una retención mecánica de éste y evitará que la arena se desplace hacia la envoltura de grava y hacia el pozo mismo.

Los materiales del filtro de grava estarán limpios y contener granos bien redondeados que sean lisos y uniformes.

Estas características aumentan la permeabilidad y porosidad del material del filtro.

En un material uniforme, existe una menor separación hidráulica de las partículas, al estarse colocando o dejando que se asiente a una profundidad considerable dentro del agua.

Los materiales para filtro, consistentes en su mayor parte de partículas silíceas más que calcáreas son preferibles; el límite permisible de contenido de materiales calcáreos, es de un 5%.

Este es importante por la posibilidad de que el pozo necesite más adelante algún tratamiento con ácido.

La mayor parte del ácido se desperdiciaría en disolver las partículas calcáreas, más que en eliminar las deposiciones incrustantes de calcio o de hierro.

Son también inconvenientes aquellas partículas de lutita y de anhídrita, así como yeso.

1 ) Control de material acuífero fino, mediante el espesor del filtro de grava.

Como la teoría de diseño de la graduación de los filtros, se basa en la retención mecánica de las partículas de la formación, lo que solamente se requeriría, es un espesor de filtro de unos dos o tres tamaños, para que el filtro retuviese y controlase la arena de la formación.

Mediante pruebas de laboratorio, se observó que un filtro con espesor de sólo una fracción de centímetro, retiene bien las partículas de la formación, sin importar la velocidad del agua que tiende a arrastrar dichas partículas hacia el filtro; pero no resulta práctico co -

locar en un pozo, un filtro cuyo espesor sea de sólo una fracción de centímetro y esperar que así, la envoltura alrededor de la rejilla sea completa.

Para asegurarse de que ésta última, rodee a la rejilla, se necesita un espesor de 8 cm., que es práctico para su instalación en sitio.

En su mayoría, el límite máximo para un espesor del filtro debe ser de unos 20 cm.; una envoltura de más espesor, no aumenta en buen grado el rendimiento del pozo, y el espesor en sí, no hace nada para reducir la posible invasión de arena, pues el factor regulador, es la relación entre el tamaño del grano del material del filtro y del material de la formación.

Si el espesor del filtro es muy grande, el desarrollo final del pozo puede ser sumamente difícil.

m ) Pozos dotados con filtro artificial de grava.

Al perforar 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, dicha película o capa de lodo queda aprisionada entre la grava y la cara de la formación natural, por lo tanto deberá ser desprendida y eliminada posteriormente por el desarrollo.

No interesa el método de perforación usado; esa capa de lodo aprisionada en la cara exterior del filtro de grava, debe eliminarse.

La presencia del filtro artificial, dificulta un poco la ejecución del trabajo.

El espesor del filtro de grava y la graduación del material que se emplee, ejercen un efecto considerable sobre lo que pueda lograr el desarrollo, para llevar el pozo a su máxima eficiencia.

Las operaciones de agitación, resultan menos efectivas que en aquellos pozos diseñados para ser desarrollados por vía natural.

Una de las razones de ello, es la de que un filtro de grava es tan permeable, que el agua tiene una mayor tendencia a desplazarse hacia arriba y hacia abajo, a través de la envoltura de grava, que a moverse por aquellas partes de la formación que pudieran hallarse parcialmente obstruidas.

Cuanto más delgado el filtro de grava, más seguro estará el perforador de poder eliminar toda la arena fina deseable, el limo y la arcilla, al desarrollar el pozo.

Los agentes dispersores a base de polifosfatos, contribuyen con efectividad a la remoción del limo y la arcilla.

Se necesita paciencia, observación inteligente y herramientas adecuadas, para completar correctamente un pozo acondicionado con rejilla, ya sea que éste se haya diseñado para desarrollarlo, o que esté dotado de un filtro artificial de grava.

El desarrollo ó habilitación 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.

n ) El mantenimiento vertical de la formación acuífera mediante un estabilizador.

El estabilizador de la formación, es una mezcla menos uniforme - de tamaño de los grános. Además, se coloca antes de completar un pozo desarrollado en forma - natural.

Al perforar por el método rotatorio, es necesario que el diámetro de la perforación, sea algo mayor que el diámetro exterior de la rejilla, para dar una tolerancia suficiente e instalar a la misma rejilla, sin que haya interferencias mientras ésta se hace descender hasta el - fondo del agujero.

El diámetro del agujero perforado, es por lo general de unos 10 cms. - más grande que la rejilla, lo que deja un espacio anular libre de - unos 5 cms. alrededor de ésta.

Siempre resulta beneficioso el rellenar, aunque sea parcialmente, este pequeño espacio alrededor de la rejilla, para evitar que materiales - limosos y arcillosos de la parte situada por encima del acuífero, se derrumben cuando da comienzo el proceso de desarrollo.

Aquí, podemos tener otro de los problemas que afectan al desarrollo, - puesto que si tales derrumbes se evitan, el mismo desarrollo apropiado del pozo se llevará a cabo más fácilmente.

El material que se usa para constituir un estabilizador de la formación, no se necesita ser de un graduación tan especial como el de un filtro artificial de grava.

Una mezcla de arenas que tenga que tenga una graduación parecida o - ligeramente más basta que la de la misma formación, dará un mejor resultado.

Los tamaños de las aberturas de la rejilla, deberán escogerse de manera que permitan efectuar el desarrollo natural de los materiales - acuíferos que se encuentran alrededor de aquella, como si no existiese el estabilizador.

Las partículas más finas del estabilizador, pasarán a través de la - rejilla más fácil, durante el desarrollo. Lo anterior contrasta con el procedimiento que se emplea cuando se ha colocado un filtro artificial de grava, en el que las aberturas de la rejilla, se han escogido - deliberadamente de un tamaño tal que retengan prácticamente todas - las partículas del filtro artificial.

En este caso no es necesario proveer mecanismos especiales para centrar la rejilla en el agujero, como corrientemente se hace en el caso del filtro de grava. El hecho de que el estabilizador de la formación no rodee completamente a la rejilla, no tiene mayor importancia.

Habiendo escogido las aberturas de la rejilla, de modo que permitan -

el desarrollo cabal de la formación, no es esencial el empleo de material adicional para llevar el pozo hasta una condición de total ausencia de arena.

o ) Colocación del estabilizador de la formación.

No es necesario tomar precauciones especiales al colocar el estabilizador, como en el caso cuando se utiliza un filtro artificial de grava.

Se puede permitir al material que se asiente en el fluido de perforación alrededor del ademe del pozo y de la rejilla, sin necesidad de usar un tubo de vaciado.

La cantidad de estabilizador de la formación, que se necesita colocar, deberá ser suficiente como para llenar el espacio anular vacío alrededor de la rejilla y del ademe del pozo, hasta un nivel que señalle a unos 9 metros por encima del extremo superior de la rejilla.

Como gran parte del material del estabilizador se escurrirá a través de la rejilla durante el desarrollo, es de esperarse que se produzca un asentamiento considerable de aquél.

La eliminación de las partículas más finas del estabilizador, al mismo tiempo que se remueven los finos de la formación natural, ayuda grandemente a que se rompa la capa de lodo del agujero en el intervalo enrejillado.

La labor de desarrollo suspende y agita las partículas del estabilizador.

Como cierto asentamiento tiene lugar, el movimiento general del material tiende a erosionar la camada filtrante que se forma durante la perforación del agujero.

El estabilizador de la formación que rellena el espacio alrededor del ademe y por sobre la rejilla, no cambia de graduación durante el desarrollo.

Esta parte del estabilizador, evita que el lodo de perforación, el limo y la arcilla de los estratos sobreyacientes desciendan hasta la rejilla.

La remoción de las partículas más finas, tanto del estabilizador como de la formación acuífera, mejora grandemente la permeabilidad de la envoltura de material más grueso que llega a desarrollarse alrededor de la rejilla.

## 4 ) LOS EQUIPOS DE PERFORACION EN LA CONSTRUCCION DE POZOS.

Cada método de la perforación de pozos, tiene sus ventajas en lo que respecta a facilidad de construcción, factores de costo, carácter de la formación que ha de atravesarse, diámetro y profundidad del pozo, protección sanitaria y uso que se le vaya a dar al pozo.

Los métodos para perforar y acabar pozos, son muy numerosos, por lo tanto en este trabajo solamente se mencionará lo sustancioso de los más importantes métodos de perforación.

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 adameada, que usualmente se extiende a través de los materiales sueltos sobreyacentes, y de un agujero abierto en la roca inferior.

Un pozo que intercepte un acuífero de arena, debe necesariamente dotarse de un ademe en el intervalo correspondiente a los materiales sueltos, y de una rejilla en el tramo correspondiente al acuífero.

Es conveniente concebir la construcción de un pozo en términos de cuatro diferentes etapas.

Estas incluyen : la perforación, la instalación del ademe, la de 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.

Los efectos de perforación en la formación acuífera inciden en el desarrollo, por lo tanto dos tipos básicos de equipos de perforación ha desarrollado la Industria de la Construcción de pozos, el de sistema rotatorio y el de percusión; ambos tipos han sido modificados con ventajas en algunos casos y desventajas en otros.

También se han construido equipos que combinan los dos sistemas de perforación.

De la gran variedad que los fabricantes han desarrollado y por su importancia en la perforación de pozos para agua, se describen brevemente a continuación :

a ) Equipo del Tipo Rotatorio con circulación directa.

La potencia de estos equipos, se aplica a un sistema de levante y a otro de circulación de los diferentes fluidos; para el levante cuentan con un malacate que combinado con un polipasto facilitan la introducción de herramientas, tuberías y demás implementos al fondo de los pozos en construcción.

La circulación de lodos, agua, aire o sus combinaciones, lo hacen por medio de bombas horizontales reciprocantes y el sentido del flujo es directo, es decir, del interior de las herramientas perforadoras hacia el espacio anular que se forma con la pared del propio pozo.

Con estos equipos, se perforan los pozos de mayor profundidad para agua hasta de 2000 metros y con programas de diámetros grandes, hasta de 30 pulgadas; se utilizan también, barrenas de tres conos, cuya acción certante es efecto de la rotación que se le aplica y que aumenta con la intensidad del peso a que se sometan dichas barrenas y que actualmente se fabrican en muy variados tipos, diámetros y calibres, de acuerdo con las características de las rocas.

b ) Formación de la camada filtrante.

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

Este 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 desmenuzables.

Al mismo tiempo protege las paredes de la erosión o lavado que podría producirse con las corrientes ascendentes 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 solo concebirse, como una membrana o cobertura flexible similar a un balón de hule, colocado dentro del agujero y relleno de fluido de perforación.

### c ) Fluido de perforación.

El fluido de perforación puede ser cualquiera, desde una agua le- - dosa, hasta una mezcla viscosa hábilmente preparada con materiales ad hoc.

Las funciones esenciales del fluido de perforación son como sigue :

- + 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.
- + Mantener los fragmentos en suspensión cuando la circulación cesa.
- + Enfriar y limpiar el trépane.
- + Lubricar los cojinetes del trépane, la bomba de lodo y la tubería de perforación.

El lodo de perforar, retiene el agujero y evita el socavamiento, mediante la presión que ejerce sobre las paredes del mismo; en tanto la presión hidrostática de la columna de fluido supere a la presión de las formaciones y a cualquier presión artesisiana que pudiera manifestarse y que tenderían a derrumbar el agujero, éste permanecerá abierto.

La presión del fluido a cualquier profundidad, proviene del peso de la columna correspondiente que se halle 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 se puede 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 predecir con exactitud.

El perforador se basa en su experiencia acumulada, para preparar el fluido; si empieza a tener problemas por secavación al ir perforando, el perforador agregará más bentonita o algún otro material pesado, para aumentar el peso del fluido y así poder ejercer la presión que se necesita dentro del agujero para evitar su tendencia a derrumbarse.

El espesamiento del lodo aumentaría según se desee; se puede llegar a un punto tal, en el que la bomba no podría impulsar un fluido tan viscoso a través del sistema, por lo tanto, aquí se emplearán materiales especiales agregados al fluido y aumentar su densidad, sin aumentar su viscosidad; la habilidad de un fluido para mantener partículas en suspensión, aumentan conforme la velocidad y viscosidad son mayores.

Después que las certaduras 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 a desear, son debidos a la regulación de la viscosidad y el peso del lodo, ajustando la velocidad y confirmando adecuadamente los fosos de sedimentación.

La cantidad de fluido que pasa a la formación y el desarrollo de la camada filtrante en la pared del agujero, varían con la porosidad de los materiales que se están perforando, así como el carácter del fluido; las propiedades de éste para constituir la pared filtrante, incluyen viscosidad, densidad y consistencia gelatinosa, estas propiedades son precisadas y controladas en la perforación petrolera, no así tratadas en la perforación de pozos de agua.

En ambos casos, importa mucho 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 tanto, una cantidad apreciable de lodo podría invadir la formación acuífera, teniendo aquí, otro más de los problemas que limitan a un buen desarrollo, ya que la invasión de lodos continúa hasta que los poros de la formación se obstruyen; una vez desarrollada ésta obstrucción, se forma entonces la camada filtrante en las paredes del agujero.

En arenas y gravas gruesas, se podrían perder grandes cantidades de fluido en la formación, antes de que la pared del agujero se haya sellado efectivamente, la desventaja de ello, es que todo el lodo que ha sido desplazado hacia la formación, deberá ser luego eliminado de los poros de ésta, durante el desarrollo; si no fuera así, el material granular del acuífero permanecería parcialmente obstruido y por lo tanto sería un pozo ineficiente.

Los perforadores deben preparar un fluido de perforación que ejerza el efecto de sellado, con muy poca invasión dentro de la formación y que no sea muy viscoso, como para poderlo bombear con un equipo convencional; se necesita en cierta proporción, usar bentonita de alta calidad ya que se obtiene un fluido que ejerce un sellado efectivo mucho antes de que haya una invasión extensa.

Los lodos de perforación, varían bastante con relación a sus propiedades.

dades para tener una consistencia gelatinosa, pero resulta relativamente fácil proveer un fluido que mantenga en suspensión la mayor parte de 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 en el lodo; esta propiedad de perder agua del fluido y la diferencia de presión en éste dentro del agujero, influyen en el espesor del filtro que se forma en la pared; si el agua es expulsada muy rápido, se formará un filtro muy grueso que podría interferir al halar y girar la tubería de perforación.

La pérdida de agua puede regularse con lodos adecuados en el fluido. Un fluido de perforación bien preparado constituye un lubricante excelente; los fragmentos y la arena, deben ser retirados al ir circulando el lodo por los fosos de sedimentación y así el fluido pueda funcionar como lubricante.

#### d ) Control del lodo de perforación.

Las propiedades de un lodo de perforación, que afectan a ésta son: la densidad, la viscosidad, consistencia gelatinosa, propiedad filtrante y el contenido de arena.

La densidad, viscosidad y contenido de arena, se evaluarán en el sitio de la obra y con esta base, regular el lodo durante la perforación.

El uso de bentonita de alta calidad, que forme la porción mayor del contenido de arcilla en el lodo, garantiza adecuada consistencia gelatinosa y propiedades de filtración suficientemente bajas en las perforaciones de pozos.

La densidad del lodo, en alguna unidad convencional se obtiene en campo con una balanza especial, ésta tiene una cápsula en un extremo del brazo y una pesa deslizante en el otro.

Si la cápsula está llena, su volumen representa una medida dada; a su vez, el brazo de la balanza es calibrado en unidades de peso por volumen; al estar balanceada la cápsula, la posición de la pesa deslizante en el brazo de la balanza indica el peso del fluido o su densidad.

