

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

9 al 13 de ABRIL DE 1984 .

1.       ING. EDUARDO MARTINEZ GONZALEZ  
DIRECTOR GENERAL  
CYPEA Construcciones y Perforación, S.A.  
Alfonso Esparza Oteo 144-8°  
Col. Gré. Inn  
México 01020, D.F.  
550 10 41 y 550 14 45
  
2.       ING. LUIS MATUS ZARATE  
Jefe del Depto. de Perforación de Pozos  
S A R H  
Vallarta No. 1-9° Piso  
México, D.F.  
592 05 60 y 535 45 13
  
3.       ING. GILBERTO LEON MARTINEZ  
Jefe del Depto. de Equipos de Bombeo y Electromecánica  
Dir. Gral. de Obras Hidráulicas  
S A R H  
Vallarta 1 Desp. 908 A  
México, D.F.  
592 05 60
  
4.       ING. GILBERTO HARO OSIO  
Gerente General  
Acuífero, S.A.  
Fuente de Tritones 24-7  
México, D.F.  
589,96 57
  
5.       ING. JOSE FELIPE YTUARTE OLIVO  
Director General  
Impulsora y Promotora Industrial, S.A.  
Zaragoza 14  
Lomas Altas  
México, D.F.  
570 38 13
  
6.       ING. LUIS ENRIQUE LARA TRUJILLO  
Superintendente General  
de Tecnologías Exploratorias  
PEMEX  
M. Nacional 329 Edif. A 1810 -6° Piso  
México, D.F.  
531 63 08 y 250 42 82

7. Ing. Raymond Vignaud Combas  
Gerente General  
Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S.A.  
Margaritas No. 143 Casa 2  
Col. Florida  
México 20, D.F.  
534 26 19
8. ING. JORGE ANTONIO TRUJILLO CANDELARIA  
Jefe del Depto. de Exploración  
Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas  
S. A. R. H  
San Luis Potosí 199-2° Piso  
Col. Roma Sur  
México, D.F.  
564 77 42
9. ING. RAFAEL ALVARO JIMENEZ GRANADOS  
Asesor Técnico  
Subdirección de Construcción de  
Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola  
P. de la Reforma No. 107-7° Piso  
México 1, D.F.  
535 09 00
10. ING. ERNESTO REGUERA ROA  
Gerente General  
Perforadora del Istmo, S.A. de C.V.  
M. Escobedo No. 498-8° Piso  
Col. Anzures  
México 11590, D.F.  
250 99 66 Ext. 235 y 574 06 12
11. ING. RUBEN CHAVEZ GUILLEN  
Jefe del Depto. de Hidrología Subterránea  
Dir. de Geohidrología y de Zonas Áridas  
S A R H  
Dr. Atl No. 6-1°  
México 4, D.F.  
566 24 90
- ING. JOAQUIN MENDEZ SALDAÑA  
Jefe del Depto. de Evaluación  
Geohidrológica  
SARH  
S. L. Potosí 199-3°  
México, D.F.  
564 31 31
12. ING. ANDRES BENTON CUELLAR  
Gerente  
Desarrollo de Recursos Naturales  
Lagarfa 252  
Col. Pensil  
11430 México, D.F.  
399 67 22 Ext.117
13. ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES  
Administrador  
Lesser y Asociados, S.A.  
V.Carranza No. 12 A y B  
Querétaro, Qro.  
91463 43522

14.

ING. LEANDRO MONTES LARIOS  
Subjefe del Depto. de Equipos  
de Bombeo y Electromecánica  
Subdirección de Construcción  
Dir. Gral. de Obras Hidráulicas e Ingeniería  
Agrícola para el Desarrollo Rural  
S A R H  
Vallarta No. 1 Despacho 609 B  
México, D.F.  
592 45 27



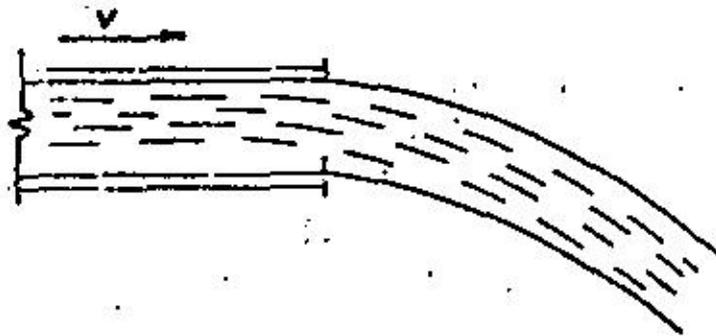
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PERFORACION DE POZOS PARA AGUA**

**EJERCICIOS SOBRE EL TEMA: POZOS Y ACUIFEROS**

**ABRIL, 1984**

MEDICIÓN DEL GASTO  
MÉTODO DE LA ESCUADRA



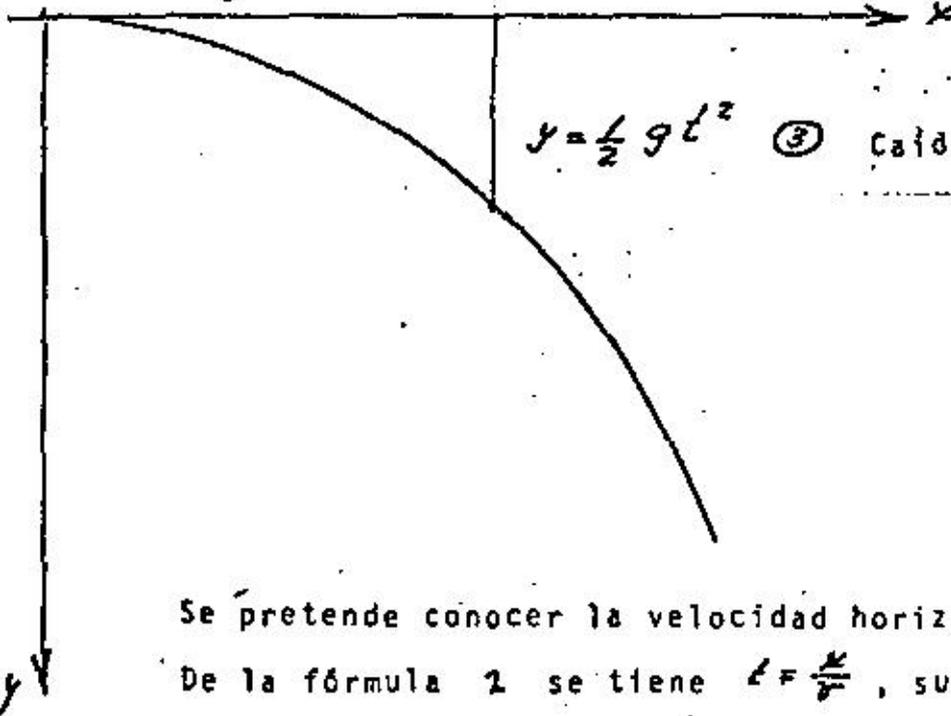
$$\textcircled{1}$$

$$Q = Av \quad \textcircled{1}$$

La curva que describe el chorro es una parábola.

Movimiento de una partícula disparada horizontalmente

$v = \frac{x}{t}$   $\textcircled{2}$  Fórmula elemental de la velocidad



$$y = \frac{1}{2} g t^2 \quad \textcircled{3} \text{ Caída libre de un cuerpo}$$

Se pretende conocer la velocidad horizontal ( $v$ )

De la fórmula 2 se tiene  $t = \frac{x}{v}$ , sustituyendo este valor

en la fórmula 3, se tiene:

$$y = \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v}\right)^2 \quad \textcircled{4}$$

Despejando  $v$ , se tiene

$$v = \sqrt{\frac{1}{2} g \frac{1}{y}} \cdot x \quad \textcircled{5}$$

Haciendo constante la variable  $y$ , se simplifica la fórmula de la velocidad en

$$v = K_1 x \quad \textcircled{6}$$

Sustituyendo en 1, se tiene

$Q = K_1 A x$  como  $A$  para un caso dado es constante

$$Q = K_2 x \quad \textcircled{7}$$

## CONCLUSIONES DEL METODO DE LA ESCUADRA

- 1.- Existen dos casos, tubo lleno y tubo vacío.
- 2.- Basta medir la distancia horizontal donde el chorro se abate 0.305 m. (12").
- 3.- Caso particular cuando se empieza a llenar y esto ocurre para una distancia horizontal de 50 cm.
- 4.- Se observa una curiosa relación entre gastos y diámetros.

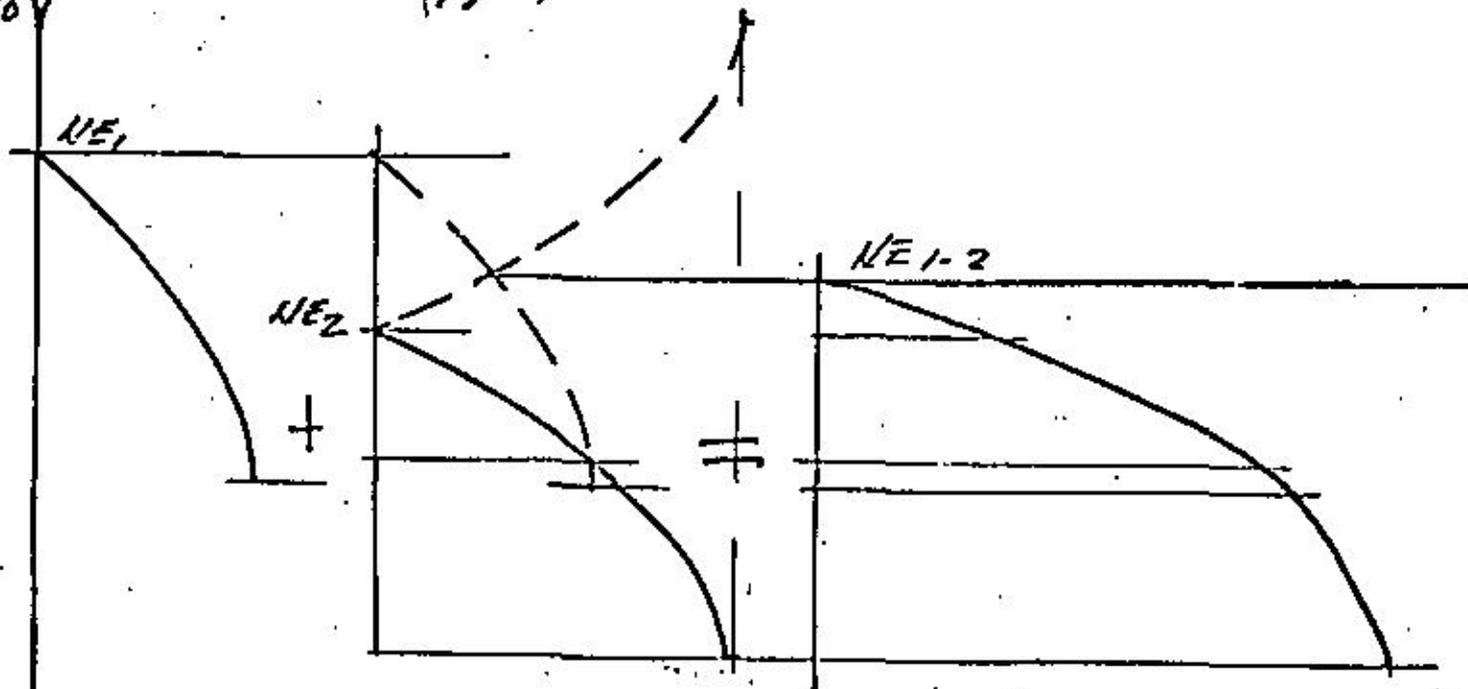
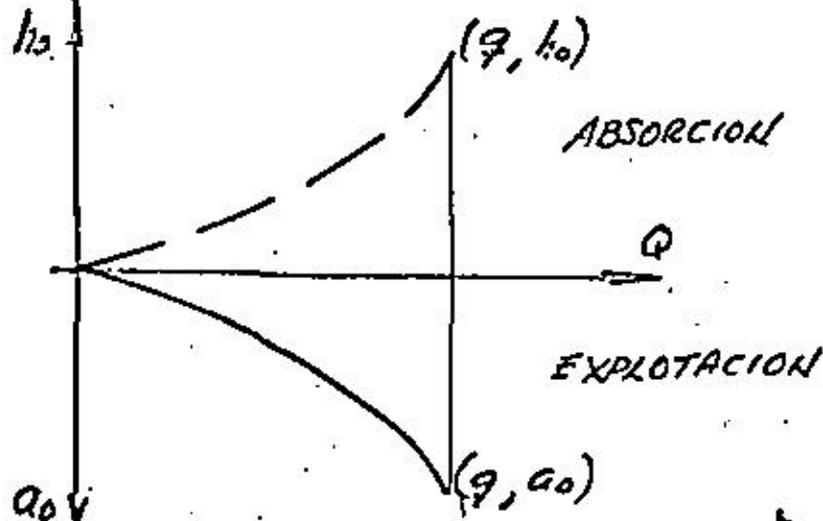
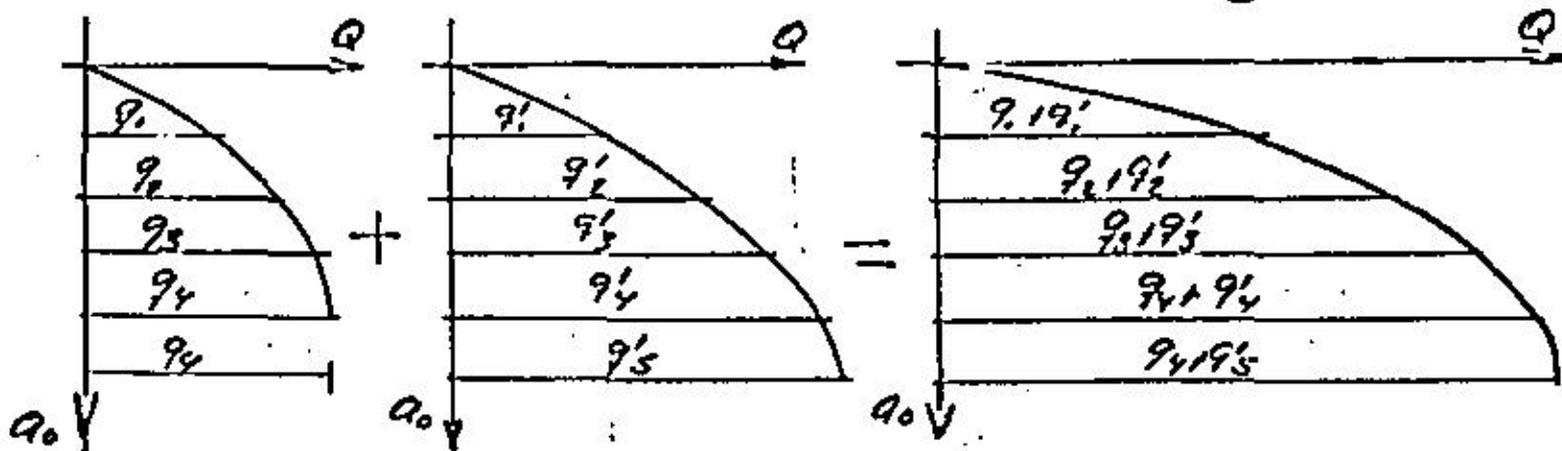
$$Q = (d")^2 \text{ L.p.s.}$$

- 5.- La aplicación de esta curiosa regla es muy variada, por que permite de manera práctica, simple y efectiva llegar a conclusiones rápidas, tales como :
  - a) Afirmar que si, un tubo esta lleno, que el gasto (l.p.s.) es cuando menos el equivalente al cuadrado del diámetro en pulgadas.
  - b) Con estas condiciones se establece un régimen dentro del tubo, que se acerca a las convenientes pérdidas de fricción, permite diseñar en forma preliminar diámetros de tuberías para este y otros casos.
  - c) Es la base para el diseño de bombas y pozos.