En casi todas las perforaciones de pozos, el peso específico útil es 1.08 Kg/lto.; la retención excesiva de arena en el fluido, puede aumentar su peso hasta niveles inconvenientes.

La viscosidad se mide en campo con un embudo de Marsh; el ensayo es llenar el embudo hasta un nivel determinado (volumen de 1500cm<sup>3</sup>), y observar el tiempo necesario en segundos, para que una cuarta parte del fluido, escurra por gravedad desde el embudo, los valores obtenidos relativos son para controlar el lodo si los resultados se interceptan a la luz de otros ensayos de campo.

El agua indica en el embudo de Marsh, tener una viscosidad de 26 seg.

Un buen fluido de perforación con peso específico de 1.08 Kg/lto., - tiene una viscosidad de 35seg. a 45seg., si el lodo recoge arena y aumenta a 1.20 Kg/lto., la viscosidad será entonces de 43seg.; a mayor densidad de un lodo que contenga arena, mayor es la viscosidad al - fluir desde el embudo.

Es contrario si el peso del lodo aumenta por la incorporación de arcilla proveniente de los cortes o fragmentos superficiales, la viscosidad es más de 43seg.

El contenido de arena de un fluido, se mide por volumen y es un porcentaje volumétrico.

Supongamos que un volumen de un fluido sea de 100 cm<sup>3</sup>, lavado dentro de una criba de malla 200, el lavado es con agua limpia y cuidar que a través de la malla pase solo el fluido de perforación, las partículas retenidas por la criba se trasvasan con cuidado a una probeta cónica graduada; el volumen de arena indicado por las graduaciones de la probeta, se expresa como un porcentaje del volumen de la muestra - del lodo.

Un fluido de perforar con peso y viscosidad adecuados, que contenga - menos de un 5% de arena, en general es bueno.

## e ) Equipos de Percusión.

Este tipo de equipo, perfora las rocas con herramientas marti - lladeras y su efecto cortante aumenta con el número de golpes que se apliquen, así como la intensidad del impacto que es variable.

La potencia se aprovecha en un sistema de carretes y polipastos para introducir herramientas, tuberías y demás implementos hasta el fondo del pozo por medio de cables de diferentes usos, en este sistema de perforación no se hace necesaria la circulación de fluidos, lo que hace que las potencias requeridas sean relativamente bajas y ventajas en algunos casos, por su simplicidad y fácil manejo ha tenido preferencia en la industria.

## f ) Perforación en formaciones suaves.

La perforación en formaciones suaves o no consolidadas, difiere de la que se realiza en roca dura, en dos aspectos :

+ En este caso, el barrenado 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.

El ademe deberá de hincarse, como la operación de introducir pilotes.

+ La acción de penetrar del barrenado es un efecto de aflojamiento y mezclado; la fracturación poco interesa, excepto si aparecen cantos rodados.

El procedimiento, es el de penetrar el ademe uno o varios metros y esto acumula un tapón de material dentro de éste, casi de la misma longitud; este material se mezcla con el agua haciendo un lodo que se extrae con una herramienta de tipo cuchara al ir descendiendo el ademe; al limpiarse el pozo, se añade agua si ésta no proviene de la formación en perforación.

En el extremo inferior de la sarta de ademe, se conecta una zapata de hincado de acero templado y endurecido, que protege el fondo del tubo; se repite el hincado, perforación y limpieza para que el ademe llegue a la profundidad deseada, en la operación de hincado se fija a la parte superior del ademe un cabezote que funciona como yunque, después unas gazas golpeadoras de dos semicírculos pesados de acero forjado, ajustadas al cuadro próximo del extremo superior de la barra de peso; estas gazas dan la superficie del impacto necesaria, y las herramientas el peso adecuado para hincar el ademe, estas herramientas se levantan y dejan caer por acción excéntrica de la máquina de perforar.

Al ir perforando formaciones suaves, el hincar el ademe consume tanto tiempo como el perforar y mezclar.

La variedad en la naturaleza de formaciones de arcilla, grava, margas y mezclas de todas ellas afecta mucho la Velocidad de hincado.

buenos resultados en la construcción de pozos de agua; son máquinas - que trabajan en forma independiente cada uno de los sistemas de perforación, de manera que se aplican convenientemente en cada caso que se hagan necesarios y aunque todos los equipos construídos inicialmente para el sistema de percusión son susceptibles de transformarse a rotatorios de circulación directa, actualmente se fabrican equipos - cuyo diseño mecánico aprovecha su construcción para facilitar los - cambios de sistemas con cierta prontitud.

i ) Ventajas y desventajas de los equipos de circulación directa.

V e n t a j a s .

- + Actualmente, las técnicas más avanzadas en la perforación de pozos - se aplican a este sistema, permitiendo que se logran las mejores - velocidades de perforación y por su popularidad, existen en el mercado una gran variedad de diseño de máquinas y herramientas que - permiten hacer una buena selección del equipo para cada proyecto.
- + Las propiedades tixotrópicas de los fluidos químicos que se circulan durante la perforación forman un enjarre que ayuda a mantener - en equilibrio las paredes del pozo y con una hidráulica de circu - lación apropiada, mantiene limpio el pozo previniendo en muchos casos la invasión de agentes extraños a las zonas saturadas con a - gua, además de que dicha limpieza en el pozo ayuda a mantener el efecto cortante de las barrenas.
- + El sistema permite en la mayoría de los proyectos de pozos programar tentativamente el tiempo requerido para la obra, ya que los ejecutivos pueden variar convenientemente las condiciones que influyen en la velocidad de penetración como son :
  - & El tipo de barrena tricónica en lo que se refiere a longitud de diente y área de balero.

- & Potencia hidráulica aplicada a las toberas para lograr la máxima velocidad en la salida y en el espacio anular.
  - & La calidad de los lodos de perforación que pueden ser mejorados a base de reactivos químicos para mantener en buenas condiciones la gelatinidad y viscosidad.
  - & La cantidad y medida de tubería de perforación y lastra-barrenas pueden ser variadas para obtener eficiencias razonables.
- + Las sartas de perforación a base de tuberías, lastra-barrenas y estabilizadores, pueden proyectarse para obtener una rigidez que permita mantener el pozo dentro de su verticalidad, con lo cual se logra que los intervalos que se perforan para servir como cámaras de bombeo, se construyan casi verticales evitando con esto, los problemas mecánicos a los equipos de bombeo que presentan los pozos con quiebres que obligan a las tuberías y flechas a trabajar con flexiones que producen desgastes excesivos.

#### D e s v e n t a j a s.

- + Requieren un suministro continuo de agua y por este motivo su operación es problemática donde existen fuentes de abastecimiento bajas.
- + Cuando se perforan zonas muy permeables y de baja presión, se producen pérdidas de circulación de lodo, el cual puede afectar las condiciones hidrológicas de los acuíferos, volviéndose más problemática esta situación cuando no es posible continuarse la perforación a base de circulación con agua.
- + Su costo de operación es alto porque requiere mayor número de personal y más especializado; su consumo de potencia es alto y las herramientas son de alto costo, de modo que puede resultar inco-  
teable cuando no se aprovecha con alta eficiencia.

+ El costo inicial es alto cuando se adquiere el equipo completo con todas las herramientas y accesorios de ataque y control, así también su transportación requiere en algunos casos, vehículos y gruas especiales que hacen difícil su traslado en lugares de difícil acceso.

j ) Ventajas y desventajas de los equipos de percusión.

V e n t a j a s .

- + Son equipos fácilmente transportables.
- + El costo de operación es económico debido a que se requieren cuadrillas de personal reducidas, así como por su baja potencia consumida.
- + Por su bajo consumo de agua, lo hace superior en emplazamientos donde se carece de fuentes de abastecimiento.
- + La porosidad y permeabilidad originales de los acuíferos se conservan mejor, debido a la reducida cantidad de materiales coloidales y químicos necesarios para el acarreo de los detritos durante las maniobras de limpieza en los avances de perforación.
- + Al no tener fluidos de perforación, los registros para elaborar corte litológico, perfil de salinidad y presencia del nivel estático son más fáciles de llevar.

D e s v e n t a j a s .

- + Su falta de rigidez en la sarta de perforación hace incontrolable la verticalidad del pozo, presentándose siempre una tendencia a la desviación por influencia de los echados de las formaciones o fracturamientos de las rocas.
- + El cable que opera las herramientas perforadoras es relativamente muy elástico, lo que reduce sus efectos de golpeteo y por ende, el-

efecto cortante de las barrenas a medida que avanza la profundidad - del pozo.

- + Cuando se rompe el equilibrio de las rocas perforadas, el ángulo de repose en las paredes del pozo se dificulta algunas veces provocando derrumbes que retrasan los avances de la obra y en ocasiones la hacen imposible por la falta de el ademe preliminar que dan los enjarres de los lodos de perforación.
- + Comparativamente es un sistema de perforación económico, pero lento, teniendo grandes limitaciones en cuanto a profundidades y los diámetros.

Se entiende por desarrollo, al conjunto de operaciones necesarias para optimizar su funcionamiento, dentro del parámetro que le impone el propio acuífero y dando también por sentado que el equipo de extracción se ha seleccionado correctamente.

El desarrollo pretende lograr un equilibrio estático y dinámico tal, que los gastos hidráulicos máximos bombeados se obtengan libres de sólidos en suspensión o al menos que se reduzcan al mínimo posible, para explotar el pozo con garantía de seguridad y sin problemas de abrasión de los equipos de bombeo, especialmente los impulsores.

Las maniobras de lavado preliminar del pozo, limpieza y agitación mecánica, sólo son preparatorias para hacer posible el desarrollo adecuado del pozo y aunque dichas maniobras de hecho inician el desarrollo, esto es en forma incipiente, por lo que deberá ser completado y terminado empleando un equipo apropiado, que consiste en una bomba de pozo profundo de gran capacidad, y seleccionada para cualquier gasto hidráulico, nivel de bombeo que se llegue a presentar, ya que para un mismo pozo estos factores están cambiando constantemente en el desarrollo de aquel y por lo general incrementándose.

Al iniciar el desarrollo, se obtendrá un gasto muy reducido con abundancia de arena, pero en el curso de los trabajos y a medida que las formaciones y el filtro se van limpiando, así como adquiriendo permeabilidad, el gasto va en constante aumento.

Un pozo con acondicionamiento de rejilla y en un acuífero arenoso - se completa de dos maneras, mediante un desarrollo natural y debido a un desarrollo basado en un filtro artificial, los cuales se enuncian a continuación.

1 )

#### POZO DESARROLLADO EN FORMA NATURAL.

Se utiliza el material mismo del acuífero para la zona de alta permeabilidad alrededor del pozo.

Se termina el desarrollo, al eliminar las partículas más finas de la formación, permitiéndoles entrar al pozo por las aberturas de la rejilla y luego se extraen por medio de achicamiento o bombeo.

Cesa el desarrollo, al no desplazarse los finos de la formación y ésta se encuentra ya estabilizada, sin movimiento posterior de arena.

La remoción de partículas finas, deja una zona desarrollada naturalmente por arena o grava uniformemente graduada alrededor del pozo - (ver fig. III-a), esto implica alta porosidad y permeabilidad, de aquí que el agua entre al pozo a través de esta zona con pérdida de carga despreciable y por lo tanto con un menor abatimiento dentro del pozo.

2 )

#### POZO DESARROLLADO MEDIANTE UN FILTRO ARTIFICIAL.

Por medio de un filtro artificial de grava alrededor de la rejilla, - en el espacio anular, el material colocado es granular, altamente permeable, es decir, que se trata de grava artificialmente graduada.

Para cualquier tipo de pozo, la habilitación ó desarrollo resuelve - los siguientes problemas :

El daño temporal del acuífero. Los métodos de perforación obstruyen - los poros de la formación alrededor del agujero en mayor o menor - grado (ver fig. III-b); en el método por rotación, el lodo sella la pared del agujero; los otros métodos afectan en forma adversa y de una manera o de otra la porosidad y permeabilidad de la formación (ver -

fig. III-c).

La perforación obstruye las aberturas en las rocas duras, cualquier material obligado a entrar en las fracturas y fisuras del acuífero de roca dura se eliminará mediante el desarrollo.

En la perforación por circulación inversa se usa agua como fluido de perforación, a dicha agua se va agregando limo, arcilla y arena fina de las formaciones atravesadas, éstos finos son recirculados con el agua, parte de ésta se pierde en la formación por el exceso de presión de fluido ejercido para mantener libre el agujero, al perderse el agua se depositan en la pared del agujero cantidades de limo y arcilla infiltradas; al acumularse éstas partículas sellan la pared de la formación, evitando la excesiva pérdida de agua, ese sellado en la pared se elimina más fácil que la pasta de lodo del fluido de perforación.

El buen desarrollo elimina el "efecto pelicular", el afloje de arena alrededor de la rejilla recuperando la porosidad perdida (ver fig. III-d).

Después de superado esto, también aumenta la permeabilidad alrededor del pozo; más tarde el desarrollo elimina las partículas menores que las aberturas de la rejilla, dejando en su lugar material más grueso, más allá, granos medianos se mezclan con granos gruesos.

Fuera de esta zona, el material se acomoda gradualmente hasta tener el carácter original de la formación acuífera.

De este modo el desarrollo estabiliza a la formación creando zonas de material graduado sucesivas alrededor de la rejilla hasta no haber movimientos de arena posteriores; por lo tanto el pozo terminado descargará agua libre de arena a su mayor capacidad.

El tamaño correcto de aberturas de rejilla coopera a un buen desarrollo, el tamaño permite retirar la proporción deseada del material fino.

En muchas formaciones la abertura escogida retiene un 50% de arena.

Si la graduación es menos uniforme y con un amplio rango de partículas finas a gruesas, se escogen ciertas aberturas mayores que remuevan por desarrollo más cantidad de finos.

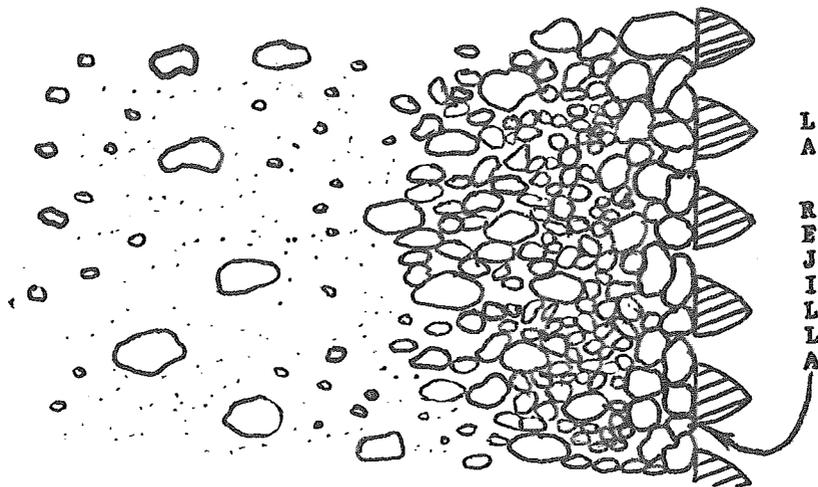


Fig. III-a. Principio en que se basa el desarrollo natural de un pozo. Mediante el proceso, las partículas de finos y arena fina son eliminados de la formación acuífera.

Los alcances del efecto que puedan lograrse dependen de las características de la arena, diseño de la rejilla y destreza del perforador.

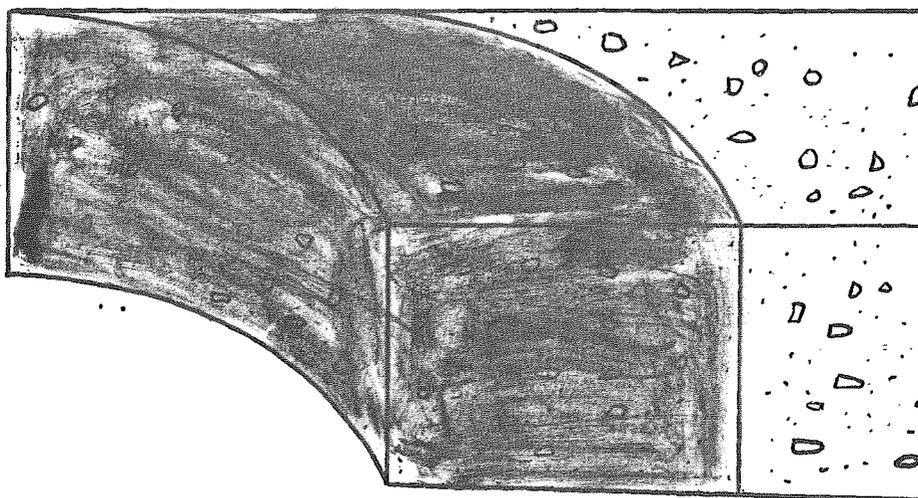


Fig. III-b. El fluido que se usa en la perforación por rotación obstruye la formación y forma una pasta impermeable de lodo que debe ser eliminada luego mediante el desarrollo.

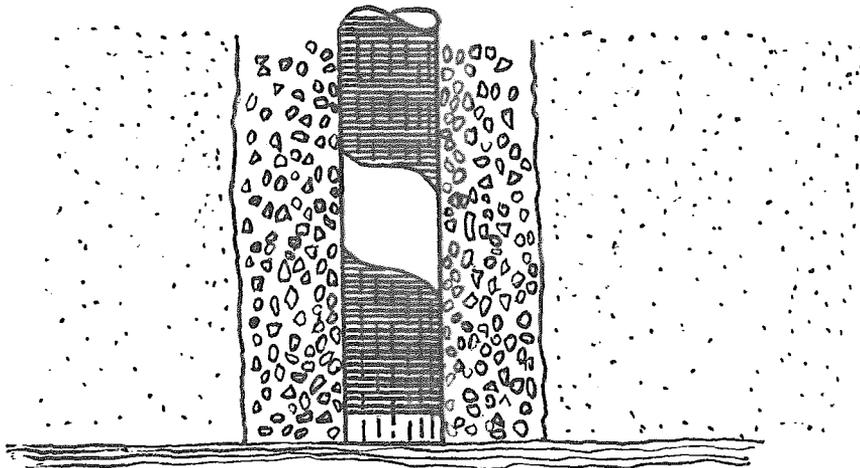


Fig. III-c. El efecto pelicular es el resultado inevitable de cualquier perforación, y sella parcialmente o por completo la pared del agujero.

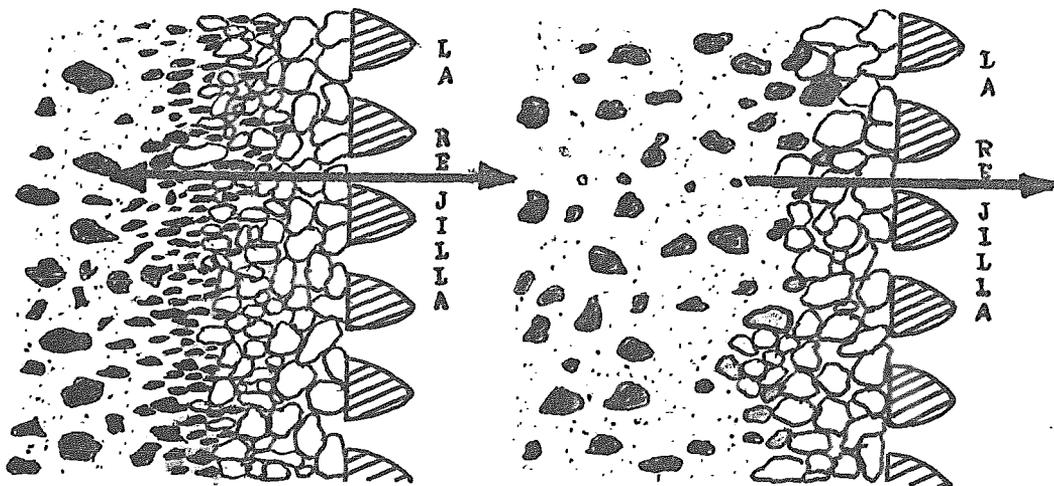


Fig. III-d. Una acción efectiva de desarrollo; exige el mover el agua hacia adentro y hacia afuera de la rejilla. El desplazamiento del agua en una sola dirección, tal como cuando se bombea solamente el pozo, no produce el efecto de desarrollo apropiado. La inversión del flujo rompe el acomodo en forma de puente de los granos de arena.

Si la arena de la formación es graduada uniformemente, la elección debe ser conservadora.

Si la formación se alterna de estratos finos y gruesos se necesitará de un ingeniero o geólogo experimentado.

El tamaño de abertura decide la extensión del trabajo de desarrollo. Existe un límite para dejar pasar arena por la rejilla; mucha eliminación implica asentamientos de los materiales sobreyacientes, lo que no es conveniente para el pozo.

Si el tamaño de abertura es pequeño, el rendimiento del pozo se limita por un desarrollo inadecuado.

3 ) ACOMODO DE LOS GRANOS DE ARENA EN FORMA DE ARCO.

Lo que básicamente se trata de lograr con el desarrollo, es la inversión del flujo a través de las aberturas de la rejilla, para así recomodar las partículas de la formación.

Esto es esencial para romper la forma de arco en que ciertos grupos de partículas se acomodan. La fig. III-e, muestra cómo las partículas pequeñas se acomodan entre las más grandes, y a través de las aberturas de la rejilla, cuando el flujo del agua tiene lugar en una sola dirección.

Al invertir la dirección del flujo por 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.

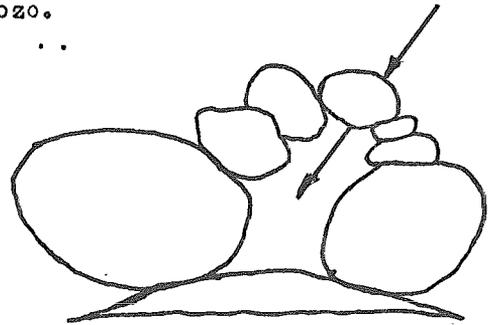


Fig. III-e. Los arcos formados por granos de arena pueden salvar las aberturas sin ser quebrados durante el desarrollo, si el flujo es sólo en una dirección.

El desarrollo es de suma importancia ya que de el depende la esta - bilidad y vida del pozo.

Existen varios métodos para efectuar el desarrollo, de acuerdo con - los elementos que intervienen en él, se han dividido en químico, - cuando los productos que se emplean son de ese origen o producen - reacciones análogas; mecánico, si las herramientas o equipos que lo - producen son de ese tipo; y neumático, cuando para lograr su cometido se utiliza aire comprimido.

En muchas ocasiones es necesario combinar los tratamientos para lo - grar un buen desarrollo.

Por lo tanto tenemos dos tipos ó métodos de rehabilitación ó desa - rrollo de pozos que son :

DESARROLLOS QUIMICOS.

TALES COMO AGENTES DISPERSORES, A BASE DE HIELO SECO, POR MEDIO DE - ACIDO CLORHIDRICO

DESARROLLOS FISICOS.

ENTRE ESTOS TENEMOS AL TRATAMIENTO NEUMATICO, TRATAMIENTO MECANICO, - MEDIANTE EXPLOSIVOS, SOBREBOMBEO, CHORRO DE ALTA VELOCIDAD, PROCEDI - MIENTOS DE CONTRALAVADO.

4 ) METODO DE REHABILITACION O DESARROLLO QUIMICO.

Consiste básicamente en la aplicación de productos químicos, - tales como dispersores de arcillas en la proporción y forma ade - cuadas, los cuales se pueden combinar con el tratamiento mecánico u - tilizando un pistón, con cargas de hielo seco o un inyector de áci - do clorhídrico.

Frecuentemente se combinan ambos métodos físico y químico.

a ) Agentes dispersores.

70

La adición de una pequeña cantidad de cualquiera de los diversos polifosfatos, al agua que se hace circular para desplazar el fluido de perforación, a la que se usa para el retrolavado e inyección del y al agua que reposa dentro del pozo, contribuye a la eliminación del lodo.

Estos polifosfatos dispersan las partículas de arcilla contenidas en el lodo de perforación y rompen su aglutinamiento.

Su acción dispersora contrarresta la tendencia del lodo a adherirse a los granos de arena.

Al romperse su aglutinamiento el lodo se elimina más fácilmente por medio de agitación o retrolavado.

Los polifosfatos que con más efectividad contribuyen a la remoción del lodo son los siguientes: tetrapirofosfato de sodio, el hexametafosfato de sodio y el heptafosfato de sodio.

Debe usarse una dosificación de 6 Kg. por metro cúbico de agua; una cantidad menor de fosfato, no obtiene resultados muy eficientes cuando se emplea en la dispersión del lodo.

Cuando se perforan materiales de origen aluvial utilizando equipos de perforación del tipo de percusión o rotatorio, se emplean lodos de perforación, generalmente a base de bentonitas y/o arcillas naturales con el objeto de producir un enjarre en las paredes del agujero y evitar que éstas se derrumben.

Durante el proceso de perforación, los lodos se infiltran en las formaciones constituidas por arenas, gravillas, gravas y boleas, los que en algunas ocasiones se encuentran empacadas con arcillas y limos.

Con el objeto de limpiar las paredes del pozo, desprender el enjarre formado por los lodos de perforación y eliminar las arcillas de los conductos (permeabilidad) de las formaciones productoras, se hace necesario aplicar un dispersor de arcillas, el cual reduce la tensión superficial, permitiendo el paso de las aguas del acuífero a través de-

las paredes del pozo incrementando la permeabilidad, la aplicación del dispersor de arcillas es conveniente efectuarla, combinándola con un sistema mecánico (pistón) y dejar el producto dentro del pozo, por el tiempo recomendado en su fabricación.

b ) Hielo seco.

El gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ) en estado sólido, al ser depositado en el interior de un pozo, rápidamente se sublima, pasando al estado gaseoso y aumentando en unos cuantos minutos su volumen en función del cambio de temperatura que sufre (900 veces, aproximadamente).

El enorme volumen de gas sublimado no puede salir del interior del pozo en la misma proporción de su aumento de volumen, aparte de que la carga hidrostática del fondo del pozo en donde se supone que se realiza el cambio de estado (cuando menos de la mayor parte del hielo seco arrojado) retarda notablemente su salida, por lo que el gas penetra en las formaciones circunvecinas del pozo, en virtud de la fuerte presión que se origina en la cámara gaseosa confinada por la columna de agua de éste, en su avance hacia los acuíferos el gas impulsa fuertemente grandes cantidades de emulsión agua-gas, ejerciéndose así una intensa acción dinámica en los espacios intergranulares del filtro de grava y formaciones vecinas.

Esta primera etapa del fenómeno, generalmente termina cuando casi toda la columna de agua que existía en el pozo ha descendido penetrando en los acuíferos en forma de emulsión; y al culminar esta etapa, toda la masa desplazada hacia los acuíferos, origina un poderoso gradiente hidráulico hacia el pozo, invirtiéndose entonces la dirección del flujo.

Lógico que se llega a un estado de equilibrio instantáneo entre la presión ejercida por el gas y el gradiente hidráulico establecido en los acuíferos, a partir del cual se establece un flujo, cuya velocidad es constantemente acelerada, y en el curso de unos cuantos minutos no sólo se llena el pozo con la emulsión que regresa de los acuíferos, sino que incluso gran cantidad de emulsión agua-gas es arrojado a

gran altura sobre el brocal del pozo, arrastrando consigo todos los sólidos de pequeña granulometría, arcillas, arenas, etc., que han sido removidas del filtro del pozo y del acuífero circunvecino.

Cuando es arrojada una fuerte carga de hielo, este fenómeno se repite varias veces con intervalos de unos cuantos minutos, a menos que se haya obturado el brocal del pozo por medio de una válvula, en cuyo caso se puede regular la presión hasta la magnitud deseada, abriéndose la válvula en el momento conveniente para dar salida a la corriente ascendente que se inicia en el momento de cambio súbito de presión.

c ) Acido clorhídrico.

Para incrementar la permeabilidad de las formaciones calizas, se emplea el ácido clorhídrico al 15%, depositando el volumen necesario en el interior del pozo, provocando su agitación mediante el empleo de un pistón o una cuchara de tipo común extrayendo el producto con la misma cuchara o por medio de una bomba turbina.

Si el pozo está entubado, para evitar la reacción del ácido sobre el ademe se agregarán inhibidores de corrosión.

Este tratamiento puede combinarse con cargas de hielo seco, controlando la presión con una válvula macho.

El ácido puede aplicarse a presión mediante el inyectado de nitrógeno en un volumen necesario para equilibrar la presión de la formación y posteriormente una mezcla de ácido-nitrógeno se desplaza a la formación, con el filtro mencionado, cuando la válvula con la cabeza de descarga del pozo, el nitrógeno en forma gaseosa arrastra los fluidos utilizados en el tratamiento.

Las ventajas de este procedimiento son principalmente :

- + Mayor penetración del ácido en las calizas y consecuentemente mayor incremento en la porosidad y permeabilidad de la formación.

+ Expulsión de los fluidos empleados en el tratamiento a velocidades mayores de las normales, produciendo una mayor estimulación del pozo.

## 5 ) METODO DE REHABILITACION O DESARROLLO FISICO.

Dentro de los desarrollos físicos o tratamientos físicos tenemos a los siguientes :

### a ) Tratamiento Neumático.

El equipo necesario para efectuar estos trabajos, consta básicamente de un compresor de capacidad suficiente para desarrollar la presión necesaria para elevar junto con la columna agua-aire, los sedimentos contenidos en el interior del pozo; una tubería para la inyección del aire comprimido y otra para la descarga, con longitudes correlativas a las profundidades de los pozos por desarrollar.

La capacidad del compresor y los diámetros de las tuberías de inyección y descarga, estarán supeditados a los diámetros y profundidades de los pozos por tratar.

Generalmente, el equipo recomendable por emplear para el desarrollo de pozos con profundidades aproximadas de 200 metros y de diámetro de ademe de 355 mm (14"), será un compresor con capacidad de 500 pie<sup>3</sup>/minuto, tubería de descarga de 101.6 mm (4").

Ocasionalmente se puede adicionar al equipo, un tanque para almacenamiento de aire con capacidad tal, que permita una inyección constante.

Por otra parte, podríamos agregar a este tratamiento, lo siguiente:

Que el aire comprimido se utiliza para desarrollar un pozo.

Se usa un eyector de aire con su tubería de inyección por dentro del tubo eductor o de bombeo puesta dentro del pozo.

El equipo necesario, se menciona a continuación.

+ Un compresor de aire y su tanque del tamaño apropiado.

- + Tubería de bombeo y de aire dentro del pozo con medios de levante y descenso, cada una independientes.
- + Una manguera de aire flexible, de alta presión para levante y descenso de la línea de aire dentro del pozo.
- + Una válvula de abertura rápida a la salida del tanque para regular el flujo de aire.
- + Un manómetro y una válvula de alivio para prevenir una sobrecarga accidental.

El compresor tendrá capacidad mayor de  $7 \text{ Kg/cm}^2$ , y aún mejor si es de  $10 \text{ Kg/cm}^2$ .