Q	COLUMNA	TAZONES	ADEME	PERFORACION
16 l/s	4"	6"	8"	De 14" - 16 "
36 l/s	6"	8"	10"	De 16" - 18 "
64 l/s	8"	10"	12"	De 18" - 20 "
100 l/s	10"	12"	14"	De 20" - 22 "

# ACUÍFEROS DE IGUAL PIEZOMETRÍA

(3)



# ACUÍFEROS DE DIFERENTE PIEZOMETRÍA

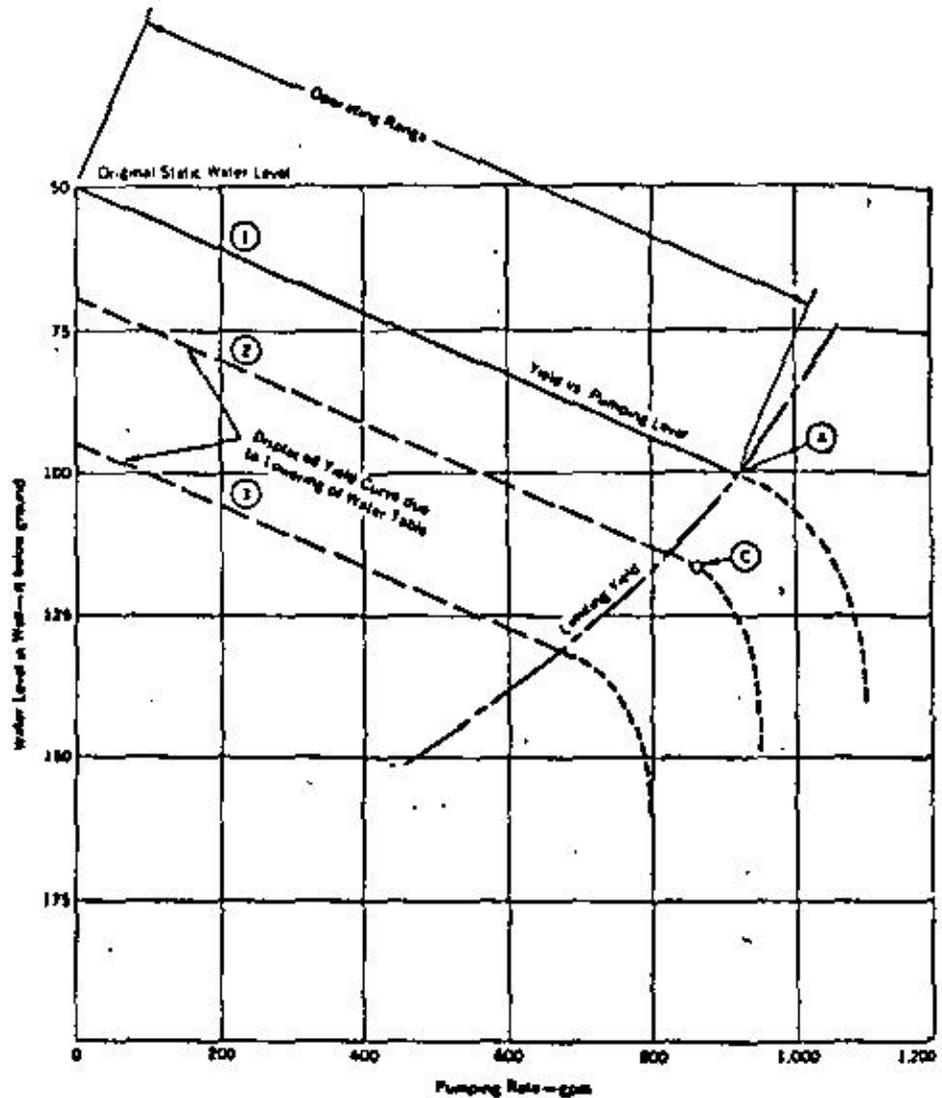


Fig. 49. Operating Problems Resulting From a Drop in the Water Table

trained air bubbles, may cause disturbance in the distribution system. This action can dislodge corrosion products or other incrustants from the inside of pipes. Complaints about dirty water follow immediately.

Water levels in each well should be measured and recorded routinely according to a program that fits the operation. A continuing record of both nonpumping and pumping levels should be maintained. If the pumping level rezeades, the cause should be determined. Timely adjustment of the pumping equipment should be made if danger of breaking suction becomes apparent.

VI.-DETERMINACION DEL TIEMPO PROBABLE DE AGOTAMIENTO DE UN POZO.

Resulta muy sencillo saber cuando un pozo se va a agotar, pues como se ha visto la variación de la capacidad específica es lineal o casi lineal y su tendencia es a cero. Unicamente se tiene que observar la variación de C y seguir su evolución. Para conocer el tiempo probable de agotamiento bastara extrapolar la curva con los datos observados hasta que alcance C el valor de cero.

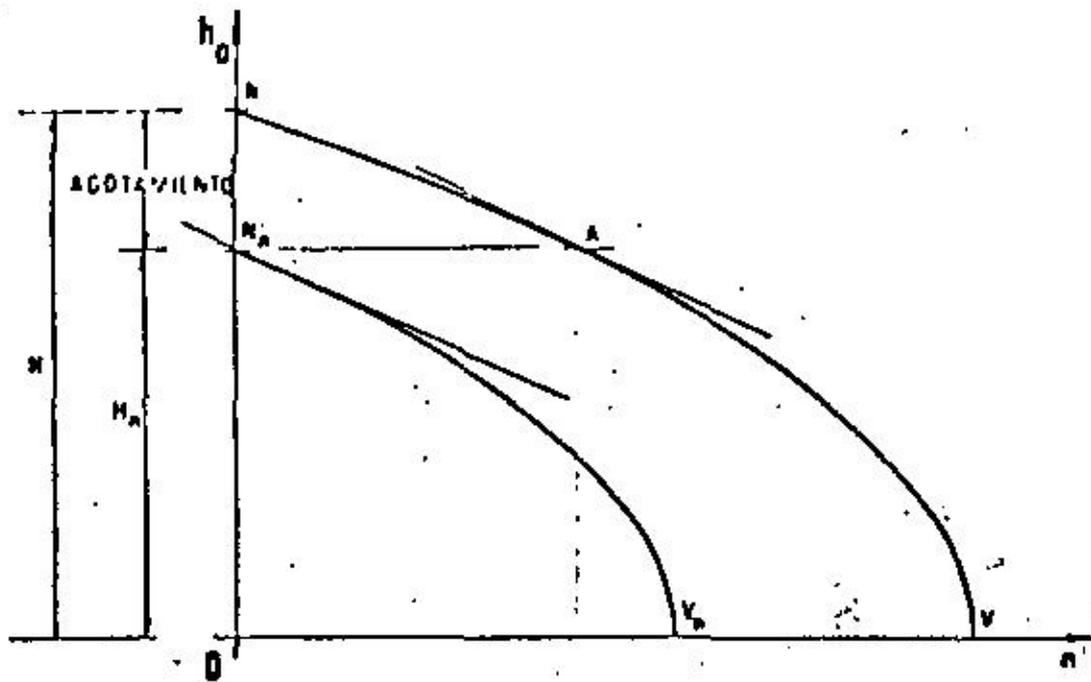


$$\text{VELOCIDAD DE AGOTAMIENTO} = \frac{\text{ABATIMIENTO OBSERVADO}}{\text{TIEMPO OBSERVADO}}$$

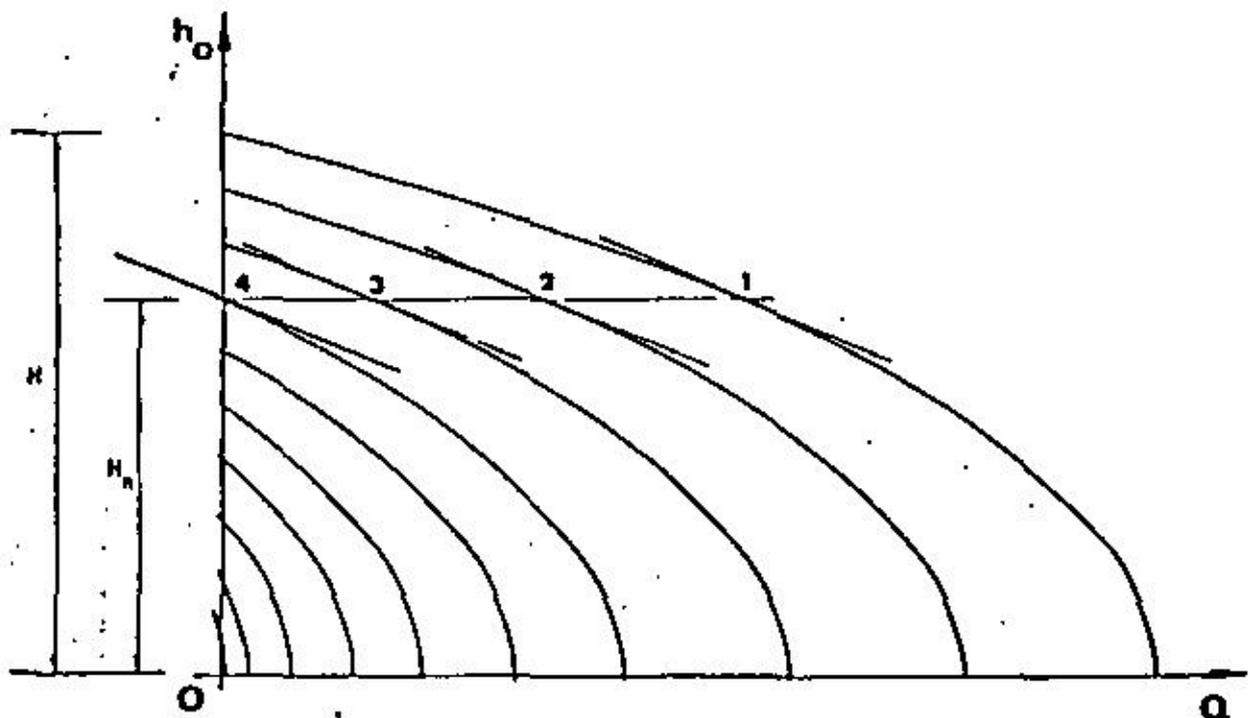
$$\frac{\text{ABATIMIENTO FUTURO}}{C_2} = \frac{\text{ABATIMIENTO OBSERVADO}}{C_1 - C_2}$$

$$\text{ABATIMIENTO FUTURO} = \frac{C_2}{C_1 - C_2} \text{ ABATIMIENTO OBSERVADO}$$

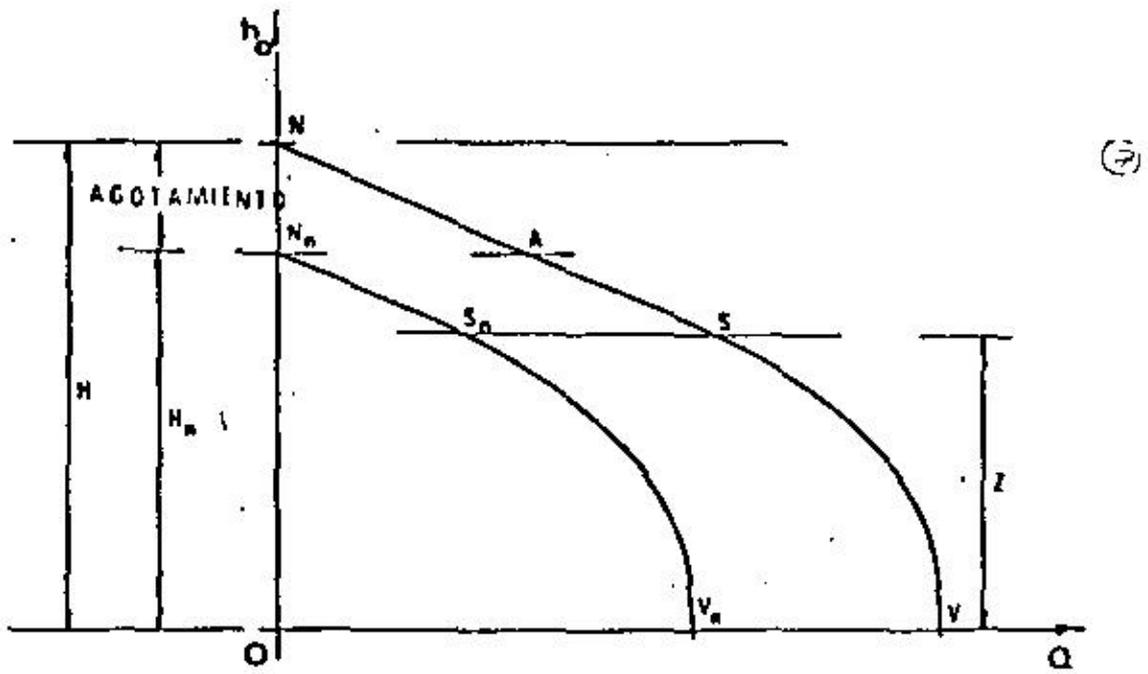
$$\text{TIEMPO PROBABLE DE VIDA} = \frac{\text{ABATIMIENTO FUTURO}}{\text{VELOCIDAD AGOTAMIENTO}}$$



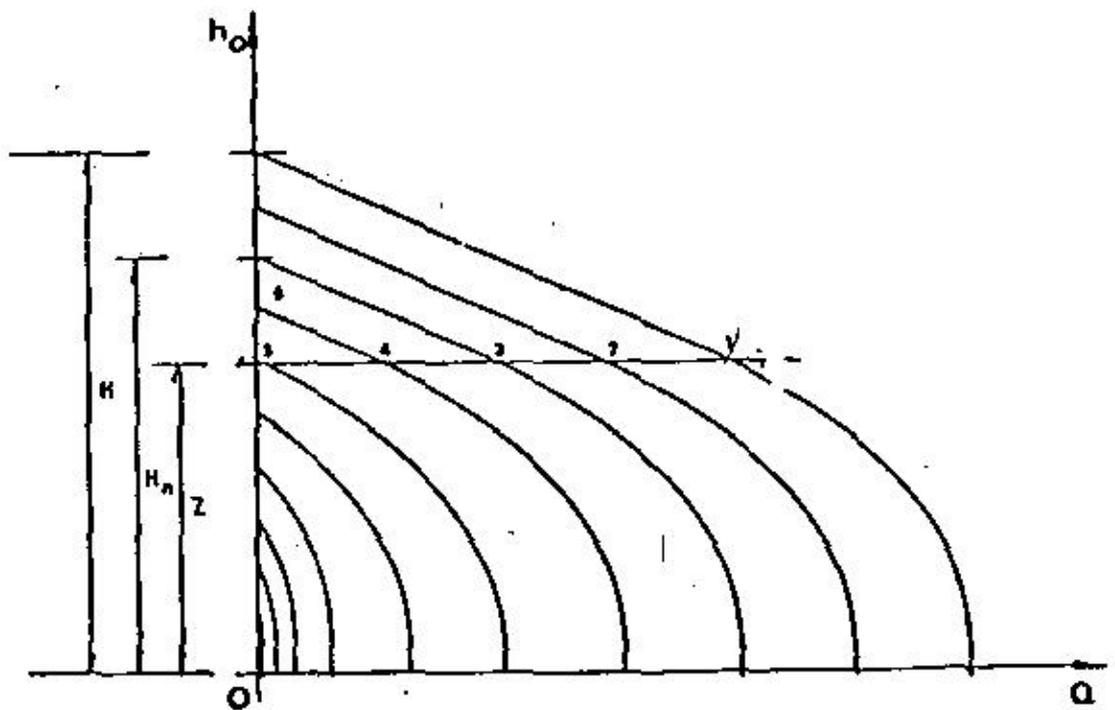
Lamina 4.1.1



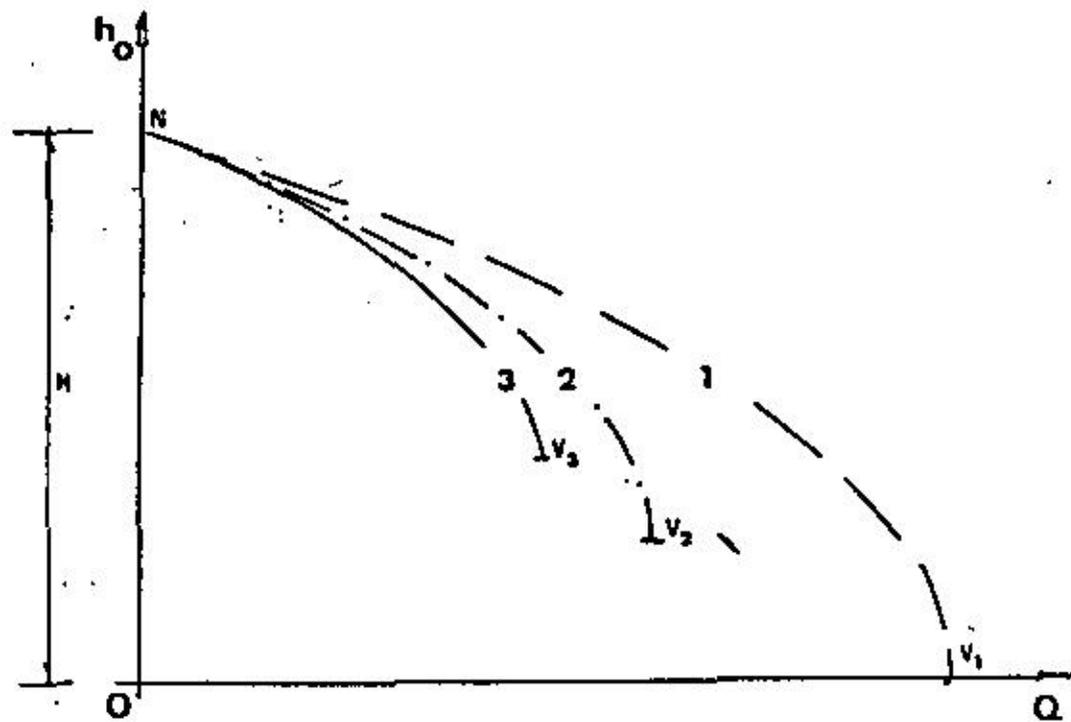
Lamina 4.1.2



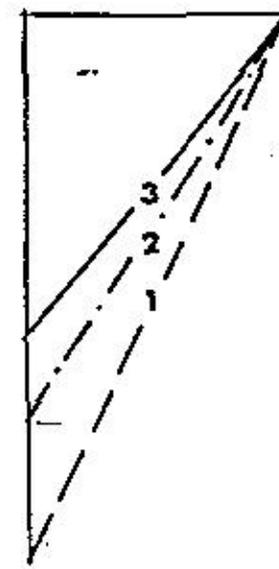
Lamina 4.4.1



Lamina 4.4.2



(a)