La salida del compresor se conecta al tanque para un mínimo de resistencia al flujo de aire; la tubería de salida desde el tanque al pozo es de mayor o igual longitud a la línea de aire instalada en el mismo; la válvula de apertura rápida se conecta en un punto conveniente, la conexión entre tubería de salida del tanque e hincas de aire dentro del pozo es por una manguera de alta presión, ésta es al menos de 4.5 m. para mover arriba y abajo al conjunto.

La fig. III-f, es la colocación de la tubería eductora o de bombeo y la de aire en el pozo, la tubería de educación se mueve por el cable de perforar o de izar, y la de aire se mueve por el cable de achicar o de otro que dispongamos.

En la salida lateral, de una te puesta en el extremo superior de la tubería de educación se pone un tubo de descarga; en el otro extremo de la te se enrosca una unión reductora con abertura interior grande para acoplar la tubería de aire.

Para reducir la aspersion de agua alrededor del extremo superior del pozo, se arrolla cáñamo o algo similar alrededor de la línea de aire por encima de la te.

La tabla VIII, brinda los diámetros de tubería de bombeo o educación y de aire para diversos tamaños de pozos, los tamaños podrían variar pero se podrán combinar.

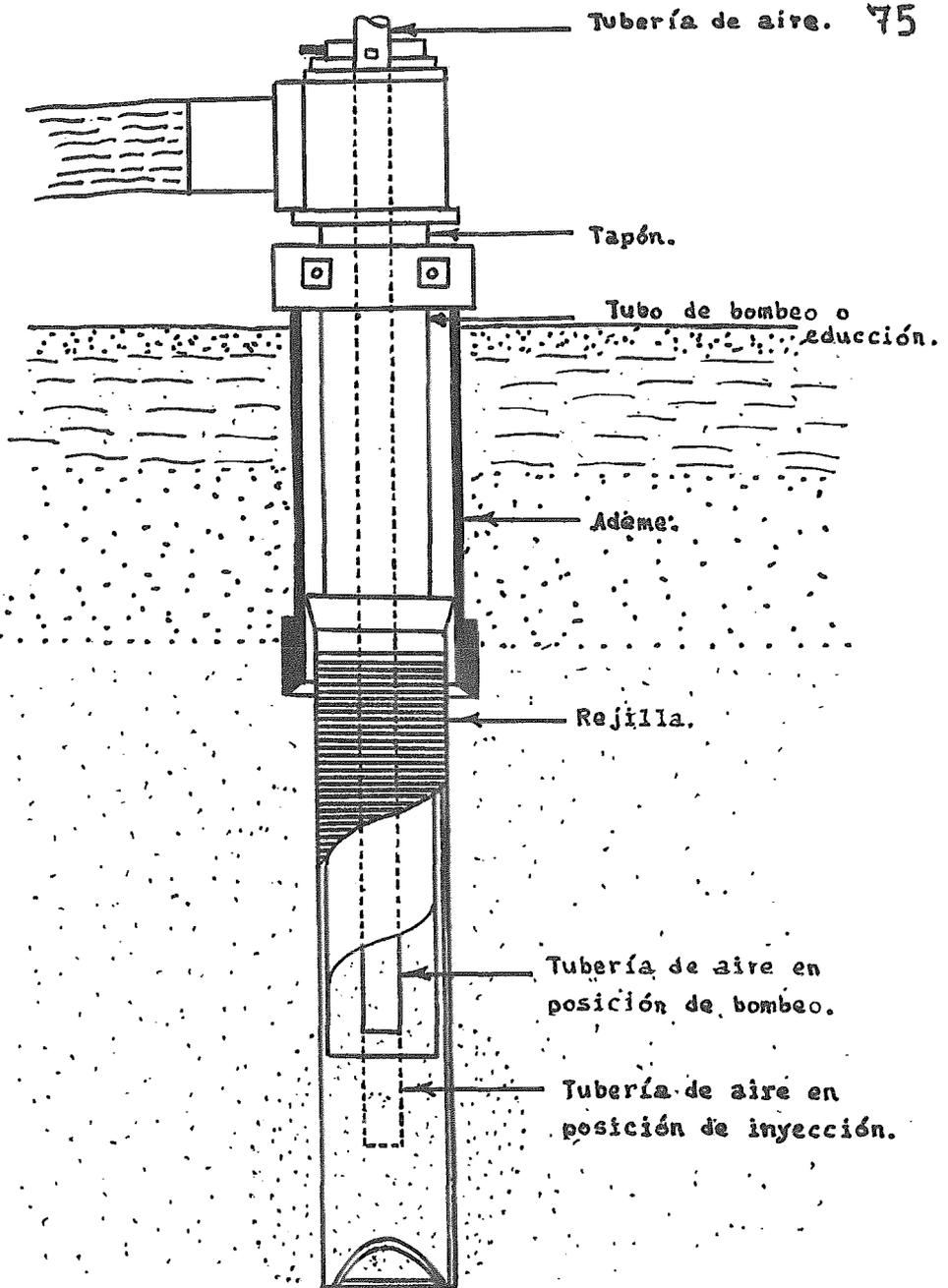


Fig. III-f. La acción agitadora puede ser producida con un compresor de aire usando para ello un eyector modificado.

TABLA VIII Diámetros de tubería para Inyección de Aire.

Caudal de Bombeo.	Diámetro del Ademe.	Diámetro de la Tubería de Educación.	Diámetro del Tubo de aire.
(Lts./min.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)
100 a 230	10.0	5.0	1.25
230 a 300	12.5	7.5	2.5
300 a 380	15.0	9.0	2.5
380 a 570	15.0	10.0	3.2
570 a 950	20.0	12.5	3.8
950 a 1500	20.0	15.0	5.0
1500 a 2650	25.0	20.0	6.3

El desarrollo mediante aire es bueno, si la relación de sumergencia de la línea de aire es del 60%; es decir, proporción de línea de aire hallada por debajo del nivel de agua cuando se bombea; la sumergencia es la longitud de la línea de aire debajo del agua entre su longitud total.

Por ejemplo: si tenemos una longitud total de 60 m., el nivel estático del agua a 20 m. debajo del terreno; así la longitud sumergida es de 40 m. La relación de sumergencia estática es  $40/60=0.66$  ó 66%.

Si la inyección de aire comienza y el nivel de agua sube hasta 24m., la longitud sumergida esta vez es de 36 m. y la relación de sumergencia dinámica es  $36/60=0.60$  o sea 60%.

Antes de expulsar del pozo agua o fluido de perforación con súbita inyección de aire, se inyecta de modo que se extraiga agua lentamente del pozo.

Así se ve si el agua del acuífero entra al pozo para no producir alta diferencia de presión, al lanzar al pozo grandes volúmenes de aire durante la agitación.

Si sólo bombeamos la línea de aire, se introduce un poco para tener buena sumergencia. Al iniciar el desarrollo, bajamos la tubería de aire a 60 cm. debajo del extremo inferior de rejilla; colocamos la línea de aire con su extremo inferior a 30 cm. o más arriba del extremo inferior de la tubería de educación, después inyectamos aire a la línea respectiva y se bombea el pozo convenientemente hasta salir agua libre de arena; cerramos la válvula puesta a la salida del tanque para que la presión del aire en el tanque suba hasta 7  $\text{Kg/cm}^2$  o  $10.5 \text{ Kg/cm}^2$ .

Mientras bajamos la tubería de aire, con su extremo inferior a 30cm. abajo del extremo inferior de la tubería de descarga; abrimos rápidamente la válvula para que el aire en el tanque irrumpa de súbito en el pozo, así se desplaza el agua hacia afuera por las aberturas de la rejilla; una corta y enérgica carga de agua rebosa al mismo tiempo o será lanzada fuera del ademe y las tuberías de bombeo hacia la superficie del terreno.

Si la tubería de aire se levanta por dentro del tubo de bombeo, es la primera carga de aire lanzada dentro del pozo; el eyector de aire

bombeará de nuevo, invirtiendo el flujo y completando así el ciclo de agitación del pozo.

El pozo se bombea por inyección de aire en tiempos cortos, lanzando una nueva carga de aire con la tubería situada debajo del tubo de extracción y levantando de nuevo la línea de aire para proseguir el bombeo. Estos ciclos agitadores se repiten para que el agua esté libre de arena o de partículas finas; establecido esto, el desarrollo termina cerca del extremo inferior de la tubería de inyección.

Después se levanta el conjunto a una posición a unos pocos metros más arriba y se repiten las mismas operaciones. Así desarrollamos en intervalos consecutivos toda la longitud de la rejilla.

Finalmente bajamos todo el conjunto de inyección de aire a su posición original cerca del fondo del agujero y se opera como una bomba para eliminar toda cantidad de arena acumulada dentro de la rejilla.

#### b ) Tratamiento mecánico.

El desarrollo mediante este método, se puede realizar utilizando un pistón, agregándose a lo que se describirá posteriormente en la "agitación mecánica", o por medio de un equipo de bombeo compuesto de una bomba turbina para pozo profundo accionada por un motor de combustión interna, con capacidad del 50% mayor que la necesaria para el bombeo del caudal de explotación estimado.

El equipo requerido para la realización de esta forma de desarrollo, comprende además de la bomba ya mencionada, un orificio calibrado provisto de su respectivo piezómetro y escala de medición, así como una sonda eléctrica o neumática, ésta última formada por una tubería hermética de cobre, aluminio o plástico, de pared gruesa, con longitud igual a la de la columna de bombeo, a la que se acoplará durante su instalación un manómetro con cápsula graduada en  $\text{Kg/cm}^2$ , una válvula de admisión y una bomba de mano para el inyectado de aire.

Una vez instalado el equipo de bombeo, se anotarán en algunas "formas" impresas para el caso, los datos generales del pozo y equipo; el nivel estático de agua del pozo y la hora de iniciación de los labores.

Este trabajo cuya duración estimada es de 72 horas, puede prolongarse por el tiempo necesario hasta lograr un buen desarrollo, el cual se iniciará con el gasto menor de que sea capaz el equipo utilizado, aumentándolo por etapas con la duración necesaria hasta que se haya obtenido agua limpia libre de sólidos en suspensión.

Los incrementos de velocidad serán de 50 r.p.m. en 50 r.p.m., o de 100 r.p.m. en 100 r.p.m. de acuerdo con el comportamiento del pozo, hasta llegar al máximo caudal posible; el que una vez alcanzado se irá disminuyendo utilizando los mismos rangos de velocidad.

Al instalar el equipo de aforo, se conectarán a niples previamente atornillados al cabezal de descarga, mangueras flexibles generalmente de 12.7 mm (1/2") de diámetro, para lubricar el filtro alojado en el espacio anular y permitir que las gravas del mismo, desciendan hasta el sitio que les corresponde.

En cada escalón antes de incrementar o disminuir la velocidad, se leerán y anotarán las lecturas del nivel de bombeo del piezómetro y r.p.m. del motor, utilizando para éste un tacómetro.

Si durante este proceso y estando el motor en su máximo escalón de velocidad después de un lapso mayor del que le fué asignado continúan saliendo finos, es conveniente golpear enérgicamente la tubería de ademe a la altura de la base del pozo o acoplarle un vibrador para concreto; esto completará el tratamiento, destruyendo los posibles puentes (producto del engravado y una agitación mecánica deficiente) propiciando la formación del filtro con el acomodo de las gravas depositadas en el espacio anular y de las formaciones circunvecinas; se deberán ir reponiendo las gravas que vayan tomando el pozo durante este proceso.

Por lo que respecta a la "agitación mecánica", ésta es una forma de desarrollar la formación acuífera, desplazando un émbolo hacia arriba y abajo por dentro del ademe, dicho émbolo se llama de agitación o bloque de pistoné, su uso es continuo en diferentes desarrollos y por perforadores del método de percusión.

En lo referente a pistoneo ver la fig. III-g.

También se usa un succionador hasta un punto conveniente debajo del nivel de agua, se hala produciendo un flujo hacia dentro del pozo, pero dicho flujo no se invierte y no existe agitación. Se utiliza para limpiar los materiales finos de los pozos hechos en roca consolidada; los pozos con rejilla casi no lo utilizan.

Si el acuífero contiene venas de arcilla del mismo material, el émbolo podría hacer que las arcillas se adhieran a la superficie de la rejilla, disminuyendo el rendimiento del pozo.

La agitación podría ocasionar altas diferencias de presión y colapsar a la rejilla, si ésta es obstruída por lodo o arcilla.

El émbolo debe desplazarse libre y suavemente ; si la formación sobreyacente es de arena fina, limo o arcilla suave, hay que tener cuidado, los émbolos son sólidos y también de aberturas acondicionadas con válvulas, éstas dan una agitación menos violenta, usándose en formaciones compactas que requieren de menor a mayor agitación (ver la fig. III-h).

Tapando las aberturas acondicionadas del émbolo se podría formar el émbolo sólido; al émbolo se le dota del peso conveniente, con una barra de peso o una sarta pesada de tubos.

Barra de peso o tubería de perforación.

Fig. III-g. 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 atraídas hacia el pozo a través de las aberturas de la rejilla.

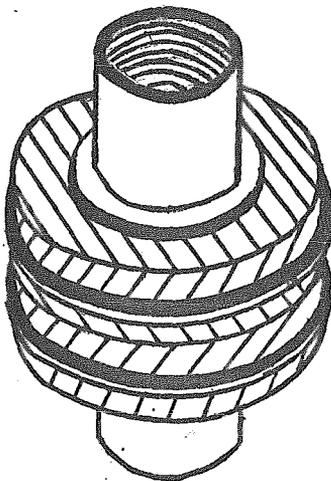
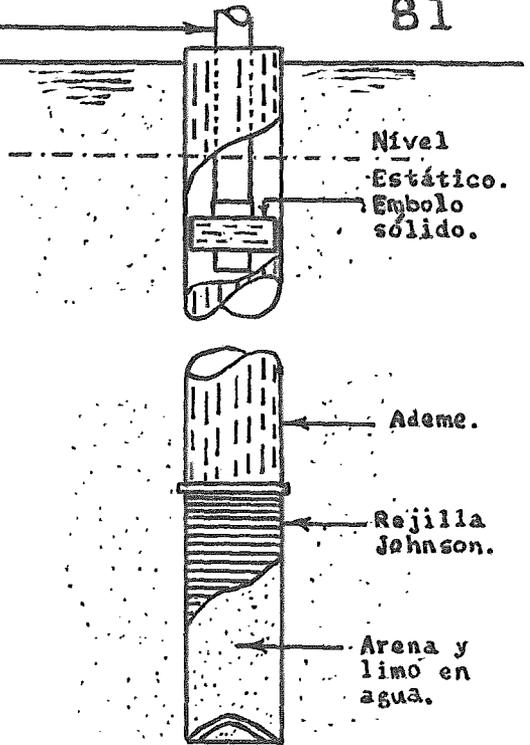


Fig. III-h. Embolo característico de agitación del tipo sólido.

c ) Desarrollo mediante explosivos.

Se utiliza a los explosivos para detonar los pozos, y tratar así de desarrollar una mayor capacidad en un pozo nuevo. Demuestra buenos resultados en un regular porcentaje de casos: debido a muchos factores desconocidos resulta sin embargo, difícil predecir si la voladura va a producir resultados beneficiosos.

Se emplean cargas explosivas de 14 Kg. a 230 Kg., dependiendo su tamaño, de la dureza de la roca que se pretenda volar y de la profundidad a la cual se detonará la carga.

Puesto que la presión del agua aumenta con la profundidad; si ésta es mayor, deberán emplearse cargas más grandes para contrarrestar el efecto confinante de una mayor presión.

Existe una considerable divergencia de opiniones en cuanto a la efectividad relativa de los distintos tamaños de cargas explosivas.

Algunos perforadores dicen que nunca deberán usarse cargas menores de 90 Kg. en una sola detonación; otros creen que una sucesión de explosivos más ligeros da como promedio un mejor resultado.

En los pozos que interceptan acuíferos formados por caliza, se puede usar ácido en el desarrollo, el ácido disuelve la caliza y este efecto abre las fracturas y las fisuras de la formación en torno al agujero libre, que en este caso viene a ser el intervalo de captación del pozo. Esto permite que las partículas finas que hayan quedado atrapadas en las aberturas de la roca, se puedan eliminar fácilmente cuando el agua se bombea del pozo.

d ) Desarrollo de un pozo mediante sobrebombeo.

Este es el método más sencillo para eliminar los finos de la formación acuífera; el sobrebombeo, implica el bombear el pozo a un caudal mayor que el que se vaya a extraer al ponerlo en servicio. La ventaja es que cualquier pozo que se halla en capacidad de ser bombeado a un caudal mayor, puede bombearse a una razón menor sin peligro o dificultad.

Este método puede ocasionar que algunos de los granos de arena queden

suspendidos en forma de arco dentro de la formación y por lo tanto - que ésta se halle estabilizada solo parcialmente, además de que dicho método necesita de un equipo de bombeo de gran capacidad que no - siempre está disponible.

En pozos pequeños o acuíferos pobres este desarrollo es sencillo, pero cuando se extraen grandes cantidades de agua, es difícil obtener - un equipo muy capacitado a un costo razonable.

El equipo usado regularmente en el pozo se usa para el sobrebombeo. En función de la bomba, ello se logra operándola a velocidad mayor o - permitiendo que la misma, descargue a la superficie a una presión menor que la normal de operación. Una objeción, es usar la bomba perma - nentemente, si es que se extrae cantidad considerable de arena con el agua; la bomba se somete a un desgaste excesivo, reduciendo su efi - ciencia.

En situación severa la bomba podría quedar aprisionada por la arena, si es así, la bomba se retira, se desarma y se limpia con cuidado an - tes de volverla a usar. El sobrebombeo en sí, rara vez alcanza un re - sultado óptimo o la estabilización total de la formación acuífera.

e ) Desarrollo debido a un chorro de alta velocidad.

Este es un buen método para desarrollar un pozo, las siguientes - ventajas son :

- + La energía concentrada por el chorro sobre una área pequeña tiene - efectividad consecuentemente mayor.
- + Cada parte de la rejilla puede ser tratada en forma selectiva, y se logra un completo desarrollo si sus aberturas se hallan muy próxi - mas y son de la forma adecuada para que el chorro pueda ser diri - gido hacia el material de la formación, en forma radial.
- + Resulta muy sencillo de aplicar y no es susceptible de causar pro - blemas si es usado en demasía.

El equipo es un dispositivo para producir el chorro, junto con una - bomba de alta presión, la manguera y tuberías necesarias. Los chorros - de agua a alta velocidad que salen por las aberturas de la rejilla, - agitan y reacomodan las partículas de la formación que rodea a la - misma (ver fig. III-1) (ver tabla IX).

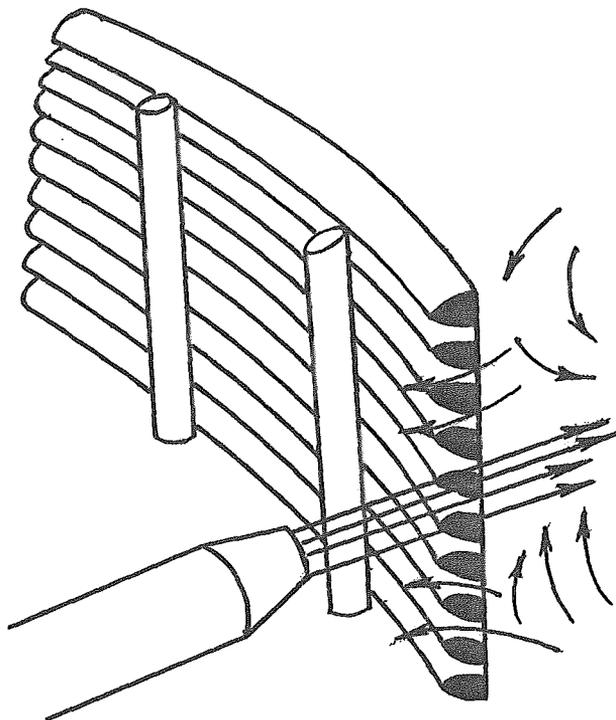


Fig. III-i. Los chorros de agua de alta velocidad actúan con efectividad a través de las aberturas en las rejillas de ranura - continúa, pero son menos útiles cuando se emplea tubería perforada en cuyo caso las aberturas representan solamente un porcentaje pequeño del área total,

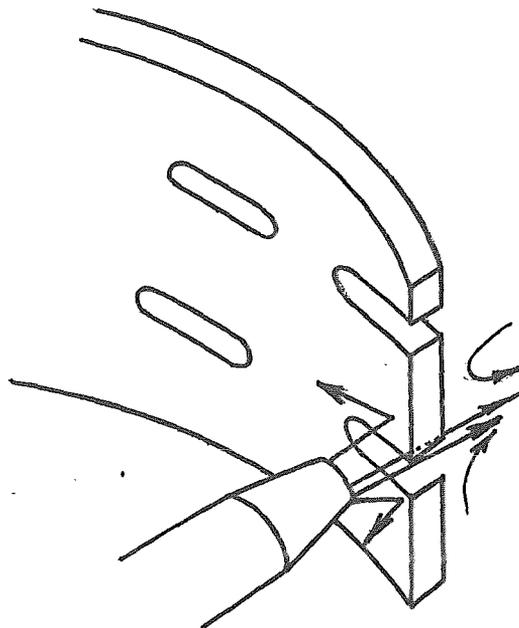


TABLA IX Velocidad del chorro y Descarga por Boquilla.

Diámetro del orificio de la boquilla (mm.)	Presiones en Kg/cm <sup>2</sup>	
	Velocidad m/seg.	Descarga Lbs./seg.
4.76	36	34
6.35	36	60
9.53	36	136
12.70	36	250
4.76	45	45
6.35	45	80
9.53	45	174
12.70	45	310
4.76	51	49
6.35	51	87
9.53	51	200
12.70	51	352
4.76	57	57
6.35	57	98
9.53	57	223
12.70	57	393

NOTA :

El coeficiente de descarga en la boquilla se admite ser de 0.9

La película de lodo puesta en el agujero de la perforación por rotación, es desprendida y dispersada para que el lodo de perforación se extraiga por bombeo.

El chorro de agua también repara el daño causado a la formación por cualquier otro método de perforación.

#### f ) Desarrollo con procedimientos de contralavado.

Estos son tres o cuatro métodos, usan el efecto agitador o la inversión de flujo necesarios para desarrollar la formación.

Un método es levantar por bombeo el agua en forma alternada hasta la superficie y dejarla caer de nuevo en el pozo a través de la columna de la bomba.

Quizá el único tipo de bomba, aparte de la de inyección de aire que podría utilizarse para este propósito es la bomba de turbina vertical sin la válvula de pie.

La bomba empieza a funcionar, pero tan pronto como el agua es levantada hasta la superficie del terreno, se debe interrumpir su funcionamiento; de esta forma el agua contenida en la columna de la bomba descende bruscamente, se vuelve a poner en funcionamiento la bomba y de nuevo se hace detener tan rápido como lo permita el motor y mecanismos de arranque.

El efecto es lograr un ascenso y descenso intermitente del nivel de agua dentro del pozo, lo que produce un aflujo y un eflujo a través de las aberturas de la rejilla.

Durante el proceso puede bombearse normalmente el pozo de vez en cuando para expulsar la arena atraída por la agitación producida. A este método se le llama a menudo "azotar" el pozo. Existen pozos que responden a su aplicación, pero la agitación no es muy vigorosa en la mayoría de los casos para dar óptimos resultados.

#### 6 ) NECESIDAD DE DESARROLLO DE LOS POZOS EN ROCA.

Las operaciones que se realizan durante la perforación causan también cierta obstrucción de las fracturas y fisuras de las forma

ciones rocosas duras.

La acción del barreno, corta y desmenuza la roca, mezclándola con agua y con otros materiales finos, hasta formar un lodo que es el que se extrae con una herramienta llamada cuchara de achicar.

El golpetear del barreno desplaza este lodo dentro de las aberturas de la roca por fuera del agujero. Cualquier material que obstruya las aberturas del acuífero rocoso deberán ser eliminadas por desarrollo. No se podrá alcanzar el pleno rendimiento de la formación, si todas las fracturas y fisuras no se hallan en condiciones de ceder agua libremente al pozo.

Algunas veces, el bombeo sólo puede atraer el residuo de lodo, puesto que las aberturas de una formación rocosa son grandes en comparación, con los poros de una formación arenosa.

Sin embargo, muchos perforadores han encontrado útil el uso del método de agitación u otras maneras de desarrollar los pozos emplazados en roca, para llevarlos a su máxima capacidad.

## CAPITULO IV : APLICACIONES.

En este capítulo se tiene la comparación del desarrollo de dos pozos que han sido perforados en un mismo acuífero constituido por arena fina.

Uno de los pozos fué desarrollado en forma natural, mientras que el otro se le acondicionó con un filtro artificial de grava; cada uno dotado de su respectiva rejilla.

Por otra parte se incluye, un método de desarrollo físico llamado desarrollo neumático "BETA", que utiliza para su labor el aire comprimido.

Se anotan aquí los conceptos respectivos, una descripción del equipo a utilizar y una aplicación a pozos abiertos, así como a pozos cerrados.

También se complementa con el método de desarrollo químico, que en este caso se trata de un dispersor de arcillas llamado Well-Aid, en él se incluye la manera de usarse y también una tabla que determina en litros la cantidad de substancia química a utilizar.

## 1 ) RESULTADOS DEL DESARROLLO DE POZOS EN ARENA FINA.

La comparación de dos pozos perforados en Libia por la Oasis Oil Company de la localidad, muestra lo que es capaz de lograr un desarrollo adecuado de un pozo, aún en condiciones adversas.

Uno de los pozos fué construído para ser desarrollado por vía natural y acondicionado con una rejilla Johnson de 20 cm. de diámetro, dentro de un agujero de diámetro ligeramente mayor.

El otro pozo se construyó con un filtro artificial de grava y se dotó de una rejilla del tipo de celosía. La grava se colocó alrededor de la rejilla y por dentro de un agujero, ampliado en su intervalo inferior, de 0.30 m. de diámetro.

Ambos pozos interceptan el mismo acuífero constituído por arena relativamente y ligeramente cementada.

El acuífero es de un espesor un poco mayor de 30 m. Las características del acuífero son las mismas en ambos sitios.

La rejilla del pozo desarrollado por vía natural tiene una longitud de 32 m., que incluye 18.30 m. con aberturas de 0.25 mm., y 13.70 m. con aberturas de 0.5 mm.

La fig. IV-a, muestra los detalles del diseño y la construcción del pozo desarrollado por vía natural.

La fig. IV-b, muestra los del pozo acondicionado con filtro artificial de grava. La rejilla del tipo de celosía en el pozo con el filtro artificial de grava tiene una longitud de 38.1 m. y sus aberturas son de 1.38 mm.

Para desarrollar el primero de los pozos por vía natural se usó el método de chorro de agua horizontal.

Se requirió de 5 días para el trabajo de remoción del fluido de perforación y de la arena muy fina de la formación, así como estabilizar ésta en torno a la rejilla.

Completado el pozo, fué bombeado a una descarga de 2840 lto./mín., ha-

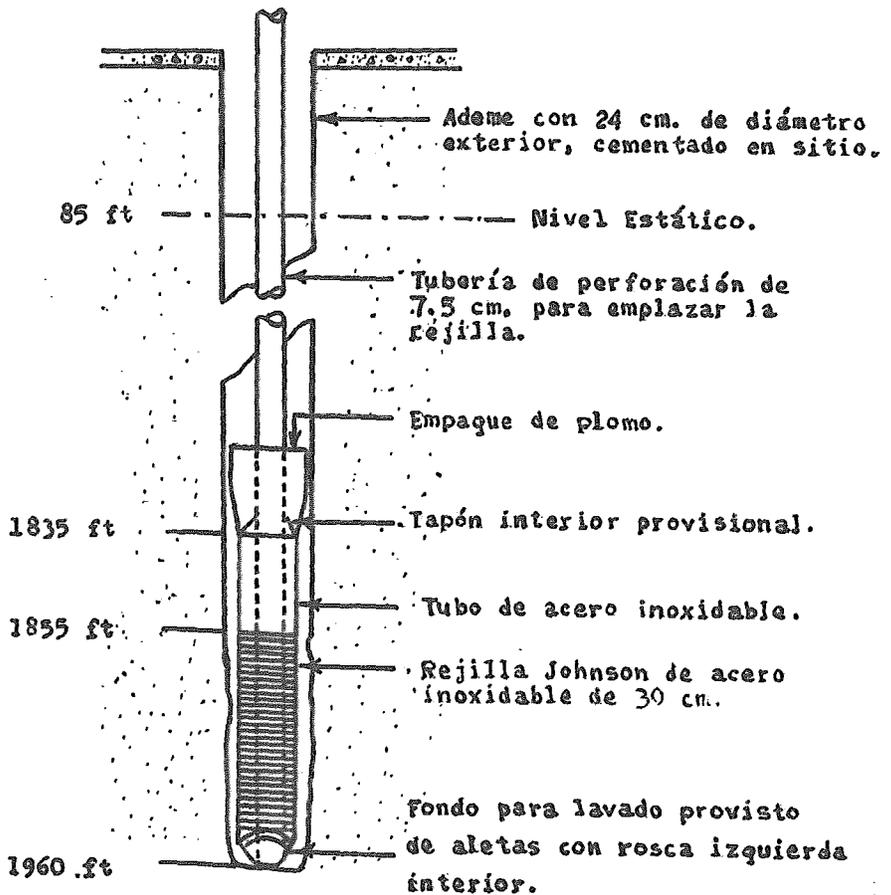


Fig. IV-a. Pozo desarrollado por vía natural en Libia, que produce agua salada para un campo petrolero. Bombeado a  $170 \text{ m}^3/\text{h}$ , - produjo agua libre de arena y su capacidad específica fué de  $13 \text{ m}^3/\text{h}$ , por metro de abatimiento.