(b)

Lámina 3.5.1

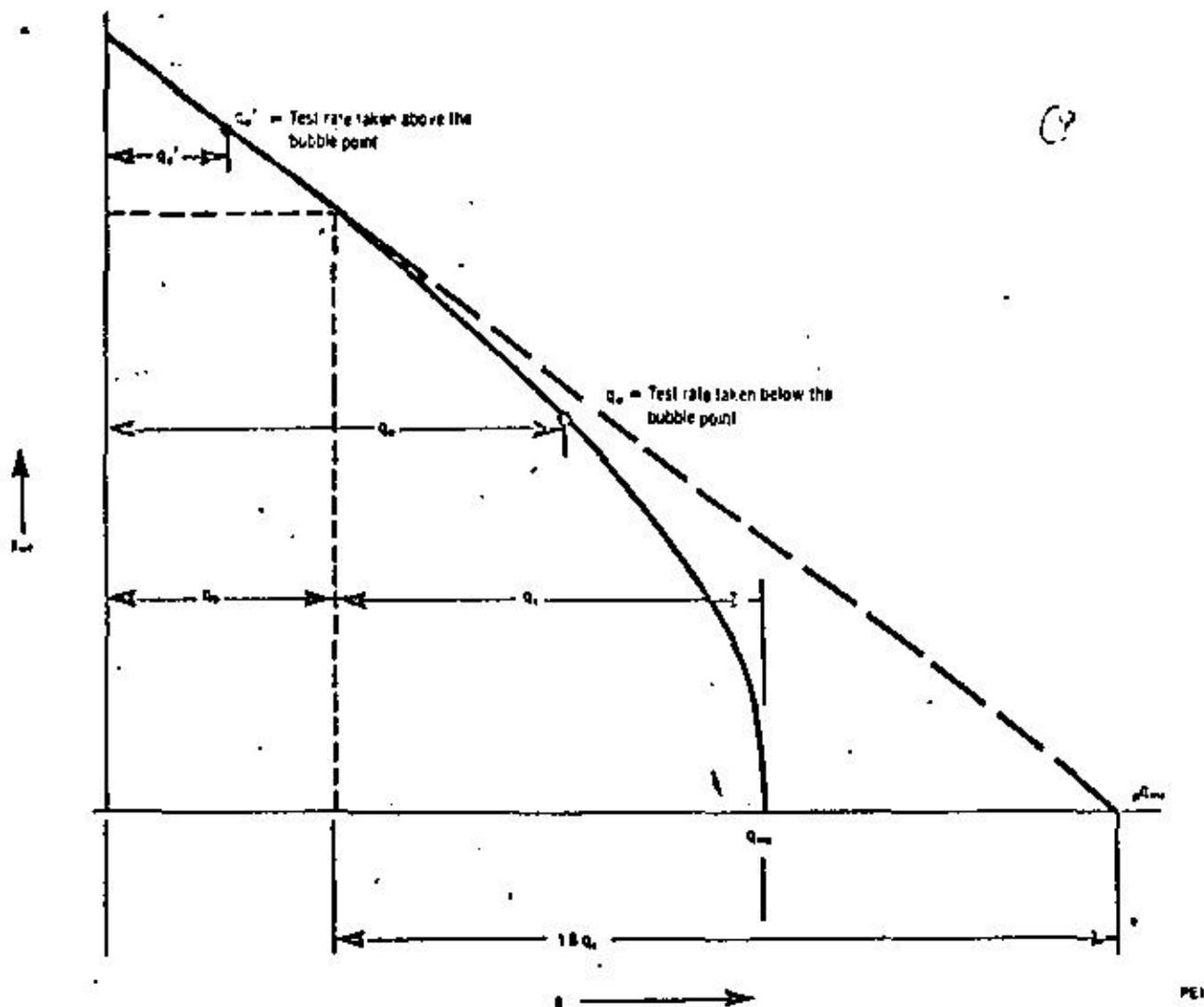


Fig. 1. Generalized IPR curve,  $p_s > p_b$ .

Defining the rate drawdown to the bubble point as

$$q_b = J_o (\bar{p} - p_b) \quad (6)$$

when

$$p_{wf} = p_b$$

and substituting Eq. 6 into Eq. 5 yields

$$\frac{q_s - q_b}{q_r} = 1 - 0.2 (p_{wf}/p_b) - 0.8 (p_{wf}/p_b)^2 \quad (7)$$

If the two functions of Eqs. 2 and 7 are continuous at  $p_b$ , the derivative of each at  $p_{wf} = p_b$  equals

$$\left. \frac{dq_s}{dp_{wf}} \right|_{p_{wf} = p_b} = -J_o \quad (8)$$

or

$$-0.2 q_r / p_b - (1.6 q_r / p_b^2) p_b = -J_o = q_b / (\bar{p} - p_b) \quad (9)$$

Solving Eq. 9 for  $q_b$

when  $\bar{p} > p_b$

$$q_b = 1.8 (\bar{p}/p_b - 1) q_r \quad (10)$$

$$q_c = q_b / [1.8 (\bar{p}/p_b - 1)] \quad (10a)$$

A useful term to refer to is  ${}_p q_{ms}$  (pseudo- $q_{ms}$ ), the pseudoabsolute open flow obtained by extending the straight line P1 below the bubble point to  $p_{wf} = 0$ .

From similar triangle relations (Fig. 1), we can write

$${}_p q_{ms} - q_{ms} = J_o \bar{p} - q_b - q_c \quad (11)$$

$$= q_b (\bar{p}/(\bar{p} - p_b) - 1) - q_c \quad (11a)$$

$${}_p q_{ms} = q_b (\bar{p}/(\bar{p} - p_b) - 1) - q_c \quad (11b)$$

Substituting Eq. 10 into Eq. 11 yields

$$q_{ms} = {}_p q_{ms} - 0.8 q_c \quad (12)$$

Solving Eq. 7 for  $q_c$  with respect to  $q_b$  and  $q_r$ , we obtain

$$q_c = q_b / [1.8 (\bar{p}/p_b) - 0.8 - 0.2 (p_{wf}/p_b) - 0.8 (p_{wf}/p_b)^2] \quad (13)$$

If we set  $\bar{p} = p_b$ , Eq. 13 becomes Eq. 1, the Vogel equation, and  $q_c = q_{ms}$ .

Recall that

$$q_{ms} = q_b + q_c \quad (14)$$

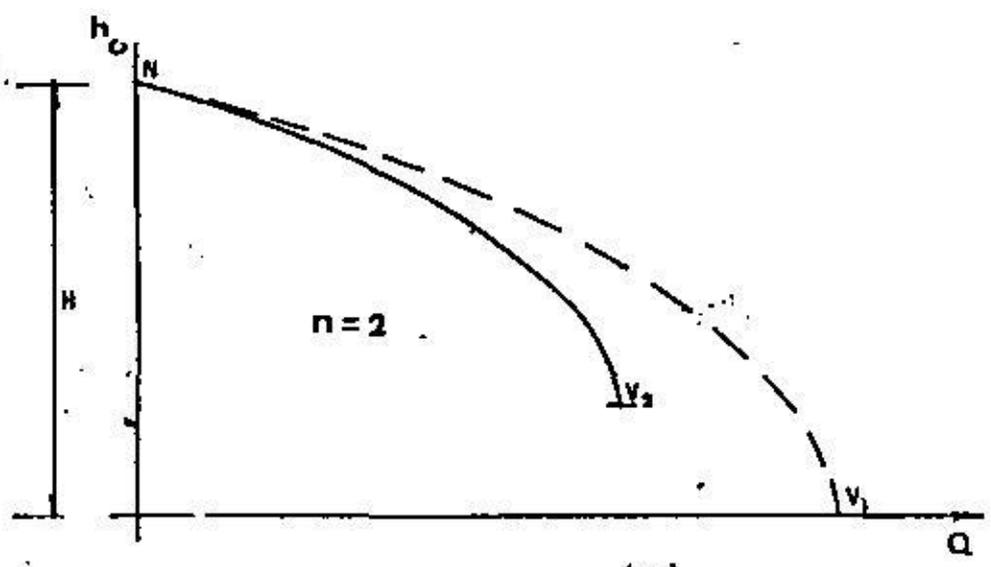
and substituting  $q_c$  from Eq. 13 to Eq. 14 results in

$$q_{ms} = q_b + ({}_p q_{ms} - q_b) / 1.8 \quad (15)$$

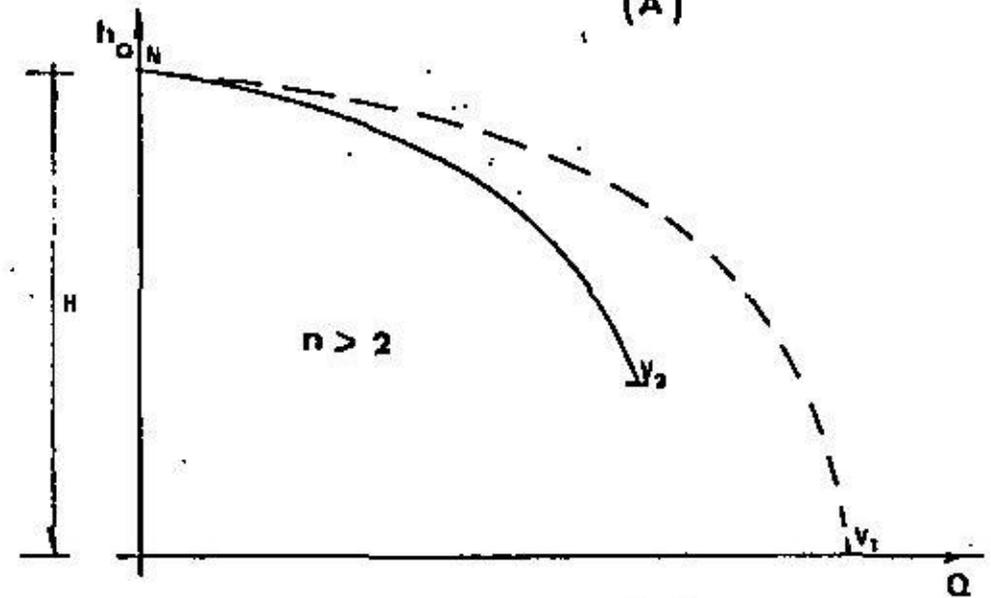
From Eqs. 10, 12, and 15, two other important relationships are derived:

$$q_{ms}/q_b = \frac{1.8(\bar{p}/p_b) - 0.8}{1.8(\bar{p}/p_b) - 1.8} \quad (16)$$

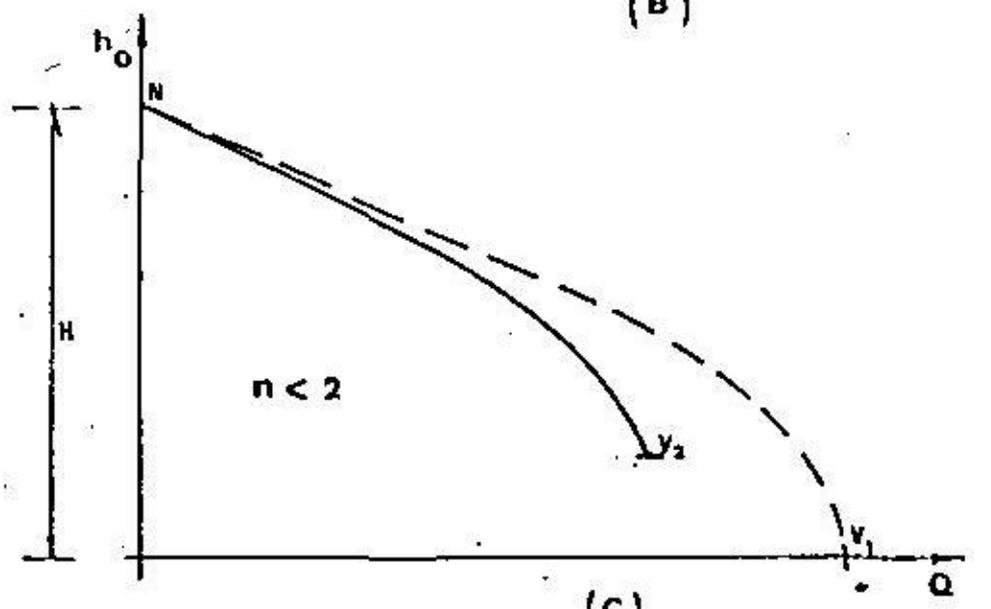
$$q_{ms}/{}_p q_{ms} = \frac{1.8(\bar{p}/p_b) - 0.8}{1.8(\bar{p}/p_b)} \quad (17)$$



(A)



(B)



(C)