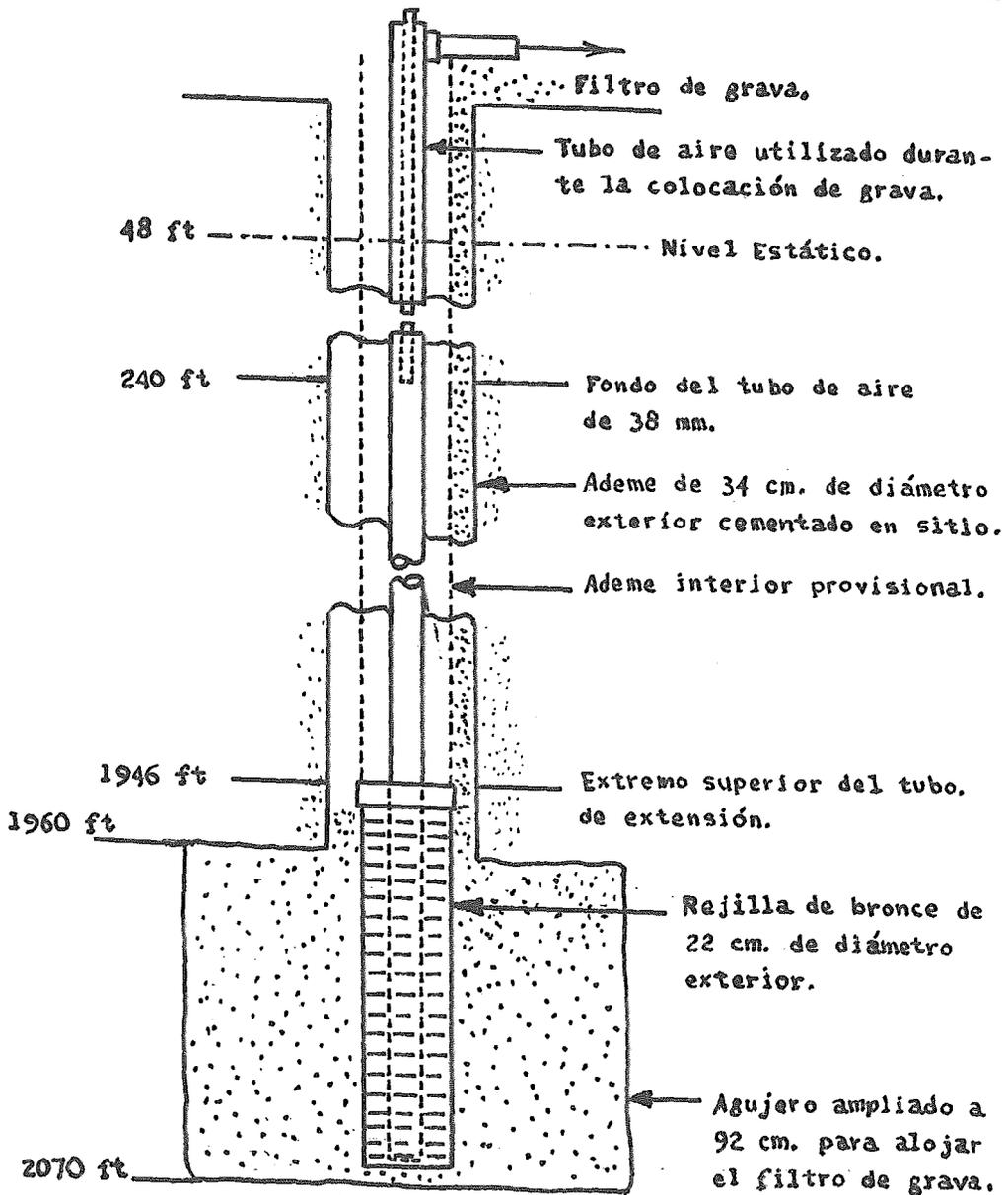


Fig. IV-b. Pozo acondicionado con filtro artificial de grava, en -  
 libra, con rejilla del tipo de celosía y que produjo una capacidad -  
 específica de  $0.98 \text{ m}^3/\text{h}$  por metro de abatimiento.

llándose el agua completamente libre de arena.

Se halló mucha dificultad en lograr que el pozo acondicionado con filtro artificial de grava llegara a descargar agua libre de arena; se utilizaron 30 días en agitar el agua y retrolavar el pozo; quizá la mayor parte de los problemas provinieron por haber ampliado el pozo en su intervalo inferior, más de lo conveniente.

Terminado el trabajo se obtuvo una capacidad específica para el pozo desarrollado por vía natural de 21.6 lto./mín., por decímetro de abatimiento, en comparación con de sólo 1.6 lto./mín., por decímetro de abatimiento en el otro pozo.

Los datos suministrados aquí, brindaron que la transmisividad de la formación acuífera en el sitio del pozo desarrollado naturalmente es ligeramente mayor que la del sitio de emplazamiento del otro pozo.

Aún así el desarrollo de la formación finamente graduada fué un éxito.

El desarrollo de un pozo con filtro artificial de grava es de igual importancia que el que se realizaría en cualquier otro tipo de pozo.

## 2 ) HABILITACION O DESARROLLO NEUMATICO "BETA" (METODO FISICO).

Como se vió anteriormente, este método <sup>usa</sup> aparatos, piezas, o instalaciones en que se opera con el aire o se utiliza la compresión del mismo. Muchos son los perforadores que llevan a cabo con aire, todos sus trabajos de desarrollo.

El perforador de pozos que ejecute este trabajo puede variar varios detalles del procedimiento, de modo que en cada pozo se obtengan las mayores ventajas tanto de la agitación como del bombeo, no existiendo así, un procedimiento de rutina que sustituya a la destreza que dicho perforador haya adquirido de la propia experiencia práctica.

### a ) Conceptos.

Para poder adentrarnos en una aceptable aplicación de este mé-

todo neumático "BETA", tenemos que conocer algunas sugerencias acerca de la **sumergencia**, presiones de arranque y de operación, así como cantidad de agua extraída enunciadas a continuación.

Mirando a la fig. IV-c, tenemos :

$\overline{AB}$  = Altura de descarga sobre el brocal o terreno.

$\overline{BC}$  = Nivel estático.

$\overline{BD}$  = Nivel dinámico (en bombeos con aire, el caudal no es constante y el nivel dinámico oscila, por tanto no puede medirse; como el caudal manejado es pequeño, de 4 o 5 lto./seg., en la práctica se establece de 4 o de 5 m. bajo el nivel estático.)

$\overline{CD}$  = Abatimiento (en la práctica es de 4 a 5 m., si es que no se puede medir el nivel dinámico.)

$\overline{AD}$  = Elevación.

$\overline{DE}$  = Sumergencia (%) ;  $S = \frac{\overline{DE}}{\overline{AE}}$

Sumergencia.

Es el medio de extracción de azolve de los equipos; es esencial para la correcta operación de un sistema de bombeo neumático (sifón); si es que no alcanza por lo menos un 35%, la emulsión aire-agua será muy pobre y el caudal de agua extraído sería escaso o nulo.

También es la distancia recorrida por el aire, desde el punto de salida de éste, en el interior del pozo hasta la descarga.

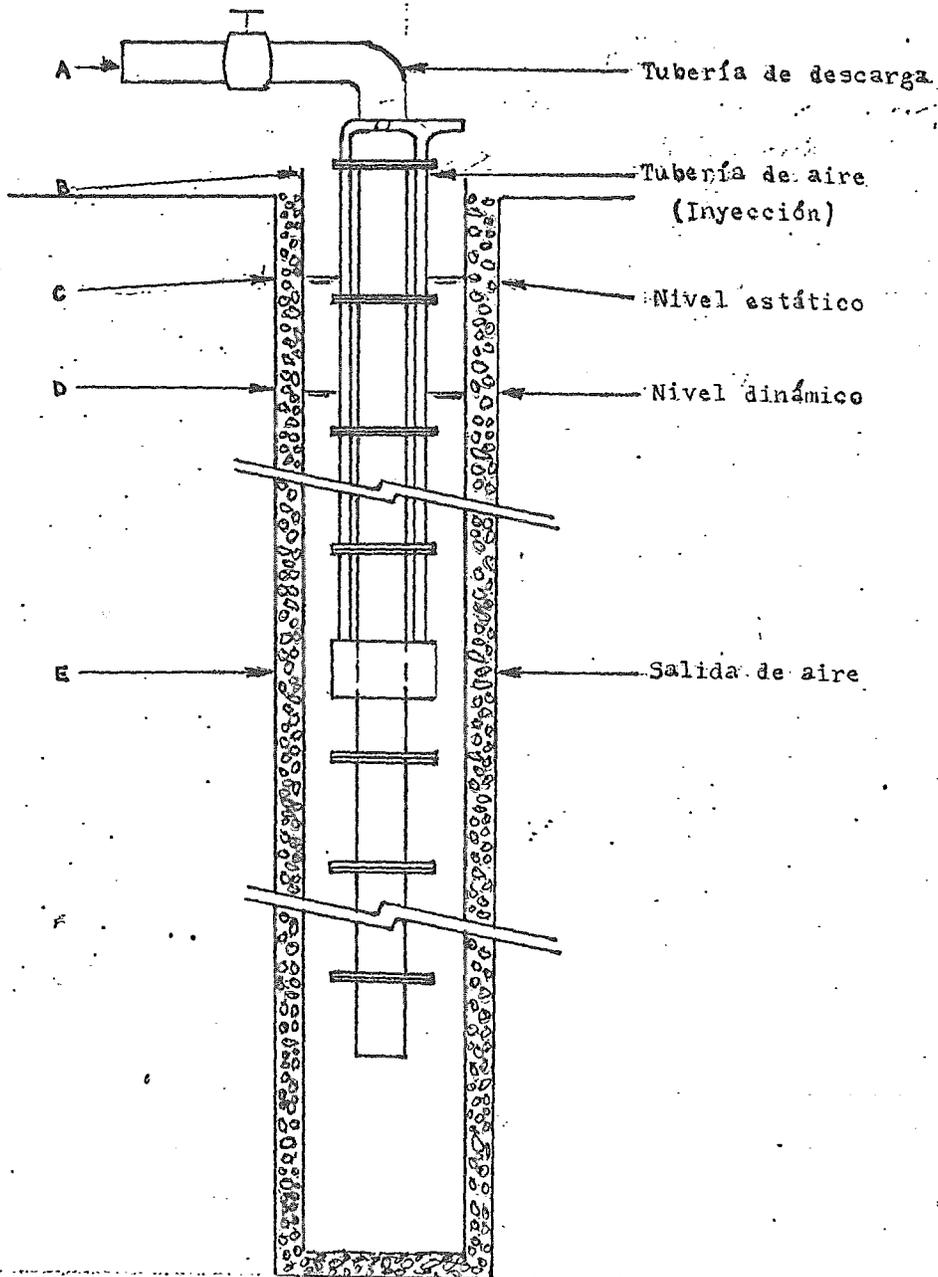
Presiones de arranque y de operación.

El equipo tiene una cabeza compresora de 250 lb/pulg.<sup>2</sup> (17.60 Kg/cm<sup>2</sup>), o sea que es la capacidad para vencer una columna de agua de 176 m.

En la práctica del desarrollo de pozos no se trabaja con agua pura de peso específico 1; el agua arrastra sólidos mezclados y la altitud del lugar de trabajo es muy variable, por lo que la condición teórica no se cumple del todo.

De aquí que las siguientes fórmulas empíricas dan un buen rango de seguridad :

Fig. IV-c Método físico, desarrollo Neumático



Presión de arranque( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) = 0.1424 Sa

Presión de operación( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) = 0.1424 So + Pl , donde

Sa = sumergencia en el arranque(m.)

So = sumergencia en la operación (m.)

Pl = pérdidas de carga en la línea(en el caso normal de desarrollo - de pozos, es despreciable)

Aplicando fórmulas :

Presión de arranque = Presión de operación =  $17.60 \text{ Kg}/\text{cm}^2 =$   
 $= 0.1424 \text{ Sa} = 0.1424 \text{ So}$  ; por lo tanto :

$$\text{Sa} = \text{So} = \frac{17.60 \text{ Kg}/\text{cm}^2}{0.1424} = 1236 \text{ Kg}/\text{cm}^2 = 123.6 \text{ m. de agua.}$$

Así que con nuestro equipo, podemos colocar el punto de inyección de aire, a una profundidad bajo el nivel del agua en el pozo, variable - entre 124 m. y 176 m. como máximo.

Cantidad de agua extraída.

Cuando se extrae por medio de bombeo neumático, es difícil de establecer teóricamente, pues varía de acuerdo con el diámetro de las - líneas de inyección y descarga, válvulas, tipo de compresor, presión-atmosférica, densidad del fluido, sumergencia, etc.

La cantidad de agua se conoce aforando.

b.) Descripción del equipo de desarrollo neumático "BETA".

El desarrollo neumático de pozos es el método más eficiente para lograr una enérgica agitación del pozo.

También ha sido especialmente diseñado para esta operación y es por el momento el medio más idóneo para mantener los pozos de agua trabajando eficientemente prolongados períodos de tiempo.

Consta de dos partes principales (ver fig. IV-d) :

+ Unidad compresora y almacenadora de aire.

Tiene un remolque de uno o dos ejes, montado en él, un COMPRESOR DE ALTA PRESION y de distintos caudales (según la necesidad) y su respectivo MOTOR.

El aire comprimido pasa del compresor a unos TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ALTA PRESION, su capacidad de almacenar es de  $1.5 \text{ m}^3$ , dichos tanques tienen una VALVULA DE SEGURIDAD, que se regula a la presión del compresor de  $250 \text{ lb/pulg.}^2$ .

Sale el aire de los tanques, que se controla con DOS VALVULAS DE PASO RAPIDO, instaladas o no en el remolque o en una caja de controles independientes; en cualquiera de los dos casos va un MANOMETRO para la operación.

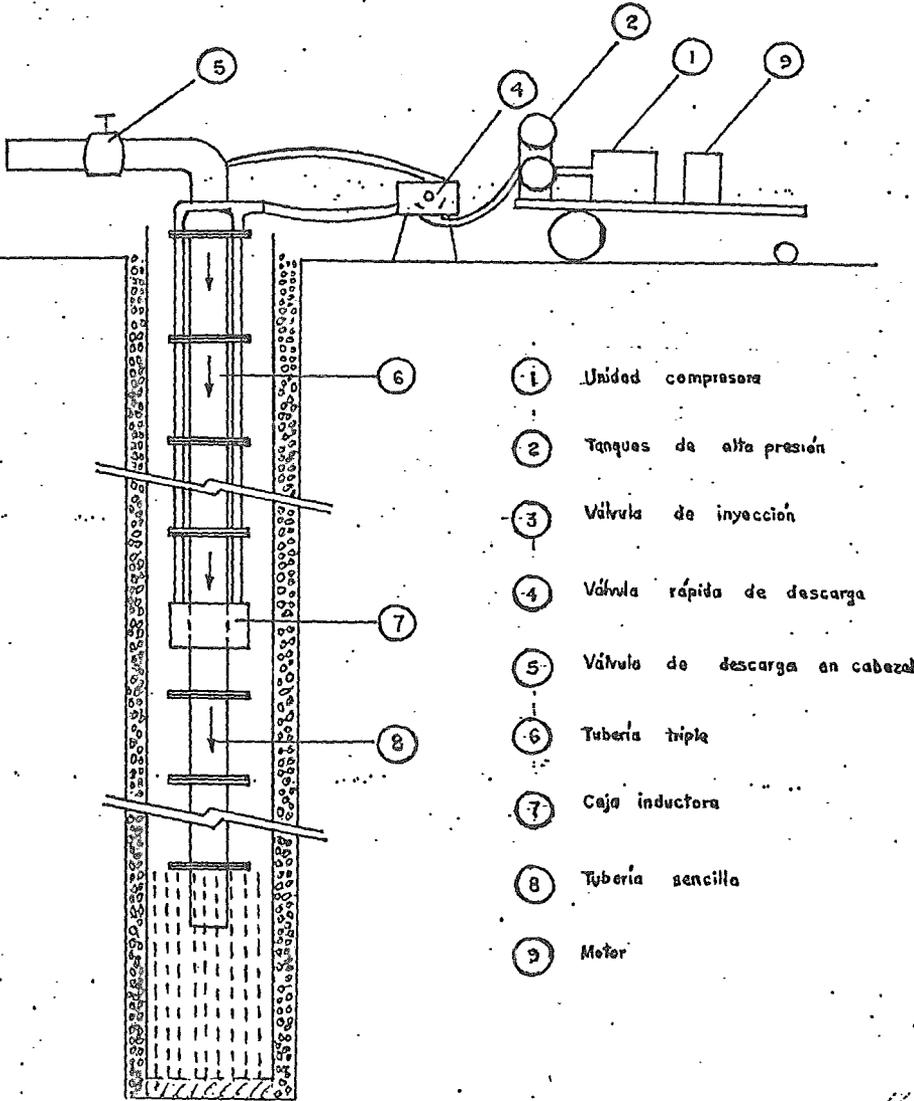
Se adiciona al remolque un tanque de combustible y una caja de herramientas.

..

+ Sarta de desarrollo.

De las válvulas de paso rápido, salen dos líneas de manguera de alta presión con conexiones rápidas uniendo la unidad compresora con el CABEZAL DE INYECCION Y DESCARGA, éste tiene un tubo horizontal con válvula para cerrar o abrir la descarga según sea la operación, conectado a un tubo vertical de descarga y dos tubos laterales exteriores para inyección de aire durante la operación del sifón.

Fig. IV-d. Operación de Desarrollo  
Neumático  
a pozo abierto



- ① Unidad compresora
- ② Tanques de alta presión
- ③ Válvula de inyección
- ④ Válvula rápida de descarga
- ⑤ Válvula de descarga en cabeza
- ⑥ Tuberia triple
- ⑦ Caja inductora
- ⑧ Tubería sencilla
- ⑨ Motor

111

Bajo el cabezal, éste está soportado por una brida atravesada por los tres tubos (central de descarga y dos laterales de inyección).

Los tubos de descarga e inyección se unen con una conexión rápida a las mangueras de alta presión.

El cabezal de descarga se une por bridas a la TUBERIA TRIPLE (ya mencionada).

El TUBO DE MANIOBRAS, es un tubo triple diferenciado con los nominales en una longitud de 1.5 m. en vez de 3 m., facilitando manobras para tener el cabezal de descarga a alturas cómodas cuando un tubo normal no pueda bajar bien.

La tubería alcanza la CAJA INDUCTORA, a ésta llegan dos tubos laterales de inyección descargando a la tubería central de descarga, por la cual el aire asciende a la superficie, emulsionándose con el agua y estableciendo el sifón.

De la caja inductora, la sarta continúa con la TUBERIA SENCILLA, la sola función de ésta, es de descarga.

El último tubo sencillo es el CORONA DE REY (1.5 m.), su extremo inferior es dentado y recubierto con carburo de tungsteno empleado para aflojar el azolve compactado, permitiendo su extracción.

c ) El desarrollo neumático de pozos de agua.

Este es un método cuya finalidad es la agitación energética del agua del propio pozo, originando un movimiento de flujo y reflujo, pozo-acuífero, acuífero-pozo, que resulta en arrastre de sólidos hacia el pozo y su posterior extracción.

Las variantes de este equipo "BETA" son : de pozo abierto, cerrado o combinado.

La operación inicial es desazolvar hasta su total profundidad (ver fig. IV-d).

Se sondea el pozo para precisar el nivel estático refiriendo posición a la descarga en superficie y estableciendo sumergencia con que se cuenta para iniciar la operación del sifón.

Aclarando esta exposición tenemos el siguiente :

E J E M P L O.

Profundidad total del pozo	=	200 m.
Profundidad del azolve	=	140 m.
Nivel estático	=	60 m.

Se establece la sumergencia suponiendo usado el sifón; el pozo se abate 5 m., con lo que se tiene un Nivel dinámico = 65 m.

En la tabla X, vemos que para una elevación de 65 m., tenemos una sumergencia mínima de 40 m. a 60 m. y una recomendable de 55m. a 60m.

En la tabla XI, para un bombeo de 61 m. (más próximo a los 65 m.), tenemos una profundidad mínima de inyección de 85 m. y una recomendable de 95m. a 98m.

En la fig. IV-e, para una elevación de 65 m., tenemos una sumergencia mínima de 27 m. y una recomendable de 38 m.

Según la tabla X, la posición de la caja inductora para operar con el sifón es : Posición = 65 m. + 60 m. = 125 m.

Fig. IV-e RELACION PROFUNDIDAD - SUMERGENCIA  
EN BOMBEO CON AIRE

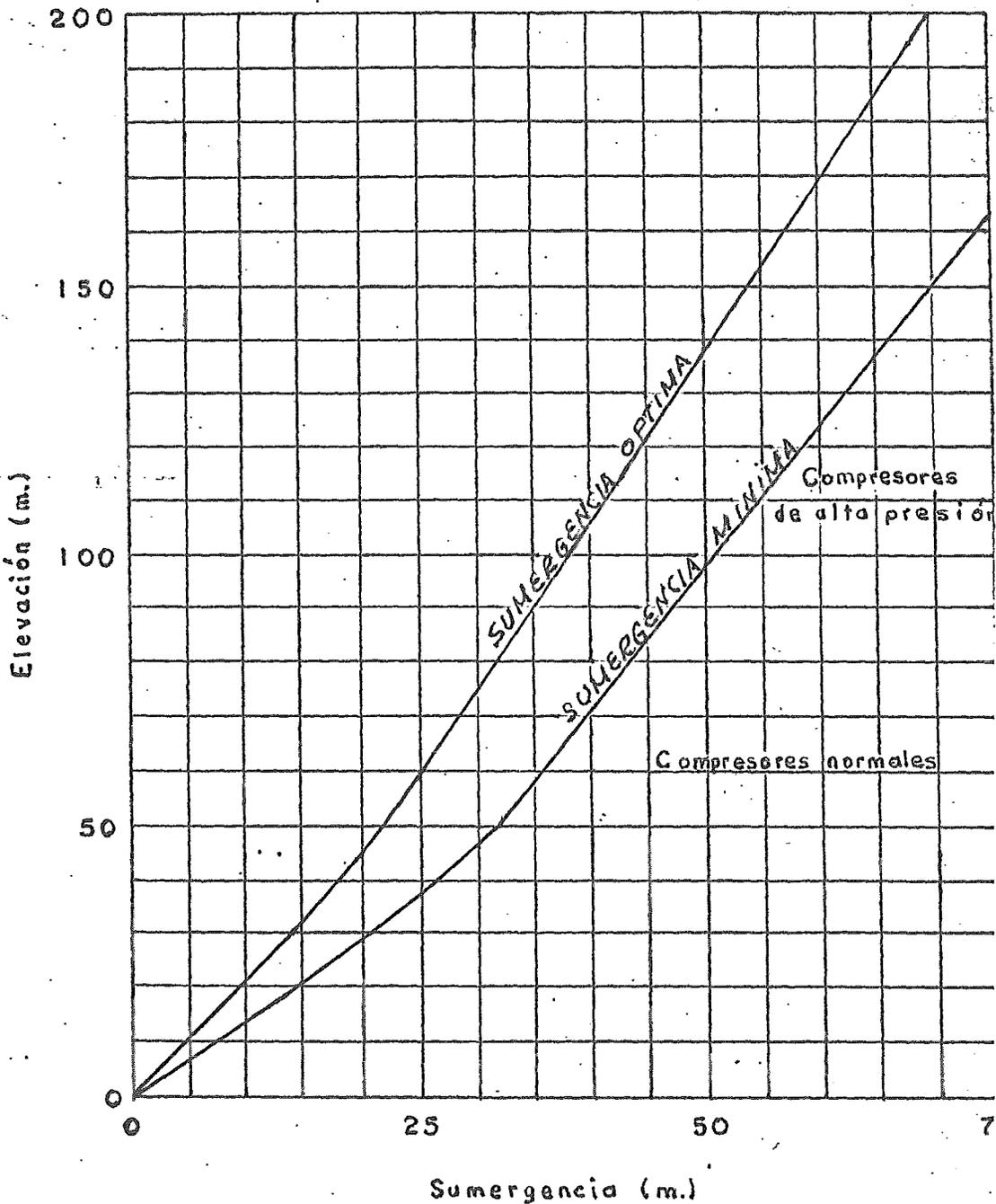


TABLA X PORCENTAJE DE SUMERGENCIAS EN BOMBEO CON AIRE

ELEVACION H (M)	% SUMERGENCIA COMUNMENTE ADMITIDO	% SUMERGENCIA OPTIMA	TIPO DE COMPRESOR
5 - 25	55 - 70	65 - 70	NORMAL
25 - 30	45 - 70	65 - 70	
30 - 40	45 - 65	65	
40 - 45	40 - 65	60 - 65	
45 - 60	40 - 60	55 - 60	
60 - 75	40 - 60	55 - 60	ALTA PRESION
75 - 105	37 - 55	50 - 55	
105 - 120	37 - 50	45 - 50	
120 - 200	35 - 45	40 - 45	
200 - 215	35 - 40	40	

TABLAXI BOMBEO CON AIRE

	BOMBEO EN M. (DESDE N. D. A DESCARGA)	% DE SUMER- GENCIA MINI- MA RECOMEN- DADA. ( S )	% DE SUMER- GENCIA OP- TIMA.	PROF. MIN. INYEC. DEL AIRE (SALI- DA EN POZO A DESCARGA)	PROF. OPTI- MA DE INYEC. DEL AIRE - (SALIDA EN POZO A DES- CARGA).
COMPRESORES DE 125 P.S.I.	6	55	65-70	13	18- 20
	9	55	65-70	20	26- 30
	12	50	65-70	24	34- 40
	15	50	65-70	30	43- 50
	18	50	65-70	36	51- 60
	24	30	65-70	49	69- 90
	30	45	65-70	55	86-100
	38	45	65	69	106
	46	40	60-65	74	76
	53	40	55-60	77	82- 85
	61	40	55-60	85	95- 98
	76	40	55-60	105	118-120
	COMPRESORES DE 250 P.S.I.	91	37	50-55	125
107		37	50-55	147	161-166
122		37	45-50	164	177-183
137		35	40-45	185	192-199
152		35	40-45	205	213-220
167		35	40-45	225	234-242
183		35	40-45	247	255-265
	198	35	40-45	267	277-287
	213	35	40	288	298

Según la tabla XI: Posición = 98 m.

Según la fig. IV-e: Posición = 65 m. + 38 m. = 103 m.

La tabla XI y la fig. IV-e, recomiendan colocar la caja inductora a unos 100 m. (promedio).

La tabla X, la recomienda colocar a 125 m. (es demasiado conservador). Por lo tanto escogemos la colocación inicial a 100 m.

El azolve está a 140 m., nuestra sarta la formaremos de 40 m. de tubería simple, incluye corona de rey, caja inductora y 97 m. de tubería simple.

Veámos cómo estaría constituida la sarta al llegar al fondo a los 200 m. :

40 m. de tubería simple y de 160 m. de tubería triple, incluyendo la caja inductora. La presión a vencer en el arranque sería :

160 m. - 65 m. = 95 m. de agua =  $9.5 \text{ Kg/cm}^2$  y este es muy menor al límite del equipo que es de  $17.60 \text{ Kg/cm}^2$  (según especificaciones del compresor).

Calculando según la fórmula empírica conservadora, tenemos :

$P_o = 0.1424(160-65) = 135.3 \text{ m. de agua} = 13.53 \text{ Kg/cm}^2$ , está también dentro de la capacidad del equipo.

Secuela para desazolvar mediante un sifón.

Observando las verificaciones pertinentes en el catálogo del equipo, se pone a trabajar la unidad compresora.

La sarta llega a la profundidad donde se localizó el azolve y se inicia la operación del sifón.

En la operación del sifón tendremos (ver fig. IV-d) :

La válvula de inyección (3) : ABIERTA.

La válvula rápida de descarga (4) : CERRADA.

La válvula de descarga en cabezal (5) : ABIERTA.

Avanzando la operación, se baja la tubería periódicamente hasta hacer

un contacto leve en el azolve y se levanta unos centímetros continuando el sifón con su función.

Extrayendo azolve, la sarta penetrará más profundamente en el pozo, - por lo que se seguirán añadiendo nuevos tubos triples hasta llegar al fondo.

En combinaciones especiales de posición del nivel estático y de la profundidad del pozo, se podría rebasar la capacidad del compresor - para romper la columna hidrostática como por

E J E M P L O.

Profundidad total del pozo	=	400 m.
Profundidad del azolve	=	130 m.
Nivel estático	=	80 m.
Nivel dinámico supuesto	=	85 m.

En la fig. IV-e, para una elevación de 85 m., tenemos una sumergencia de 33m. a 46m. Es decir, colocar la caja inductora de 118 m. a 131 m. (85 + 33 a 85 + 46).

Cuando el azolve se haya extraído hasta la profundidad de 261 m., - con el nivel dinámico de 85 m.,

La presión =  $261m - 85m = 176m = 17.6 \text{ Kg/cm}^2$ , que equivale a  $\pm 176m$ . Entonces el compresor no podrá inyectar aire al tubo interior, y el sifonéo se interrumpiría.

En esta situación, necesitamos utilizar la segunda caja inductora - para lo cual extraeremos 118m. de tubería (85m + 33m), colocaremos la segunda caja inductora y volveremos a introducir los mismos 118m.

Con esta sencilla operación disponemos de otros 176m de capacidad - para desazolvar, o sea que podríamos llegar hasta 437m. (261 m. + - 176 m.) de profundidad.

Como el pozo de nuestro ejemplo tiene solo 400m., el desazolve se - realizará completamente.

d ) Método de desarrollo neumático a pozo abierto.

Como todos los métodos de desarrollo, inicia cuando el pozo está completamente desazolvado y el agua del sifón se extrae limpia de sólidos en suspensión.

Este método se realiza mediante la acumulación de aire comprimido en los tanques del equipo de desarrollo, el aire se introduce en la parte baja del pozo por la tubería central, así situamos en la parte baja del pozo una burbuja de  $1.5 \text{ m}^3$  a la presión deseada.

Al depositarse esta burbuja, inicia el ascenso hacia la superficie, perdiendo presión y ganando volumen a la vez que se emulsiona con el agua del pozo; en su rápido ascenso ejerce un efecto de succión que provoca la entrada de azolve, el cual se extrae posteriormente por sifonéo.

Las descargas se efectúan en series de número variable, según efectos observados por el operador, pero siempre a presiones crecientes que se inician con  $1 \text{ Kg/cm}^2$  más del necesario para descargar el aire; se mantiene esa presión mientras, después de una serie de descargas se obtenga agua turbia; cuando esto no suceda, es decir que el agua salga clara o se limpie rápidamente, será el momento de acumular el aire a  $1 \text{ Kg/cm}^2$  más y volver a descargar.

Este ciclo se repetirá con presiones crecientes hasta alcanzar la máxima del equipo de  $17.60 \text{ Kg/cm}^2$ .

La disposición del equipo para un desarrollo a pozo abierto con descargas será :

+ PARA CARGAR LOS TANQUES.

(3) CERRADA.

(4) CERRADA.

(5) CERRADA.

+ PARA DESCARGAR EN EL POZO.

(3) CERRADA.

(5) CERRADA.

(4) ABIERTA.

Antes de iniciar las descargas se debe retirar la corona de rey, del fondo del pozo unos 3m., para evitar que el propio azolve del pozo nos atrape la tubería o tape la boca de ella.

Una variante de este método aceptable, es dejar fluir libremente el aire por el tubo interior, sin acumularse a presión en los tanques, durante períodos largos, manteniendo así al pozo en una agitación que aunque menos violenta que la descarga, es más continua.

Un mejor resultado se obtiene en la combinación de ambos sistemas o métodos.

Este método es simple y eficiente, pero su limitación es la carga hidrostática a vencer, misma que en el caso del sifón se solucionó colocando más cajas inductoras.

Otra limitación determinante, es la de las descargas o de la inyección libre del aire por la corona de rey, aquí el sistema de pozo abierto no se utilizará cuando la columna hidrostática rebase los 176m., por lo que el desarrollo se efectuará a pozo cerrado.

e ) Método de desarrollo neumático a pozo cerrado.

Aplicamos este método después del de pozo abierto, es decir, si el pozo tuviera por ejemplo 250m. de columna hidrostática, resulta más práctico desazolvar hasta donde tengamos una columna hidrostática de unos 150m., desarrollar ese tramo y cuando esté completo ese trabajo, iniciamos el desarrollo a pozo cerrado para lo cual construiremos un cabezal de inyección; éste no se proporciona junto con el equipo ya que varía según el diámetro del pozo a tratar; su construcción es simple y lo puede hacer cualquier soldador de mediana calidad.