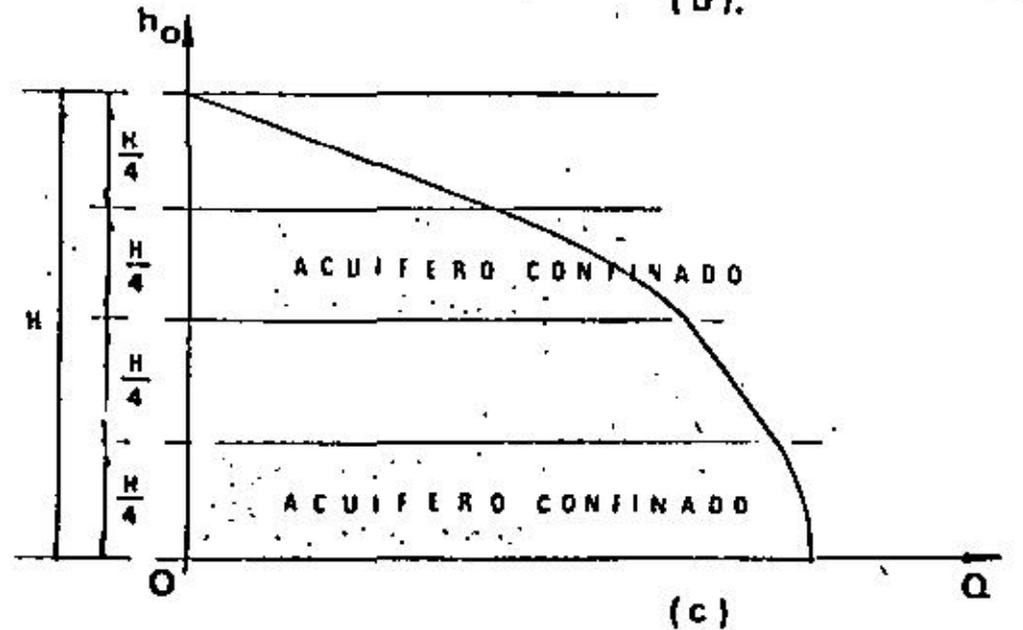
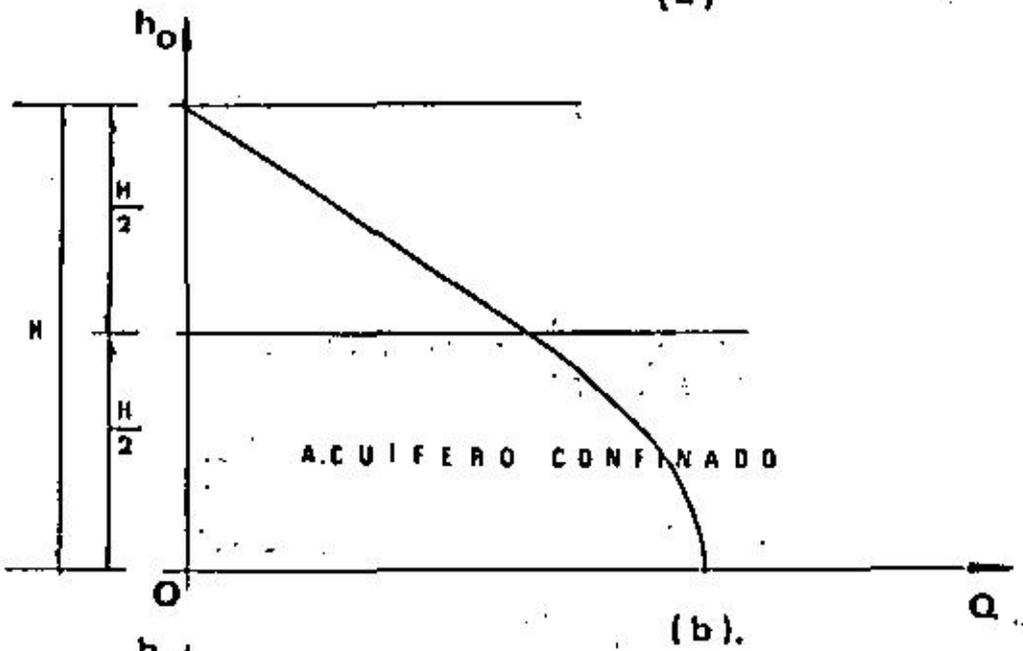
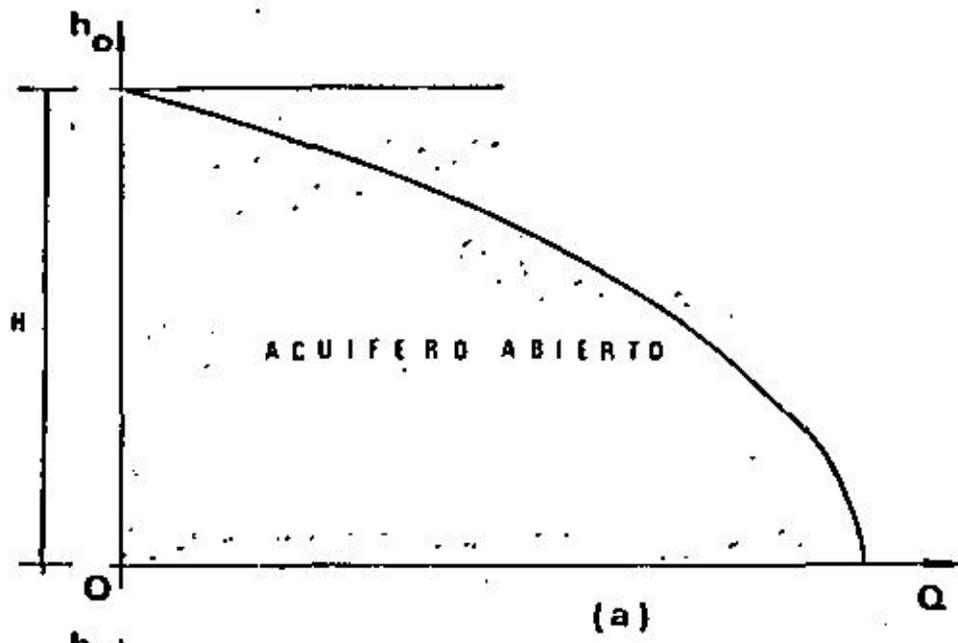


Lámina 3.3.1

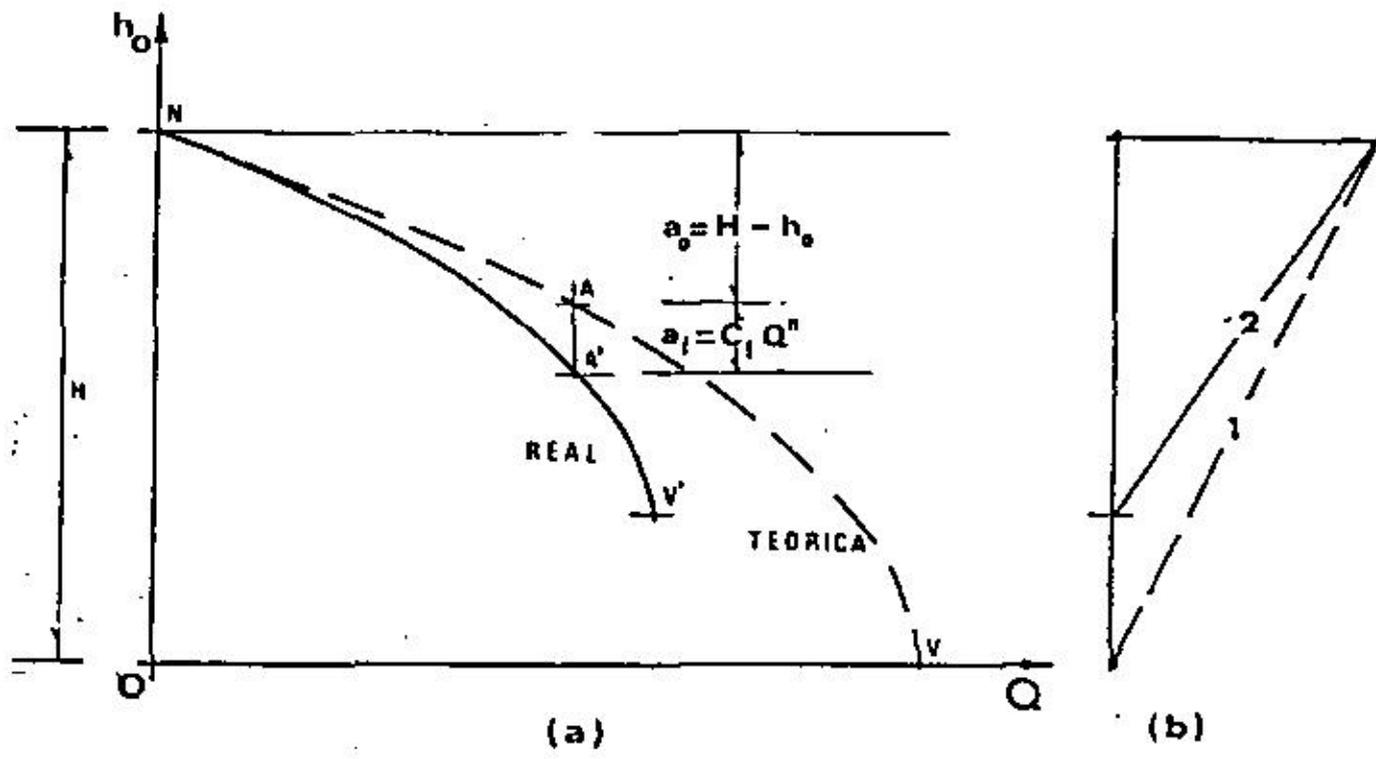
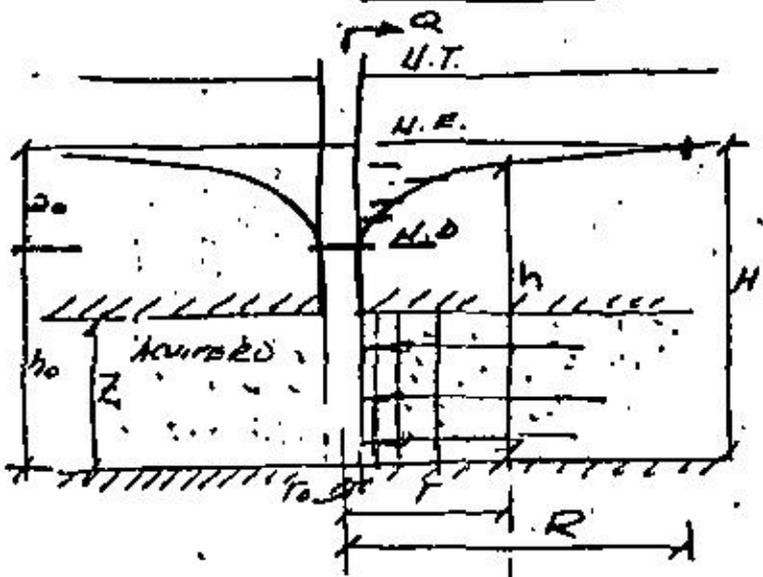
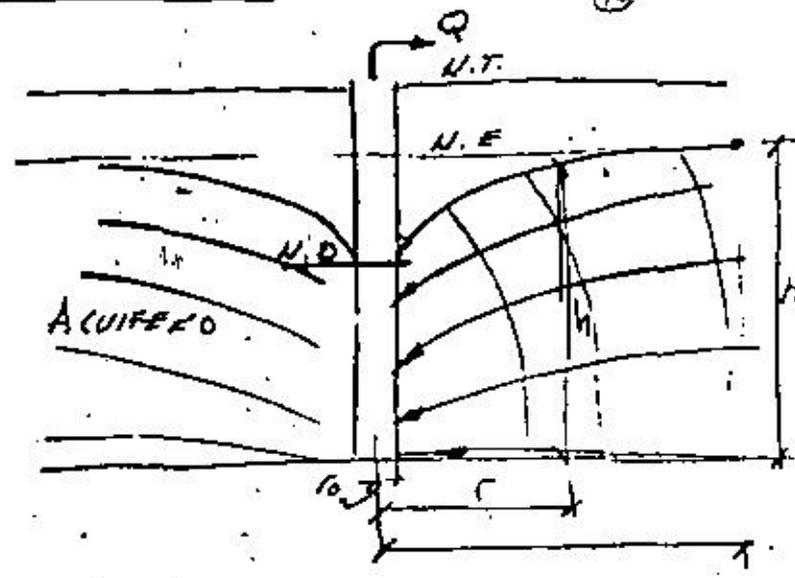


Lámina 3.4.1

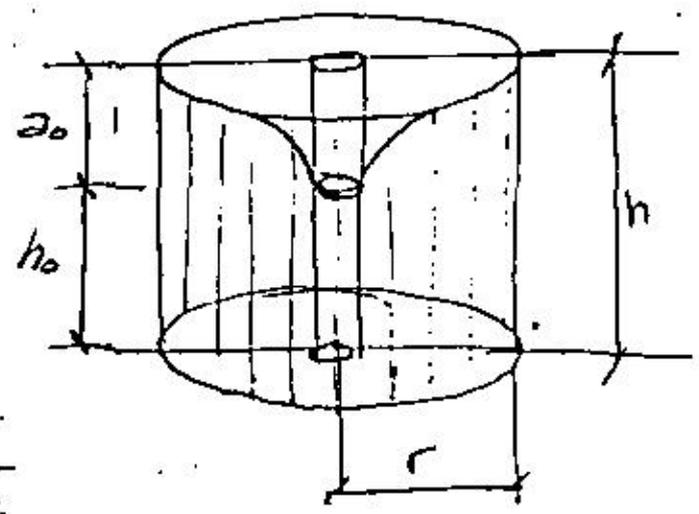
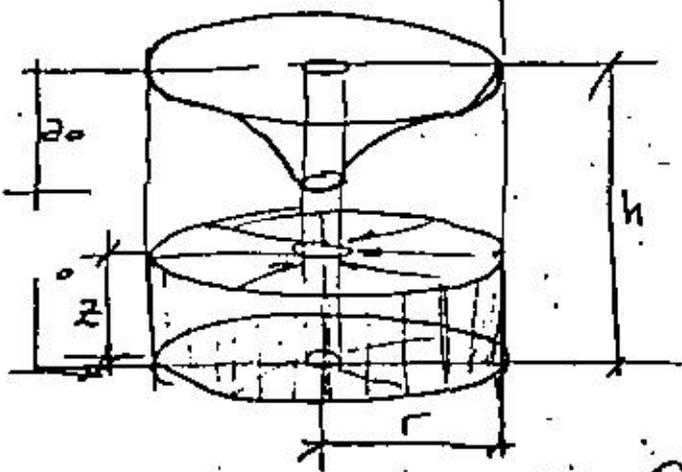
# HIDRAULICA DE LOS POZOS



ACUIFERO CONFINADO



ACUIFERO LIBRE



$Q = A v$   
 $v = k \frac{dh}{dr}$   
 $k = \text{Coef. Perm.}$

$A = 2\pi r h$

$A = 2\pi r z$

$Q = 2\pi r z k \frac{dh}{dr}$

$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi k z \int_{h_1}^{h_2} dh$

$Q L \ln \frac{r_2}{r_1} = 2\pi k z (h_2 - h_1)$

Tomando limites  
 $r_1 = r_0$     $h_1 = h_0$   
 $r_2 = R$     $h_2 = H$

Y sustituyendo  
 $H - h_0 = a_0$

$Q = \frac{2\pi k z a_0}{L R / r_0}$

$Q = 2\pi k r h \frac{dh}{dr}$

$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi k \int_{h_1}^{h_2} h dh$

$Q L \ln \frac{r_2}{r_1} = 2\pi k \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{2}$

Tomando limites.  
 $r_1 = r_0$     $h_1 = h_0$   
 $r_2 = R$     $h_2 = H$

$Q = \frac{\pi k (H^2 - h_0^2)}{L R / r_0}$

$Q = \frac{\pi k (H + h_0) a_0}{L R / r_0}$

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- |   |   |
|---|---|
| 1. JULIO CESAR AGUILAR GARCIA<br>Coahuila No. 120 D-1<br>Col. Roma<br>México, D. F.<br>Tel: 5-84-41-88                                    | INDUSTRIA DEL HIERRO, S. A. de C.V.<br>Guanajuato No. 163<br>Col. Roma<br>México, D. F.<br>Tel: 5-84-41-88  |
| 2. AGUSTIN AMEZQUITA CANDELLER<br>Cerro Boludo No. 11-7<br>Col. Campestre Churubusco<br>Deleg. Coyoacán<br>C.P. 04200<br>México, D. F.    |   |
| 3. JOSE AMIGA JASQUI<br>Luis Vives 210 No. 301<br>Col. Polanco<br>Deleg. Miguel Hidalgo<br>C.P. 11570<br>México, D. F.<br>Tel: 5-40-05-99 | PERFORACIONES Y ESTUDIOS DEL SUBSUELO<br>Godsmith 37 No. 302<br>Col. Polanco<br>Deleg. Miguel Hidalgo<br>C.P. 11570<br>México, D. F.<br>Tel: 5-20-78-02                       |
| 4. JORGE ESTEBAN ATHALA MOLANO<br>Marsella No. 24-12<br>Col. Juárez<br>Deleg. Cuauhtémoc<br>C.P. 06600<br>México, D. F.                   | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULI-<br>COS<br>Av. San Bernabe No. 549<br>San Jerónimo Lidice<br>Deleg. Contreras<br>C.P. 10200<br>México, D. F.<br>Tel: 5-95-44-53 |
| 5. ARTURO BRAMBILA  | S.E.D.U.E.<br>Vallarta 5-3er. Piso<br>Tabacalera<br>México, D. F.<br>Tel: 5-66-97-81  |
| 6. IVAN DARIO BUSTAMANTE BARRERA<br>Guadalupe Posadas No. 15<br>Col. ISSSTE<br>Mpio. Texcoco, México<br>C.P. 56230                        | UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO<br>Conocido<br>Chapingo<br>Edo. de México<br>C.P. 56230   |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
7. JOSE CABRERA CABRERO Vista Hermosa No. 675 Col. Jardín San Luis Potosi, S. L. P. Tel: 3-16-94	PERFORACIONES CABRERA, S.A. Constitución No. 2560 San Luis Potosi, S. L. P. Tel: 5-20-58
8. IGNACIO CALDIÑO VILLAGOMEZ Calle 14 Manzana 171 Lote. 1987 Zona Urbana Ejidal de Iztapalapa Deleg. Iztapalapa C.P. 09310 México, D. F. Tel: 6-86-1863	DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA San Antonio Abad Deleg. Cuauhtémoc México, D. F. Tel: 5-78-32-18
9. JUAN CARLOS CAMACHO CONTRERAS Quintana Roo No. 917 Col. Juárez Morelia, Mich. Tel: 2-66-88	S.F.R. GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACAN Arriaga Rivera No. 586 Col. Nva. Chapultépec Morelia, Mich. Tel: 5-72-46
10. VICTOR ALFONSO CAMACHO México, D. F.	I.C.A. DIVISION DE EMPRESAS DE INGENIERIA "METRO" México, D. F.
11. BERNARDO CAMPOS HERNANDEZ Puente de Tecamachalco No. 26 Lomas de Chapultepec México, D. F. Tel: 5-40-15-15	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Puente de Tecamachalco No. 26 Lomas de Chapultepec México, D. F. Tel: 5-40-34-00
12. LUIS GERARDO CASTILLO MACIEL Corregidora 1229 Centro Morelia, Mich. Tel: 2-13-50	SECRETARIA DE FOMENTO RURAL Boulevard García de León 914 Chapultepec Ota. Morelia, Mich. Tel; 4-78-17
13. MIGUEL CORDOVA BOLAINA Independencia No. 17 Comalcalco, Tab.	PETROLEOS MEXICANOS Domicilio Conocido Comalcalco, Tab.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
14. ARMANDO DAZA MAYA Av. San Antonio No. 331-4 San Pedro de los Pinos Deleg. Benito Juárez C.P. 03800 México, D. F. Tel: 5-98-58-96	S.A.R.H. ( AUDITORIA ) Av. San Antonio Abad No. 32-15o.Piso Col. Tránsito México, D. F. Tel: 5-42-46-57
15. CRUZ DE LA CRUZ MOLINA R. Coatzacoalcos, Veracruz Tel: 2-42-85	PETROLEOS MEXICANOS Coatzacoalcos, Veracruz Tel: 2-23-38
16. HERMILO DIAZ BALTISTA Av. 414 No. 219 S.J. Aragón Deleg. Gustavo A. Madero México, D. F. Tel: 5-76-58-39	INSTITUTO AURIS Parque Orizaba No. 7 Naucalpan, Edo. de México Tel: 5-76-58-39
17. HAZAEL DIAZ LEON Calle 7 No. 4 Col. Lomas Tlaxcala, Tlax. Tel: 2-27-68	CIA. PERFORADORA MEXICO Via. Morelos No. 36 México, D. F. Tel: 3-69-30-81
18. FELIPE DE JESUS ESPINOSA VALDEZ Norte Gza. No. 3724 Río Blanco Deleg. Gustavo A. Madero C.P. 0877 México, D. F. Tel: 7-60-87-82	INGENIERIA Y PROCESAMIENTO ELECTRONICO,S.A. San Lorenzo 153 60o. Piso Col. del Valle Deleg. Benito Juárez México, D. F.
19. NICANOR GALLEGOS MAGANA Tuxtepec No. 21 Independencia No. 17 México, D. F.	PETROLEOS MEXICANOS Villahermosa, Tabasco

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
20. ENRIQUE GALINDO CERNICHLARO Cienega No. 42 Pastores Echejaray México, D. F. Tel: 5-60-15-42	PETROLEOS MEXICANOS Marina Nacional No. 356 Santa Julia Tel: 2-58-21
21. JOSE LUIS GARCIA CABRERA Justo Sierra No. 93 Lazaro Cárdenas Agua Dulce, Veracruz Tel: 3-06-90	PETROLEOS MEXICANOS Int. de la Colonia Petrolera en Agua Dulce, Veracruz
22. RAUL YDEFONSO GARCIA RODRIGUEZ Cerro Gordo 11 Depto. 7 Col. Campestre Churubusco Coyoacán C.P. 04200 México, D. F.	
23. ADAN JASSO ESTRADA Progreso No. 219 Bis Depto. 1 Col. Escandón Deleg. Miguel Hidalgo México, D. F. Tel: 2-77-82-64	CIA. PERFORADORA MEXICO, S. A. Via. Morelos No. 360 Sta. Clara, Estado de México México, D. F. Tel: 5-69-30-81
24. JESUS JUAREZ AMBRIZ Av. 579 No. 16 U. San Juan de Aragón G. A. Madero C.P. 07920 México, D. F. Tel: 7-96-47-46	DIRECCION GENERAL DE OPERACION HIDRAULICA D.D.F. Cda. Tlalpan No. 231 Col. Obrera Deleg. B. Juárez México, D. F.
25. RAFAEL LOPEZ LEON Legaria No. 252 Col. Pensil Deleg. Tacuba México, D. F. Tel: 3-99-69-22 Ext. 237	ISTIME, S. A. Legaria No. 252 Col. Pensil Deleg. Tacuba México, D. F. Tel: 3-99-69-22 Ext. 237

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
26. DONATO LOYO MARTINEZ Av. Rufino Blanco Fombana No. 2524-35 Col. Villa de Cortes C.P. 03530 México, D. F.	S.E.D.U.E. ( DIRECCION GENERAL DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO ) Vallarta No. 5-301 Col. Cuauhtémoc C.P. 06030 México, D. F. Tel: 5-46-81-86
27. FERNANDO MARTINEZ CHAVEZ Jacarandas 83 Cd. Jardín Coyoacán México, D. F. Tel: 5-49-86-14	QUINTA QUINIO San Luis de la Paz, Gto.
28. ANTONIO MARTINEZ LEON Brunella Lote J. Mz. 26 Jardines de Durango C.P. 34200 Durango, Dgo. Tel: 2-90-62	URBA DURANGO CONSTRUCCIONES, S.A. de C.V. Bruno Martínez 239 Nte. C.P. 34000 Durango, Dgo. Tel: 2-31-55
29. JUAN MANUEL MEDINA RODRIGUEZ Universidad 1953 Edif. 37-402 Col. Copilco Deleg. Coyoacán México, D. F. Tel: 5-50-98-64	DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA, S.P.P. San Antonio Abad 124-3er. Piso Col. Tránsito México, D. F. Tel: 5-88-77-06
30. FLORENTINO MEJIA CHAVEZ Miguel Angel de Quevedo 1078-2 Parque San Andrés Coyoacán México, D. F. C.P. 04040	FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM Ciudad Universitaria México, D. F. Tel: 5-50-52-15 Ext. 3735
31. JOSE MIGUEL MONTOYA RODRIGUEZ Calle 30 No. 70 Col. Olivar del Conde DELEG. Alvaro Obregón C.P. 01400 México, D. F. Tel: 6-51-32-07	ENEP-ARAGON

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
32. JAVIER MORENO CARREON Nueces No. 63 Col. Prados Ecatepec Edo. de México	SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA Vallarta No. 5-3o. Piso San Rafael Deleg. Cuauhtémoc México, D. F. Tel: 5-66-46-39
33. CARLOS ANTONIO OCHOA CURIEL Zarco 149-10 Col. Guerrero Deleg. Cuauhtémoc México, D. F.	DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS San Antonio Abad No. 1 Col. Obrera México, D. F. Tel: 5-78-32-18
34. ARMANDO OLIVARES LOPEZ Bernal Díaz del Castillo No. 225 Col. Chapultepec Norte Morelia, Michoacán Tel: 4-57-68	SECRETARIA DE URBANISMO Y OBRAS PUBLICAS Libramiento Sur s/n Morelia, Michoacán Tel: 4-00-71
35. JAVIER ORIHUELA GARCIA Independencia No. 308 Tlaquiltenango, Edo. de Morelos Tel: 2-22-05	DIRECCION DE EDUCACION TECNOLOGICA AGROP. S.E.P. Conjunto Pino Suárez México, D. F.
36. GUILLERMO JUVENTINO PEÑA SUSTATTA Bajío 53-10 Col. Roma Sur México 7, D. F. Tel: 5-64-69-96	S.A.R.H. DIRECCION GENERAL DE AUDITORIA INTERNA San Antonio Abad 32-15o. Piso Col. Tránsito México 8, D. F.
37. RAYMUNDO PIMENTEL GARCIA México, D. F.	PETROLEOS MEXICANOS México, D. F.
38. ANASTACIO QUEZADA ARIAS Quintana Roo No. 547 Centro Morelia, Mich. Tel: 2-40-58	SECRETARIA DE FOMENTO RURAL Boulevard García de León 914 Chapultepec Ote. Morelia, Mich. Tel: 4-78-17

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
39. VICTORINO QUINTANA POSADAS	CIA. PERFORADORA MEXICO, S. A. Insurgentes Sur 432 Deleg. Benito Juárez México, D. F. Tel: 5-74-01-22
40. HUMBERTO REYES BERMUDEZ Masagua 6-5 Col. Lindavista Deleg. G. A. Madero C.P. 07300 México, D. F.	SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA Vallarta 5-3er. Piso Col. Tabacalera México, D. F. Tel: 5-66-97-81-71
41. RAMON RIOS RIVERA Sta. Rosa de Lima No. 4379 Camino Real Guadalajara, Jal. Tel. 22-69-67	PERFORACIONES TERRESTRES Fernando de Tapia No. 35 Querétaro, Qro. Tel: 4-31-05
42. ROBERTO RIVAS AGUILAR Colina de Hernán No. 41 Col. Boulevares Naucalpan, México C.P. 53140 México, D. F. Tel: 5-72-04-25	
43. GERARDO ROMERO CORREA Salaverry No. 1075-2 Col. Lindavista Deleg. G. A. Madero C.P. 07300 México, D. F. Tel:	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAU- LICOS Plaza de la República No. 31-8o. Piso Col. Tabacalera C.P. 06030 México, D. F. Tel: 5-46-49-09
44. JULIO ROQUE SANTIAGO Edisón 183-B-307 Col. San Rafael México, D. F. Tel: 5-92-38-19	PETROLEOS MEXICANOS Nanchital, Ver. Tel: 6-04-56

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
45. JUAN ANTONIO ROSALES GUZMAN Fray Servando T. M. 906-E_102 Col. J. Balbuena Deleg. V. Carranza C.P. 15900 México, D. F. Tel: 5-78-32-18	DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA San Antonio Abad 231 Col. Obrera México, D. F. Tel: 5-71-58-34
46. RICARDO ROSALES LAM Carlos González No. 505 Col. Ribereña Cd. Teynosa, Tam. Tel: 3-67-73	PETROLEOS MEXICANOS Blud. Lázaro Cárdenas C/Blud. Morelos Cd. Reynosa, Tam. Tel: 2-78-22
47. RUBEN SACRAMENTO BROHEZ Sauce 105 Col. Altavista Tampico, Tamps. Tel: 3-59-23	PETROLEOS MEXICANOS Cesar López de Lara 202 Tampico, Tamps.
48. SERGIO SANCHEZ TAPIA Miguel Cabrera No. 287 Centro Morelia, Michoacán	SECRETARIA DE URBANISMO Y OBRAS PUBLICAS Libramiento Sur s/n Morelia, Michoacán Tel: 4-00-71
49. JOSE ALFREDO SANDOVAL ROBLES Tezontle No. 101 "INFONAVIT" Col. Iztacalco Deleg. Iztacalco México, D. F. Tel: 6-57-97-19	S.P.P. SUBDIRECCION DE GEOHIDROLOGIA San Antonio Abad No. 124-3 Col. Tránsito México, D. F. Tel: 5-88-77-06
50. RAYMUNDO SOTO ALVAREZ Juan de Dios Arias No. 4-3 Deleg. Cuauhtémoc C.P. 06860 México, D. F.	FOVISSSTE Miguel Noreña No. 28 San José Insurgentes México, D. F. Tel: 6-80-36-77

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
51. PABLO SIMON DOMINGUEZ Casa No. 4 Col. Pemex Ciudad Pemex, Tab.	PETROLEOS MEXICANOS Domicilio Conocido Col. Pemex Ciudad Pemex, Tab.
52. FELIPE DEL VALLE YARZA Dr. Nabor Carrillo No. 155-19 Col. Olivar de los Padres Deleg. Alvaro Obregón C.P. 01780 México, D. F. Tel: 5-95-40-54	
53. JUAN DEL VALLE YARZA Dr. Nabor Carrillo No. 155 Col. Olivar de los Padres Deleg. Alvaro Obregón C.P. 01780 México, D. F. Tel: 5-95-40-54	ASESORA Y PROMOTORA EN PERFORACION, S.A. Iglesia No. 2 Jardines del Pedregal Deleg. Alvaro Obregón México, D. F.
54. ROBERTO VALENCIA HERNANDEZ Fco. de los Angeles No. 93 Vasco de Quiroga Deleg. Gustavo A. Madero C.P. 07440 México, D. F.	SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA Reforma No. 77-90. Piso México, D. F.
55. JOSE GERARDO VAZQUEZ FIGUEROA Cuauhtémoc No. 7 Villa de Arista, S.L. P. Tel: 30	PERFORACIONES SILAO Juárez y Cuauhtémoc Villa de Arista, S.L.P.
56. MARIO VELAZQUEZ LLORENTE Calle 13 No. 1 Col. San José Vista Hermosa Puebla, Pue. Tel: 48-24-22	PERFORACIONES Y GEOLOGIA, S. A. de C.V. Ave. Hermanos Serdán 333 Puebla, Pue. Tel: 48-25-81

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
( DEL 9 AL 13 DE ABRIL DE 1984 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
57. FELIPE VELAZQUEZ MARTIN Rincón del Molino No. 117 B.R. del Sur Xochimilco C.P. 16010 México, D. F. Tel: 6-76-71-86	CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA,S.A C.B. Zetina 116-20. Piso Deleg. Hidalgo México, D. F. Tel: 5-15-02-76
58. CARLOS WILLIAMS ROJAS Abasolo No. 480-3 Ota. Torreón, Coah.	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Puerto Principe 489 Col. Nva. San Isidoro Torreón, Coah. Tel: 7-38-04

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

PROGRAMA DEL CURSO : PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
QUE SE IMPARTIRA DEL 9 AL 13 DE ABRIL

DE 198

FECHA	HORARIO	T E M A	P R O F E S O R
Lunes 9 de Abril	9 - 13.30	LOCALIZACION, GEOLOGIA, GEOHIDROLOGIA	Ing. Jorge A. Trujillo Candelaria
	13.30 - 15	COMIDA	
	15 - 16.30	GEOFISICA	Ing. Ramundo Vignatiel Combas
Martes 10 de Abril	16.30 - 18	REGISTROS ELECTRICOS	Ing. Luis Lara Trujillo
	9 - 11.15	SELECCION DE EQUIPOS DE PERFORACION	Ing. José Felipe Yruarte Oliva
	11.30 - 13.30	SISTEMAS DE PERCUSION Y PASCAS	Ing. Rafael Jiménez Graudon
Miércoles 11 de Abril	13.30 - 15	COMIDA	
	15 - 18	PERFORACION ROTARIA	Ing. Ernesto Requena
	9 - 11.15	SISTEMA NEUMATICO	Ing. Andrés Benlón Cuallar
Jueves 12 de Abril	11.30 - 13.30	PRUEBAS DE BOMBEO	Ing. Rubén Chávez Guillen
	13.30 - 15	COMIDA	
	15 - 18	POZOS Y AGUIFEROS	Ing. Gilberto Nara Oaia
Viernes 13 de Abril	9 - 15	AFOROS	Ing. Gilberto León Martínez
	11.30-13.30	PRECIOS UNITARIOS	Ing. Eduardo Martínez González
	13.30 - 15	COMIDA	
Viernes 13 de Abril	15 - 18	DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS DE BOMBEO	Ing. Luis Matus Zárate
	9 - 11.15	EQUIPOS ELECTRICOS	Ing. Leandro Montes Larios
	11.30 - 13.30	INSTRUSION SALINA, NORMA DE CALIDAD	Ing. Juan Manuel Joberg Illades
	13.30 - 15	COMIDAS	
	15 - 18	MESA REDONDA, CLAUSURA	



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

GEOLOGIA Y GEOHIDROLOGIA

ING. JORGE A. TRUJILLO CANDELARIA

ABRIL, 1984

## GEOLOGIA Y GEOHIDROLOGIA

De acuerdo con el objetivo principal del presente curso, de Perforación de Pozos para Agua, y los diferentes temas que lo complementan; versando fundamentalmente sobre: Geología; Geohidrología; Exploración de aguas subterráneas; propiedades hidráulicas de las formaciones acuíferas; -- -- evolución de su potencial productor; análisis, revisión y empleo adecuado -- de los dispositivos mecánicos, equipos, procedimientos y elementos, con los cules debe concebirse, proyectarse y construirse, una captación para la extracción de aguas aprovechables del subsuelo, como fuente de usos múltiples, un POZO PARA AGUA representa, la culminación ó meta de un proceso irremediablemente técnico, de aplicación, de diversos principios de la Ingeniería, conectados esencialmente con la Geología, la Hidrología y la Electromecánica.