Consta de una tapa de acero soldada a un tubo de 30 cm. de diámetro semejante al del ademe del pozo; dicha etapa está perforada por tres

orificios, uno de estos de (7 1/2)" recibe un tubo triple de maniobras (1.5 m.) soldado en la brida a la tapa, al que se acoplará el cabezal de descarga y por el otro extremo toda la sarta; en otro orificio se solda un cople para conectar la manguera de descarga que en el pozoabierto conectaba a la tubería central; esta conexión se clausura con un tapón macho, en el tercer orificio se conecta una válvula de descarga de paso rápido.

Desarrollado el tramo superior de 150 m. se continuará el desazolvemento hasta el fondo del pozo y hecho este, se retirarán dos tubos, uniendo la sarta al tubo triple del cabezal de inyección; después se solda éste al adema, se conectan las mangueras y se puede ya iniciar el desarrollo, para lo cual el equipo estará en la siguiente posición (ver fig. IV-f):

+ ACUMULANDO PRESION.

- (3) CERRADA.
- (4) CERRADA.
- (5) ABIERTA.
- (10) ABIERTA.

+ DESCARGANDO PRESION.

- (3) CERRADA.
- (4) ABIERTA.
- (5) ABIERTA.
- (10) CERRADA.

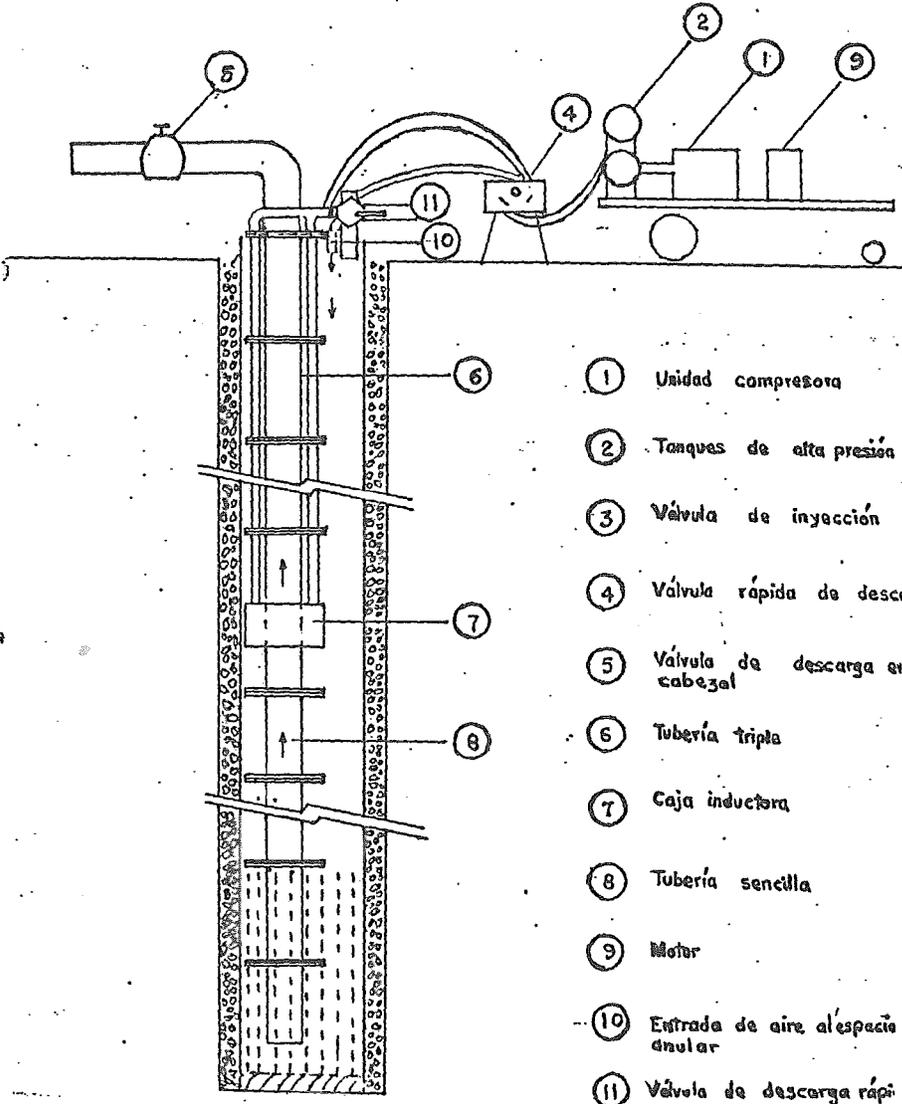
El aire entra rápidamente por (9) al espacio anular y se continúa dando paso libre al aire hasta alcanzar la presión deseada que se va incrementando en etapas sucesivas.

Al alcanzar la presión se descarga rápidamente abriendo la válvula del cabezal (10).

+ SIFON PARA EXTRAER EL AZOLVE.

Sucedió lo siguiente en estas operaciones ;

Fig. IV-f Operación de Desarrollo  
Neumático  
a pozo cerrado



Al descargar bruscamente el aire en el espacio anular, el efecto de la presión aplicada en el espejo del agua, se transmite por la rejilla al acuífero en forma de agua inyectada a presión en él.

El espejo se deprime una cantidad de metros equivalente a la presión neumática aplicada (10 m. por cada  $\text{Kg/cm}^2$ ).

Al liberar la presión abriendo la válvula (10), la presión hidrostática actúa en sentido contrario, es decir desde el acuífero hacia el pozo, siendo así el arrastre de finos que se extraerán mediante el sifón.

Considerando la capacidad de nuestro equipo, existe la posibilidad de crear una depresión de 176 m. bajo el nivel estático, en la práctica rara vez se levanta tal presión, ya que se tiene cedazo a menor profundidad, por cuyas ranuras escapa la presión impidiendo con frecuencia sacar todo el provecho posible de nuestro equipo.

Aún teniendo control del equipo, existen factores que varían las operaciones, éstos son :

Tipo de cedazo, filtro granular, el enjarre de bentonita (desde la construcción del pozo y las características del acuífero).

## 3 ) HABILITACION O DESARROLLO WELL-AID(METODO QUIMICO).

Well-Aid, es un compuesto químico de control científico para mejorar la productividad de los pozos profundos, viejos o nuevos.

Es un dispersor de arcillas que ayuda en la eliminación de lodos de la perforación en los pozos nuevos; también ayuda en el rejuvenecimiento de los pozos viejos que han perdido producción.

Well-Aid es una fórmula balanceada, muy compleja, de dispersores no ácidos para máxima penetración y flotación efectiva.

Produce una acción floculizante y dispersante directa en arcillas, bentonitas o partículas de tierra, ya que disminuye la tensión superficial del agua y permite una máxima penetración en las paredes del pozo para aumentar la limpieza de los canales, drene de agua hacia la perforación, aumentando caudal y nivel dentro del pozo.

En pozos hechos con máquina rotatoria y engravados ayuda a desalojar los lodos de perforación. Y también en pozos ya desarrollados y que producían agua clara, se ha sacado más lodo retenido en los acuíferos, y así un mejor rendimiento de las obras.

Well-Aid, en pozos hechos con máquina de percusión los hace más productivos, aunque no se hayan usado materiales arcillosos o bentonitas en su ejecución.

Su poder dispersante y su penetración en mantos acuíferos que tienen potencial, aumenta el factor de disponibilidad de éstos, y es que algunas formaciones no se "abren" simplemente con el cuchareo o pistoneo y no aportan, a las posibilidades de explotación.

Well-Aid, limpia las paredes del pozo, ranuras del cedazo y las gravas del filtro; lo hace con economía, menos trabajo, también en horas-máquina.

a ) Modo de usarse.

Con el tubo y grava dentro de el pozo, deberá ser lavado, desalo-

jando todo el lodo y sólidos que contenga, por medio de circulación con agua limpia, por sifoneo.

Después de bien lavado el pozo, se vierte la cantidad indicada del dispersor por el tubo de ademe, más tarde se agitará el pozo.

La acción recíproca de un pistón, hace mucha turbulencia alterante, provocando corrientes violentas del líquido a través de las ranuras del cedazo; de las gravas del filtro en el espacio anular del pozo, dichas gravas son lavadas, se reacomodan y bajan los puentes que se hayan formado.

Se debe tomar en cuenta que dicha grava de la zona con ademe ciego no es afectada por el pistoneo; si éste no es tratado con dispersor puede haber problemas.

Dicha zona estará libre de lodos, incluso del nivel estático a la superficie, ya que se puedan formar puentes de grava con lodo deshidratado que causan problemas al paso del tiempo.

El pistoneo deberá alternarse con períodos de reposo; dos o tres horas de agitación para un tramo de 100 m. de cedazo, por cuatro o seis horas de reposo.

Después otro pistoneo como el primero y dejar reposar el pozo un mínimo de 48 horas antes de principiar el bombeo de desarrollo.

Entre más tiempo esté el Well-Aid en el pozo, mejor será. También ese producto se surte en envases no retornables: tambores de 200 ltos., envases de plástico de 25 ltos. y de 50 ltos. Así se obtiene la cantidad aproximada al requerimiento del pozo, con mínima inversión.

La siguiente tabla XII, ayuda a determinar la cantidad de Well-Aid a usar en un pozo.

TABLA XII Modo de aplicar el compuesto químico

Ø de Perf.	Vol. x ML	Ø de Ademe	Vol. x ML	Vol. Grava x ML	Area de Pared
8"	32.41 L	4"	8.10 L	24.31 L	.638 M <sup>2</sup>
10"	50.64 L	6"	18.23 L	32.41 L	.797 "
12"	72.92 L	8"	32.41 L	40.51 L	.957 "
14"	99.26 L	10"	50.64 L	48.62 L	1.116 "
17.5"	155.10 L	12"	72.92 L	82.18 L	1.396 "
20"	202.58 L	14"	99.26 L	103.82 L	1.595 "
22"	245.12 L	16"	129.65 L	115.47 L	1.755 "
24"	291.71 L	18"	164.09 L	127.62 L	1.914 "

APLIQUE AL POZO QUINCE LITROS DE "WELL-AID" POR CADA MIL LITROS DE AGUA EN EL AGUJERO, CALCULADOS DESDE EL FONDO DEL POZO AL NIVEL ESTÁTICO. Por ejemplo:

En un pozo con perforación de Ø 20" tenemos el nivel estático a 66 m. del fondo = 202.58 L x ML.

$$\text{Aplicación: } 66 \times 202.58 = 13,369 \text{ L}$$

$$13,369 \times 15 = 200.53 \text{ L}$$

APLIQUE AL POZO 200 L de WELL-AID

El interés que existe actualmente en las grandes ciudades por asegurar su abastecimiento de agua potable, pone de manifiesto el incremento en la perforación de pozos para seguir el desenvolvimiento económico y social de dichas ciudades.

En los sitios de perforación, existen innumerables problemas que el ingeniero debe resolver, tales como :

Mantener en buen estado las herramientas, disposición a tiempo de materiales, consumos del equipo; también es de capital importancia la dirección y establecimiento de responsabilidades del personal para que así, todo en conjunto, implique un trabajo bien ejecutado.

Ahora bien, la explotación del agua debe ser conciente y razonable; por lo tanto las posibilidades de una buena solución a la explotación intensiva son :

- + Reducción de extracciones hasta un volumen tal que no produzca abatimiento indefinido, ni daños irreparables al acuífero. Si lo anterior no fuera posible, se implantarán vedas, para no permitir la perforación de pozos nuevos.
- + Redistribuir las captaciones para reducir la velocidad de abatimiento, incrementar la recarga mediante infiltración artificial, importación de aguas de las cuencas vecinas y la relocalización de captaciones a distancias mayores del litoral en el caso de acuíferos costeros.

Por otra parte, existen discrepancias entre perforadores de si debiera llevarse a cabo o no el procedimiento de habilitar o desarrollar un pozo.

En caso de llevarse a cabo un buen desarrollo, éste también es función de la experiencia del perforador; en este trabajo la recomendación es que sí debe efectuarse el desarrollo en la perforación de pozos nuevos y en el rejuvenecimiento de los pozos viejos que han perdido producción. Dicho desarrollo será periódico en cualquier pozo para prolongar su vida útil.

Los resultados más importantes de habilitar o desarrollar cualquier pozo son :

- + Aumenta la permeabilidad alrededor del pozo, esto eleva su capacidad específica .
- + Estabiliza la formación alrededor del pozo, esto disminuye el problema de bombeo de arena.
- + Elimina el enjarre en la pared del sondeo debido al lodo de perforación, aumentando la permeabilidad. Es más efectivo si se combina con un agente químico a base de polifosfatos que dispersan el material arcilloso coloidal, separando los sólidos del lodo, rebajando su viscosidad y quebrando sus propiedades de gel.
- + Si el agua es incrustante o corrosiva, el aumento de porosidad retrasa el fenómeno reduciendo en menores velocidades de entrada del agua al pozo y un menor abatimiento del nivel dinámico.
- + La disminución del nivel dinámico va a la par con menores columnas de bombeo, y por lo tanto, ahorro de energía. Este ahorro, por sí solo, paga en muy corto tiempo (menos de un año) el costo del tratamiento.
- + En formaciones de rocas fracturadas, el desarrollo elimina el material fino que rellena las fracturas, permitiendo el paso franco del agua al pozo.
- + El método de perforación inversa altera menos que el de perforación directa las condiciones del acuífero, al no usar lodos de perforación, salvo en excepciones, y a la baja velocidad de entrada del agua al pozo por el espacio anular. Igual ocurre con la perforación por percusión, aquí el desarrollo mejora las condiciones naturales del acuífero.
- + Colabora con el desarrollo natural para formar el filtro naturalmente. Si tenemos condiciones geohidrológicas adecuadas, el pozo con desarrollo natural es más eficiente y de más larga vida que aquéllos con filtro artificial de grava. En México son muy raros los pozos desarrollados naturalmente.

+ Su importancia es igual o quizá mayor en pozos de operación, pues en éstos casi no existió diseño ni técnicas constructivas adecuadas y su tipo de operación ha disminuído su eficiencia.

- Plan Nacional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural.  
Perforación de Pozos Profundos.  
S.R.H.
- Johnson Inc. Edward E.  
El Agua Subterránea y los Pozos.  
Johnson Division, 1966.
- Benítez Alberto.  
Captación de Aguas Subterráneas.  
Dossat, S.A., Madrid, España.
- Especificaciones de construcción para la perforación, trabajos auxiliares y terminación de pozos para agua potable.  
S.A.H.O.P., México, 1982.
- Oficina de Estudios Especiales de la Comisión Hidrológica del Valle de México.  
Infiltración Artificial en la cuenca del Valle de México.  
S.R.H., Publicación No. 3 , 1963.
- Plan Nacional Hidráulico, 1<sup>a</sup> parte, capít. II; 2<sup>a</sup> parte, capít. XIII.  
S.R.H., 1975.
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.  
Proposición de Estudios de Recarga Artificial de los Acuíferos del Valle de México.  
D.D.F., México, 1978.
- Ulric P. Gibson, Rexford D. Singer.  
Manual de los pozos pequeños.  
Limusa.
- Maxey George B. Keith John, Hess John, Shulke Dale.  
Legal, Economic, Social and Management Aspects of Selected Ground Water Mining Areas in the United States.  
Water Resources Center, Desert Research Institute, University of Nevada System. Preparado para el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas y para el P.N.H., S.R.H.. Reno, Nevada, 1975.