La Geología y la Hidrología, conforman los fundamentos básicos, del conjunto de conocimientos esenciales que comprende la Geohidrología ó Hidrogeología, como también se denomina a esta importante rama de la Inge-- niería. Recibe tales calificaciones, en atención a la preponderancia de apreciación, que tienen ambas materias de conocimiento, en sus objetivos prominentes de aplicación, como son, la exploración y captación de aguas subterráneas y, -

su explotación. Esta aparente distinción, se aprecia también, de acuerdo a las especialidades, en la formación profesional técnica, que concurren al estudio de los diversos problemas que se presentan <sup>en dicha rama</sup> y en la consecución de dichos objetivos, cuya descripción puede resumirse como sigue:

Reconocimientos preliminares:

a) Examinar, analizar y determinar las características fisiográficas, geológicas y climatológicas, de zonas que puedan ser calificadas como: zonas de posibilidades favorables para la presencia de aguas subterráneas, o bien, constituir cuencas acuíferas, de amplia o reducida magnitud, en relación a los problemas de esta índole que se presentan como demandas para producir dictámenes técnicos sobre dichas posibilidades.

Estudios geológicos:

Continuar lo anterior por medio de los métodos de observación geológica directa y con el auxilio de la fotogeología, que puedan ser complementados con otros procedimientos exploratorios como los geofísicos, tendientes a obtener la mayor información, accesible y confiable, sobre la probable presencia de rocas o formaciones contenedoras y almacenadoras de aguas subterráneas. Debe, además, investigarse si éstas tienen acceso, por infiltraciones de lluvias sobre medios permeables bajo corrientes o cuerpos de agua naturales o artificiales que propicien su movimiento hacia el subsuelo en volúmenes renovables.

Es pues necesario aplicar los conceptos inherentes a la geología sobre la presencia, disposición, amplitud, características litológicas o sedimentológicas de origen, procesos, edad y estructuras geológicas, que determinan las condiciones que se consideren como favorables para la existencia de una cuenca acuífera.

#### Observaciones complementarias:

Por otra parte, en los reconocimientos y recorridos de campo, es indispensable anotar observaciones, registros e investigaciones sobre manantiales, excavaciones, pozos, norias, galerías, u otras captaciones, con agua, si existen en las zonas, definiendo su posición y elevación, para su correlación con cuerpos superficiales de agua y fondos de valles o cuencas. Es necesario, además, verificar, en su caso, la contribución de alimentación que ceden las aguas subterráneas para el mantenimiento ó, incremento, de algunos ríos o corrientes, principalmente en aquellos que sostienen sus caudales de estiajes. Todo lo anterior, debe formar parte de una compilación indispensable de información en tu estudio geohidrológica.

#### Sondeos y pozos exploratorios:

Como finalidad de un estudio geohidrológica de cuyas conclusiones se determinan condiciones favorables para la presencia de aguas subterráneas, pueden ya programarse y, diseñarse, en términos generales, su alumbramiento mediante exploraciones o captaciones adecuadas, ya sean sondeos, excavaciones, norias, galerías o socavones, o bien, la más usual y común de ellas, o sea pozos exploratorios o de explotación.

En la selección y recomendación de la aplicación de los procedimientos de perforación, tipos de máquinas perforadoras para efectuarlos, - así como en el proyecto y diseño de su terminación, el geohidrológico debe considerar y estar al tanto, de los adelantos técnico-mecánico que se tienen disponibles actualmente en este campo, al servicio de la Ingeniería.

Dicha selección debe adaptarse a las características de los ro-

cas a perforar antes de penetrar a los niveles esperados de agua en los acuíferos y ya dentro de ellos, tomando en cuenta sus propiedades relativas con la: litología, grados de compactación ó cementación, estabilidad, dureza, permeabilidad, resistencia a la penetración, etc.; llevando registros sobre las manifestaciones o indicios de las profundidades posiblemente productoras, que puedan alcanzarse en el subsuelo. Hay que considerar, además, que dichos niveles pueden variar al prever que los acuíferos, en su etapa de exploración o de explotación, pueden ser del tipo libre ó confinado y, por lo tanto, sujetas a cargas hidroestáticas que, en ocasiones, pueden producir artefactismo brotante.

El primer objetivo de la Geohidrología, antes expuesto, que es, en síntesis, la exploración, puede resumirse en sus propósitos benéficos, como la función de ir buscando y descubriendo nuevas áreas para explotación de aguas subterráneas, susceptibles de desarrollo para zonas donde este recurso puede utilizarse en México como elemento productivo, muchas veces indispensable para la realización de proyectos agropecuarios o de abastecimientos urbanos, rurales, ó domésticos.

#### Regionalización de Acuíferos:

Con el fin de acondicionar mayores facilidades de ejercicio a los geohidrólogos mexicanos, la Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la SARH tiene formulada una regionalización de acuíferos en el país, tanto de los que están bajo explotación, como de aquellas nuevas áreas bajo exploración, con posibilidades de ser consideradas, en los nuevos programas de este índole, que en su ejecución deben abarcar mayores extensiones del territorio nacional, en donde no se cuenta con otras fuentes de agua, como elemento para

mente las magnitudes de los recargas que reciben dichos almacenamientos. También es recomendable condicionar las profundidades, amplitud, situación y distanciamiento en un patrón preliminar, de la localización de las primeras perforaciones de producción que se proyecten. Estas son indispensables para que de ellas se obtengan las observaciones sobre las configuraciones de los niveles estáticos y de bombeo en los acuíferos como información imprescindible para definir su comportamiento y funcionamiento en su explotación y aprovechamiento inicial y de desarrollo futuro.

#### Balanza Hidrológica:

Las primeras etapas de análisis en la evaluación de la magnitud de los recargas que alimentan una cuenca acuífera son configuradas, con un estudio, con la intervención indispensable de la Hidrología, mediante la aplicación del Ciclo Hidrológico, investigando y adaptando, un balance de su funcionamiento, acorde con las características fisiográficas, geológicas y climatológicas, de una cuenca acuífera. Para ello es necesario fijar, valores, con buen criterio y muchas veces en forma estimativa, considerando la abundante o escasa información que pueda obtenerse sobre los términos y factores que intervienen en la ecuación del ciclo hidrológico como son: volúmenes de precipitación de lluvias, evapotranspiración; volúmenes de aguas de escurrimiento superficial y finalmente volúmenes de infiltración, <sup>la determinación de este último término</sup> ~~presenta las mayores dificultades~~ <sup>porque</sup> ~~es necesario~~ <sup>es necesario</sup> tomar en cuenta muchos aspectos variables colaterales de la hidrología y la geología que solo pueden ser calculadas - prácticamente en forma estimativa.

Sin embargo, es siempre necesario realizar dicho balance hidrológico pues con su aplicación pueden apreciarse cuales son las aportaciones que por infiltración pueden alimentar una zona acuífera y, aunque este procedimiento como se ha dicho hincapié, no constituye un cálculo preciso, su consideración y análisis es siempre de auxilio muy apreciable como elemento de información preliminar para evaluar conservadoramente las disponibilidades productivas acuíferas de una cuenca geohidrológica sobre todo cuando su explotación y aprovechamiento se inicia con cierto número reducido de pozos, si éstos se aprovechan como dispositivos de observación y registro para emprender los estudios más formales y necesarios sobre su comportamiento y funcionamiento.

Actividades complementarias:

Actividades geológicas, también fundamentales, en un estudio geohidrológico de cuantificación del potencial productor de acuíferos, son los trabajos que se realizan para fijar las delimitaciones fisiográficas de la extensión de una cuenca y su posible comunicación subterránea con otras vecinas. - Colateralmente es necesario obtener la mayor información posible sobre las fronteras laterales y de fondo del monta o mantos acuíferos existentes y de su capacidad almacenadora, realizando, si es necesario, sondajes o perforaciones de exploración, para delimitar sus espesores medios y las variaciones que pueden presentarse en sus extensiones y configuraciones verticales y laterales.

Conocidas en forma amplia o parcial, por posibles limitaciones informativas, los elementos geológico-fisiográficos que conforman una cuenca acuífera, expuestas primeramente en la anterior exposición, y analizadas las

Este tema será motivo de disertación por otros profesores especialistas que participan en el curso, pero cabe señalar, finalmente, que los propósitos principales y benéficos de dichos modelos son los de fijar normas de control que permitan el aprovechamiento más útil y económico de las acuíferas a tiempos previsible o bien para conservar y preservar los recursos de aguas subterráneas, en cantidad y calidad, como un patrimonio nacional mexicano para el presente y para el futuro.

## De Acuíferos

**ACUÍFEROS REGIONALES.** El Territorio Nacional presenta una gran variedad de características geohidrológicas determinantes para la exploración y aprovechamiento de sus aguas subterráneas incluyendo acuíferos de extensión prácticamente nacional, identificables con las calizas cretácicas de la Sierra Madre Oriental y otras de edad más joven en la Península de Yucatán y los depósitos lacustres y aluviales de las denominadas cuencas terciarias, que se encuentran en grandes extensiones del Altiplano Central del país.

Las estructuras de rocas acuíferas calizas, en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, en cordilleras y serranías de la parte norte desértica de la Meseta Central y hacia las Sierras de Oaxaca y Chiapas, forman, en muchos lugares, receptáculos almacenadores explotables situados a más de 2,000 metros sobre el nivel del mar. Estas calizas han sido ya explotadas con tal amplitud que actualmente es posible proponer programas de desarrollo hacia muchas zonas nuevas del país.

Objetivo colateral a la exploración nacional de acuíferos regionales lo constituye el programa que se está llevando a cabo, a partir de 1973, con las investigaciones y comprobaciones exploratorias, para definir la extensión y localización de otro tipo de rocas, de orígenes lacustres y aluviales, que son los denominados Depósitos Terciarios que, como ya se señaló, se encuentran esparcidos en toda la República, desde Chihuahua hasta Oaxaca.

La delimitación de las extensiones de estos Sedimentos Terciarios, es muy importante pues, en algunos casos se comportan como acuíferos permeables productores, que subyacen a otros mantos acuíferos más recientes y en otros casos, funcionan como sellos confinantes, sobre acumulaciones de aguas subterráneas, sujetas a presiones hidrostáticas con artesianismo.

La extensión de este tipo de acuíferos, que muchas veces está cubierta por acumulaciones de rellenos de acarreo más recientes, o por derrames de lavas volcánicas que forman serranías y elevaciones topográficas, que delimitan orográficamente parteaguas y divisorias, como valles y cuencas, y que sin embargo no constituyen, necesariamente, límites geohidrológicos de unidades separadas tectónicamente. Esta situación, para los acuíferos de tipo regional, como los terciarios y los de calizas cretácicas, respectivamente, intercomunicadas en su extensión, por debajo de parteaguas fisiográficos locales, determina, en muchos casos, que las recargas de alimentación y el flujo de sus aguas pase de una a otra cuenca o valle, lo cual significa que, para los efectos de computar extensión, cuantificación y disponibilidad de aguas explotables, en esos almacenamientos, se requiere de un nuevo enfoque en las consideraciones de sus características geohidrológicas, distinto del modelo conceptual que tradicionalmente se les venía aplicando en el país.

Se han seguido desarrollando también programas de exploración y captación, sobre otros acuíferos más conocidos, de edad geológica más joven, identificables como de Aluviones Recientes que contienen depósitos permeables de gravas y arenas, presentes en muchas cuencas y valles del centro del país y principalmente hacia las Planicies Costeras del Golfo y Pacífico.

Los avances logrados debido a la regionalización de acuíferos, delimitan zonas con presencia de aguas subterráneas explotables en lugares que tradicionalmente habían sido calificadas como improductivas. También se ha hecho evidente una mayor disponibilidad de agua para algunas zonas de la República, donde su cuantificación se basa en recargas limitadas por los parteaguas fisiográficos, mismas que han tenido que ser aumentadas, en consideración a la extensión que, en muchos lugares, tienen los acuíferos de tipo regional.

# ACUÍFEROS

## En Aluviones Recientes

Los mantos de aguas subterráneas, pertenecientes a este grupo, se han diferenciado, atendiendo a sus características de geología, origen y edad, como aluviones de rellenos depositados y acumulados en valles, cuencas, planicies costeras y deltáicas, diseminadas en muchas porciones del país, como puede verse en el plano opuesto.

Estos sedimentos están constituidos por mantos de gravas, arenas y arcillas, que fueron depositadas por las descargas de materiales acarreados por ríos y arroyos, en su desembocadura hacia valles y planicies de inundación.

La etapa de proceso geomorfológico durante la cual ha tenido lugar este fenómeno de erosión, arrastre y deposición, ha venido ocurriendo desde la iniciación del Período Cuaternario, hace 1 ó 2 millones de años, de acuerdo a la historia geológica del país, etapa que se ha caracterizado por la existencia de corrientes de gran capacidad erosiva y acumulación local de estos acarreos de aluvión, que en espesor, extensión y distribución, deben considerarse como de poca importancia.

**ACUÍFEROS IMPORTANTES EN RELENOS RECIENTES.** Se localizan en las planicies costeras del Océano Pacífico, de los Golfos de California, Tehuantepec y de México los lugares donde están siendo explotadas, son principalmente los siguientes: Depósitos deltáicos del Valle de Mexicali; Planicies de inundación de Ciudad Obregón, Son.; La Paz, B. C.; Bajo Río Bravo, Tamps.; Coahuacoalcos, Ver. y en el interior del país, se explotan acuíferos de este grupo, en algunas cuencas cerradas, como son, la Región Lagunera de Coahuila y Durango, en la cuenca del Valle de Mexico y en los Valles Centrales de Oaxaca.

# ACUÍFEROS REGIONALES En Cuencas Terciarias

**TERCIARIO CONTINENTAL.** Durante el período de la historia geológica de México, denominado Terciario, se depositaron en grandes áreas, gruesos espesores de sedimentos lacustres y aluviales, dentro de lo que hoy es la meseta central y en la región noroeste del país. Debido a la gran actividad volcánica, ocurrida en ese tiempo, es común encontrar ese tipo de sedimentos, intercalados con derrames de rocas ígneas y depósitos piroclásticos.

Dada la gran semejanza litológica que existe, entre los aluviones recientes y algunos mantos de sedimentos terciarios, la identificación de estos últimos ha requerido realizar investigaciones especiales para diferenciarlos, labor que se ha venido realizando desde 1973, dentro del concepto de regionalización de acuíferos. Para ello ha sido necesario aplicar métodos de estudio definiendo características, derivadas de su estratigrafía, paleontología, tectónica y respuestas a pruebas isotópicas.

Algunos de los acuíferos en explotación, sobre sedimentos terciarios, se encuentran ya prácticamente delimitados e identificados en Nuevo Casas Grandes, Chih.; Vicente Guerrero, Ogo.; María de Angeles, Zac.; Valle de Aguascalientes; Gochómón, S.L.P.; Tequisquiapan, Qro. y Acámbaro, Gto.

En los estados localizados sobre el Eje Neovolcánico, que cruza el territorio mexicano de este a oeste entre Veracruz, Jalisco y Colima, se explotan eficientemente y con alta producción, acuíferos constituidos por derrames basálticos y andesíticos, intercalados con sedimentos continentales lacustres y aluviales de edad terciaria o bien, entre depósitos de aluviones más recientes.

El termalismo es muy frecuente en esos acuíferos considerándose que,

el calor del agua contenida en ellos, proviene principalmente de las rocas volcánicas de tipo riolítico, que lo están liberando y con las cuales, están muy ligados estos acuíferos terciarios.

**TERCIARIO MARINO.** La exploración del petróleo en la planicie costera del Golfo de México y en la Península de Baja California, ha propiciado la ejecución de estudios geológicos de detalle y con base en ellos, se ha logrado determinar que, en esas zonas existen formaciones marinas de edad terciaria, la mayoría de ellas constituidas por mantos de arcillas, arenas y materiales calcáreos, siendo algunas productoras de agua de buena calidad.

En la planicie costera del Golfo de México, se explotan acuíferos del Terciario Marino o de litoral, con buenos rendimientos, en las áreas de Minatitlán, Ver. y Jalpa, Tab.; sobre formaciones arenosas que, en su almacenamiento de agua dulce, son favorecidas por importantes recargas debido a las altas precipitaciones que se presentan en esa región y por los escurrimientos de los caudalosos ríos que se ponen en contacto con ellas. Hacia el noroeste de la planicie, desde Poza Rica, Ver., hasta Matamoros, Tamps., las formaciones terciarias son muy arcillosas por lo cual no contienen almacenamientos apreciables de aguas subterráneas, debido a su impermeabilidad. En la Península de Yucatán, las rocas del Terciario Marino, están representadas por mantos de calizas que constituyen muy buenos acuíferos, pero de ellos se trata más adelante.

En la Península de Baja California, algunos de los principales acuíferos en explotación, como los del Valle de la Misión, San Quintín, Vizcaino y Santo Domingo, se encuentran en formaciones terciarias, ya sea del tipo marino o continental.

# ACUÍFEROS REGIONALES

## E n C a l i z a s

Existen en el país, cubriendo grandes extensiones, afloramientos muy amplios de rocas calizas cretácicas, como las formadoras de la Sierra Madre Oriental; partes de la Sierra Madre del Sur y Sierra de Chiapas. Las cuales están constituidas principalmente, por carbonatos de calcio originados y depositados bajo el mar, formando grandes espesores, hasta de 1,000 metros de este tipo de rocas, que han emergido a la superficie y a las grandes cordilleras, debido a movimientos tectónicos y de plegamiento de la corteza terrestre, que ocurrieron en orogénias como la Laramide iniciada a finales del periodo Cretácico.

La explotación de estas rocas, que han demostrado un gran potencia acuífero, se inició en la zona metropolitana de Monterrey, con perforaciones que han alcanzado profundidades hasta de 2,000 metros, pero con niveles de bombeo someros o inclusive como pozos brotantes.

También son ya conocidas las fuentes de agua potable y otros usos, en lugares como Ocampo, Monclova, Viesca y Saltillo en Coahuila; El Cuije, La Ascensión y Tanquecillos en la parte sur de Nuevo León; Tula en Tamaulipas.

Río Verde y El Huizache en San Luis Potosí Valle del Mezquital en Hidalgo; Ocozocouautla y Comitán en Chiapas y la Mixteca Oaxaqueña. En esta última zona de reciente descubrimiento y anteriormente condenada como improductiva, las calizas cretácicas están parcialmente cubiertas por sedimentos arcillosos, impermeables, que han provocado el confinamiento del acuífero por lo que, algunos de los pozos hechos, cerca de Nochistlán, Oax., han resultado artesianos brotantes y con gastos superiores a 300 litros por segundo.

La Península de Yucatán está formada por una secuencia de mantos calcáreos de origen marino cuya edad va, desde el Cretácico hasta el Terciario.

En este último periodo, la región inició una suave emersión, de la cual es representativa la conocida Loma Calcárea Yucateca, en la que afloran exclusivamente calizas, que son acuíferas de muy alto potencial productor, explotadas en: Mérida, Ticul y Peto, en Yucatán; Cancún, Pucté y Alvaró Obregón en Quintana Roo y Edzná y Champotón en Campeche.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PERFORACION DE POZOS PARA AGUA**

**HIDROGEOLOGIA**

**POSIBILIDADES ACUÍFERAS EN SEDIMENTOS CONTINENTALES  
TERCIARIOS DE LA REPÚBLICA MEXICANA**

**ING. JORGE A. TRUJILLO CANDELARIA**

**ABRIL, 1984**

POSIBILIDADES ACUIFERAS EN SEDIMENTOS  
CONTINENTALES TERCIARIOS DE LA  
REPUBLICA MEXICANA.

R E S U M E N

Actualmente, la principal producción de agua subterránea del País, se obtiene de acuíferos en sedimentos clásticos continentales, constituidos por gravas, arenas y arcillas. Hasta hace poco tiempo, a estas unidades acuíferas se les consideraba simplemente rellenos aluviales y se les asignaba Edad Cuaternaria. Recientes investigaciones efectuadas por la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, de la S.A.R.H., han demostrado que la mayor parte de los sedimentos clásticos continentales del Altiplano y del Noreste del País, fueron depositados durante el Período Terciario, en cuencas lacustres y aluviales, en épocas de gran actividad volcánica y tectónica.

Esta situación abre a la prospección geohidrológica, zonas antes desechadas por estar ocupadas por rocas volcánicas impermeables, como las tobas volcánicas, ya que de acuerdo con este nuevo concepto, dichas rocas pueden estar cubriendo o intercaladas con materiales clásticos permeables, lo cual ha sido comprobado en numerosas perforaciones en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Querétaro y Guanajuato.

POSSIBILIDADES ACUIFERAS EN SEDIMENTOS CONTINENTALES TERCIARIOS  
DE LA REPUBLICA MEXICANA

Ing. Jorge Antonio Trujillo Candelaria.

INTRODUCCION. -

En el País, las aguas subterráneas se encuentran principalmente en tres diferentes tipos de rocas:

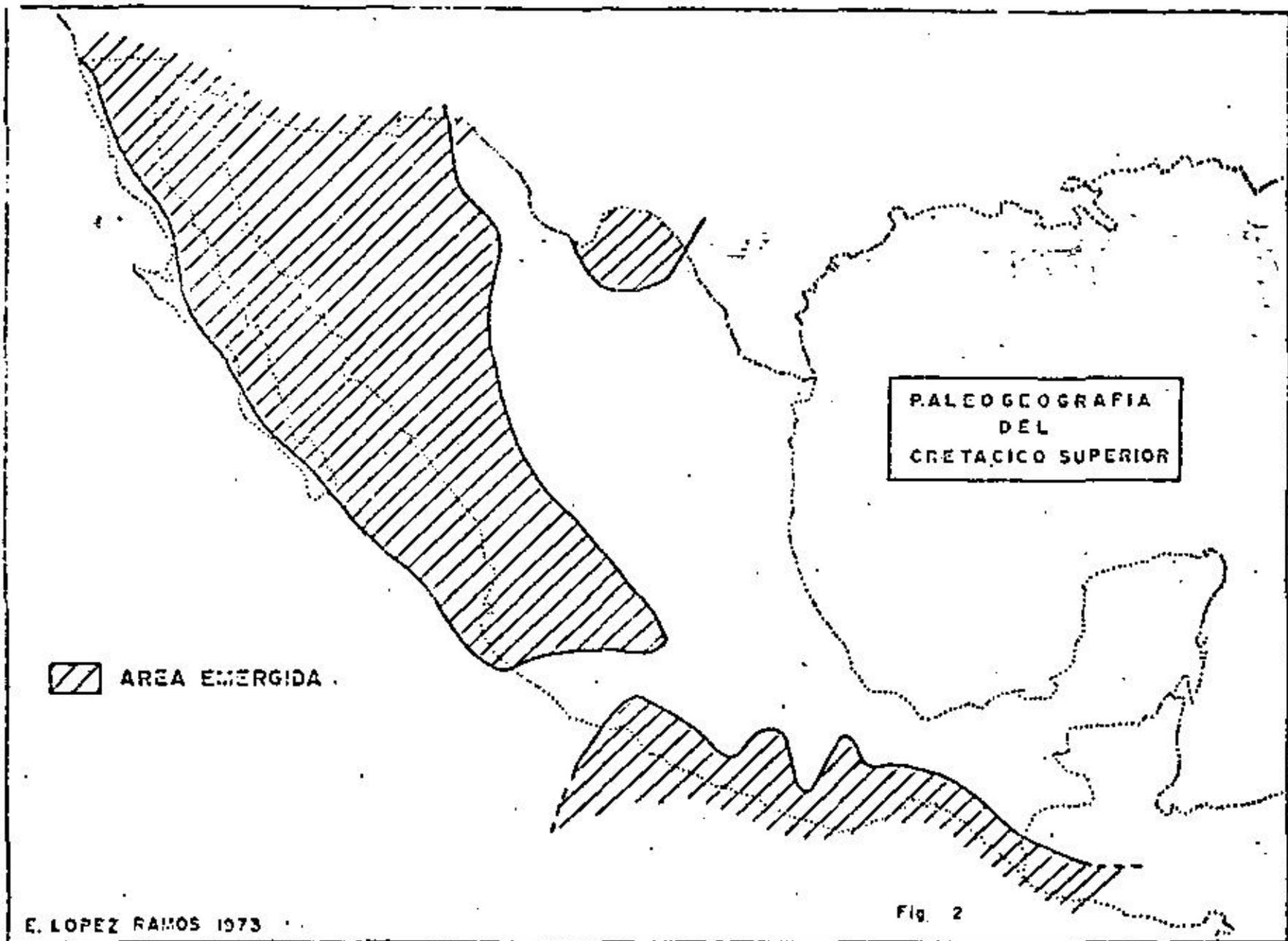
1. - Sedimentos clásticos continentales
2. - Rocas volcánicas basálticas.
3. - Sedimentos marinos.

Actualmente la producción acuífera más importante, tal vez el 70% del total, se obtiene de los primeros.

Los sedimentos clásticos continentales están constituidos esencialmente por gravas, arenas y arcillas, con diferentes grados de selección y consolidación.

Hasta hace poco tiempo, a las unidades litológicas formadas por estos elementos clásticos, se les denominaba simplemente rellenos aluviales y se les consideraba de edad Cuaternario.

Recientes investigaciones efectuadas en la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la S. A. R. H., han demostrado



E. LOPEZ RAMOS 1973

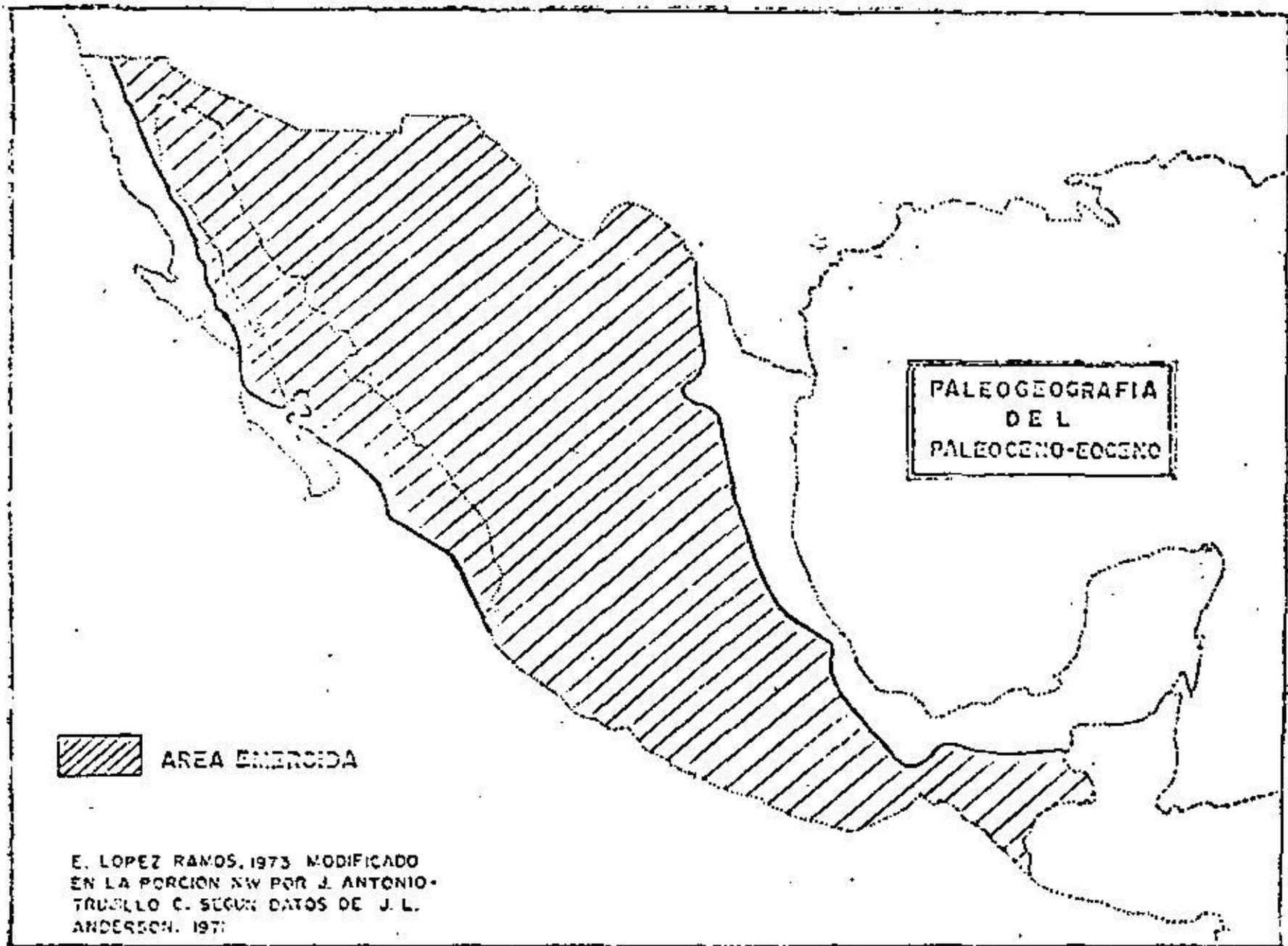
Fig. 2

# ESCALA DEL TIEMPO GEOLOGICO

ERA	PERIODO	EPOCA	MILLONES DE AÑOS ANTES DEL PRESENTE
C E N O Z O I C A	CUATERNARIO	RECIENTE	
		PLEISTOCENO	1
	TERCIARIO	PLIOCENO	10
		MIOCENO	25
		OLIGOCENO	40
		EOCENO	60
		PALEOCENO	70
M E S O Z O I C A	CRETACICO	SUPERIOR	
		INFERIOR	130
	JURASICO	SUPERIOR	
		MEDIO	
		INFERIOR	160
	TRIASICO	SUPERIOR	
		MEDIO	
INFERIOR		230	

TOMADA DE GEOLOGICAL TIME TABLE COMPILED POR C. W. B. VAN EYSINGA, MODIFICADO

Fig. 1.



CT

FIG. 3

Al comenzar el Período Terciario, durante el Paleoceno y Eoceno Inferior, la actividad de la Orogenia Laramide se incrementó notablemente acelerando el plegamiento y levantamiento de las sierras y transformando en áreas emergidas el Norte y Centro del País. (Fig. 3.)

En el Eoceno Medio, la Orogenia Laramide terminó y como consecuencia de ella se había formado una gran cuenca cerrada, limitada al W por la Península de Baja California (unida al continente) y la Sierra Madre Occidental, al S por la Sierra Madre del Sur y al E por la recién formada Sierra Madre Oriental. Hacia el Norte la cuenca se prolonga entre la Sierra Nevada y las Montañas Rocosas, en territorio de los Estados Unidos de Norteamérica.

En esa cuenca se depositaron en condiciones aluviales y lacustres, grandes volúmenes de sedimentos clásticos de tipo Molasse, característicos de la fase final de una etapa orogénica, los cuales están representados en toda el área por unidades litológicas que se conocen con el nombre genérico de Conglomerados Rojos, esta etapa estuvo acompañada de vulcanismo. (Fig. 4).

En el Oligoceno continuó el vulcanismo, al Sureste, la Península de Yucatán emergió parcialmente y al Noroeste la Peñín-

cula de Baja California inició su despegue del Continente.

Durante el Mioceno y Plioceno, existió gran actividad volcánica; en ese tiempo, a lo largo de la Sierra Madre Occidental, se formaron gigantescas acumulaciones de rocas efusivas predominantemente ríolíticas cuyo afloramiento está considerado como uno de los más grandes del mundo. En la parte Central del País, una ancha franja que va de Puerto Vallarta, Jal., en el Océano Pacífico a las cercanías de el Puerto de Veracruz en el Golfo de México, se vió afectada por un movimiento de placas tectónicas el cual dió lugar a la formación de profundos gravens y a la aparición de numerosos volcanes de tipo andesítico y basáltico, iniciándose la formación del Eje Neovolcánico. (Fig. 5).

La acumulación de materiales volcánicos en la gran cuenca propició el bloqueo de drenes, dando lugar a la formación de extensas zonas lacustres en las que se depositaron enormes cantidades de sedimentos clásticos, constituidos por gravas, arenas y arcillas, derivados principalmente de rocas volcánicas, provenientes de la erosión de las montañas circundantes. En esas zonas lacustres se presentaron, ocasionalmente, condiciones que facilitaron la depositación de yesos y calizas.

Intervalos de estabilidad permitieron el desarrollo de vida acuática, predominando las diatomeas, cuyos restos fósiles microscópicos, han ayudado a determinar la edad y el medio ambiente de depósito.

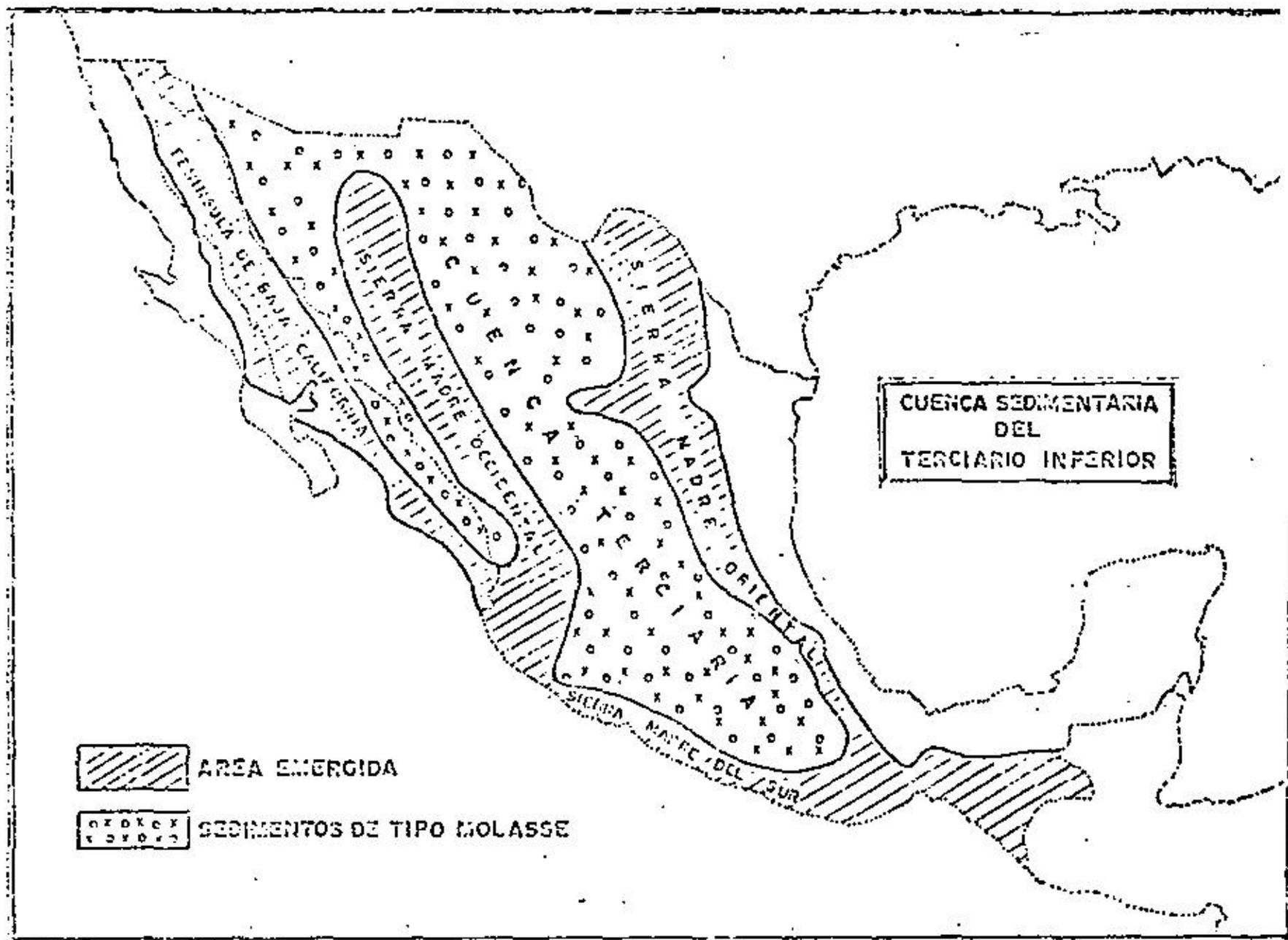


FIG. 4

El vulcanismo y la sedimentación se presentaron simultáneamente en esta época, por lo que sus productos se encuentran intercalados y en ocasiones mezclados, formando rocas volcanoclásticas de composición compleja.

La gran cuenca, que al principio del Terciario - delió presentar un relieve demasiado abrupto, al final del mismo presenta las características de un altiplano, pues los productos de la erosión de las montañas y los depósitos volcánicos habían rellenado las partes bajas - dándole un aspecto relativamente plano, y una altura media de unos 2000 - m. s. n. m.

#### Período Cuaternario.

Al iniciarse el Período Cuaternario, hace aproximadamente 1 millón de años, los ríos del Pacífico, del Golfo, iniciaron el drenado del Altiplano, desapareciendo paulatinamente los lagos y sometiendo a toda el área a un proceso de intensa erosión que persiste en nuestros días, el cual es propiciado por la geomorfología del territorio, ya que las corrientes que lo drenan, debido al gran desnivel entre el Altiplano y la - - Costa, tienen regímenes turbulentos con gran capacidad de arrastre, Fig. 6

Dadas las condiciones en que se está desarrollando el Cuaternario en el País; caracterizado más por la erosión que por el depósito, se considera que el espesor de los sedimentos de esta edad es muy reducido.



Fig. 5

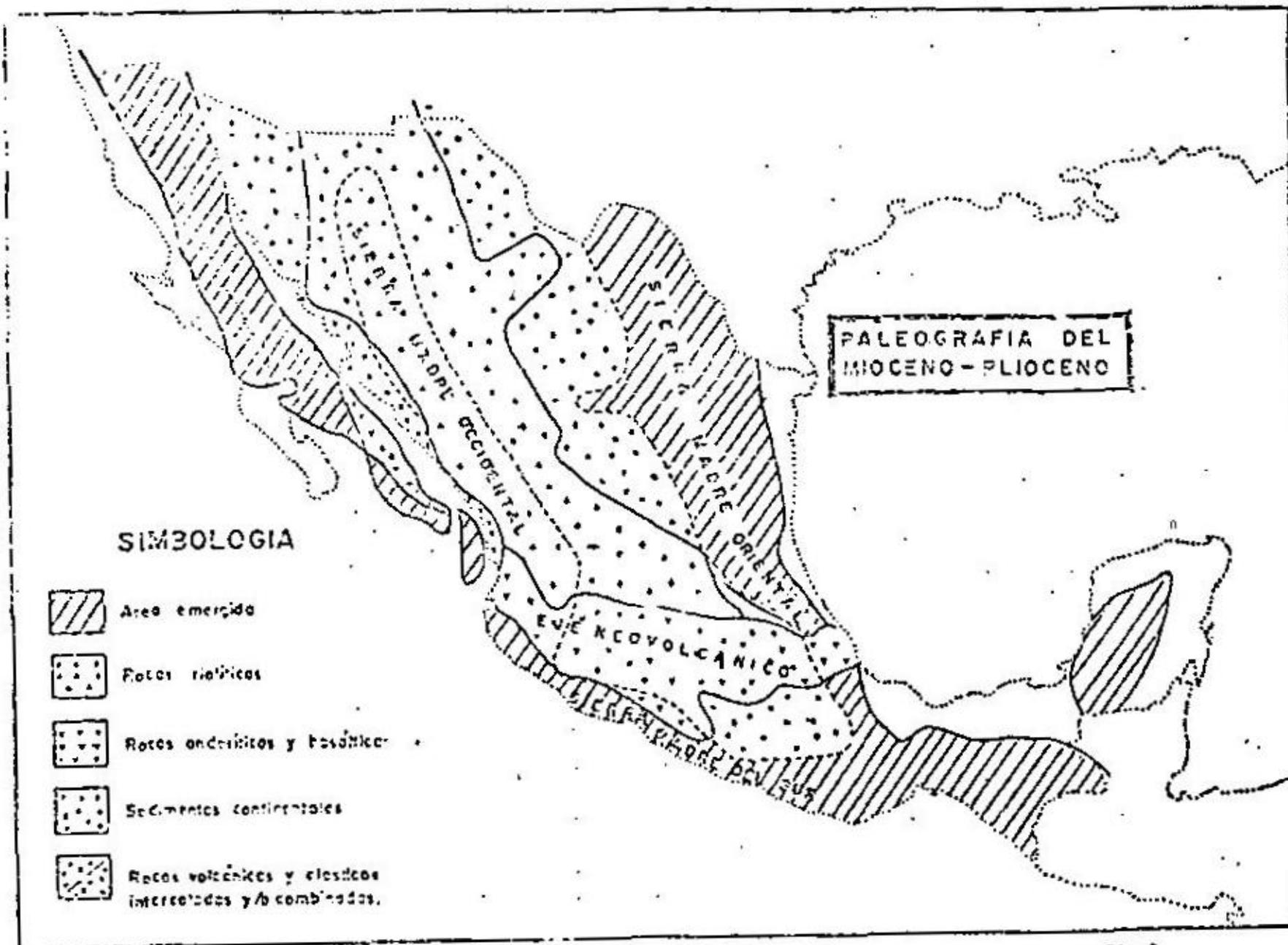


Fig. 5

do a los Conglomerados Rojos, como el Tronco de Riodacita de La Imagen - - en Acapulizotla, Gro., 25 kms., al Sur de Chilpancingo, el cual intrusióna - - - al Grupo Balsas. A éste cuerpo se le determinó por métodos radiométricos una edad de  $39 \pm 5$  millones de años antes del presente, (Z. de Cserna 1974), lo que equivale a Eoceno Superior;

edad

equivalente a Eoceno Superior.

En el Estado de Morelos, el Tronco de Granodiorita - de Tlatica, 10 kms., al Sureste de Cuautla intrusióna al Grupo Balsas y se le -- determinó, por el mismo método que al anterior, una Edad de  $30 \pm 3$  millones - de años antes del presente, lo que equivale a Oligoceno Superior (Z. de Cserna 1974).

#### ROCAS VOLCÁNICAS (OLIGOCENO).

Intercaladas hacia la cima de los Conglomerados Rojos y cubriéndolos, se observan en toda el área, unidades volcánicas de tipo - riolítico y andesítico. Algunas de estas unidades ya han sido estudiadas, como la Riolita Tizapoteca (C. Fries Jr. 1960), la cual en Morelos y Guerrero cubre al Grupo Balsas. En la localidad tipo tiene un espesor de 250 mts. Su edad - se determinó por el método radioactivo plomo-alfa, aplicado sobre Circon y - resultó  $25 \pm 10$  millones de años antes del presente (H. W. Jaffe et al, 1958), lo cual equivale a Oligoceno Superior, afirmando la edad Eoceno Oligoceno de los Conglomerados Rojos subyacentes.

Los siguientes autores han estudiado algunas formaciones de este tipo:

G. P. SALAS 1949 FORMACION HUAJAPAN en OAX.

J. D. EDWARDS 1956 CONGLOMERADOS ROJOS en ZACATECAS, GUANAJUATO Y TAXCO.

C. FRIES JR. 1960 GRUPO BALSAS en MORELOS Y GUERRERO.

K. BRYAN 1948 GRUPO EL MORRO en HIDALGO Y MEXICO.

ROGERS et al 1961 FORMACION AHUICHILA en COAH., ZAC., Y DGO.

Su espesor es muy variable aún en cortas distancias.

J. D. Edwards 1956, midió secciones de 2,000 mts., 418 mts. y 475 mts., en Guanajuato, Zacatecas y Taxco respectivamente.

No ha sido fácil determinar la edad de los Conglomerados Rojos debido a su escasez de fósiles, sin embargo, en base a restos del cráneo de un pequeño roedor colectado por C. Fries Jr. 1952 en Guanajuato se le dió edad Eoceno-Oligoceno, la que se ha ido corroborando por otros medios como se verá más adelante.

En seguida se presenta una relación de formaciones

consideradas de ésta edad.

- FORMACION TARANCO** (K. Bryan 1948) Clástico y volcánico, basáltico y andesítico, aflora en el D. F., Méx. e Hgo. Edad por estudios de diatomeas: Plioceno Medio-Plioceno Superior (J. Jiménez R. 1977).
- FORMACION TEPOZTLAN** (C. Fries Jr., 1950) Clástica y volcánica andesítica, aflora en Edo. de Morelos, Edad por posición estratigráfica Mioceno Inferior.
- FORMACION CUERNAVACA** (C. Fries Jr., 1950) Clástico y volcánica andesítica. Aflora en el Edo., de Morelos. Edad por Diatomeas: Plioceno Superior (según J. Jiménez R. - 1977).
- TOBA DON GUINYO** (K. Segerstrom 1961) Volcánica riolítica, aflora en el Estado de Hidalgo, Edad por restos de plantas, Plioceno Inferior.
- FORMACION SANTA INES** (J. Pantoja-Alor 1963) Conglomerados de caliza y - de rocas volcánicas, aflora en el Edo., de Durango Edad por posición estratigráfica Plioceno Superior Pleistoceno.
- FORMACION CHILPANCINGO.** (Ordoñez-Bose 1899) Clástica lacustre aflora en el Edo. de Guerrero (Z. de Czerna 1965) le da edad - Plioceno y la correlaciona con la formación Cuernavaca.
- FORMACION LA ZORRA** (S. Enciso de la Vega 1968) Volcánica basáltica con intercalaciones de arenisca, aflora en Durango. -- Edad por posición estratigráfica Mioceno-Plioceno.
- FORMACION SAN JOSE** (S. Enciso de la Vega 1968) Clástica, aflora en el - área de Cuencamé, Dgo., Edad por posición estratigráfica Plioceno Superior.
- FORMACION SANTO DOMINGO.** (J. Carrillo Bravo, 1971) Clásticos, lacustres y fluviales, aflora en S. L. P. Edad por diatomeas: plioceno superior (según J. Jiménez R. 1977).

Otros afloramientos de este tipo son:

Grupo Pachuca (K. Segerstrom 1961) consistente de rocas volcánicas andesíticas, riolíticas y basálticas las cuales en el Estado de Hidalgo y Norte del Estado de México descansan sobre los Conglomerados Rojos del Grupo El Morro.

Su espesor puede ser algo mayor de 1,000 mts., y su edad por correlación estratigráfica se considera Oligoceno.

Formación Vizcarra (S. Enciso de la Vega 1968). - Descansa sobre la Formación Ahuichila en el Area de Cuencamé, Dgo., y consiste de tobas riolíticas y algunos derrames andesíticos y basálticos. - Por posición estratigráfica se le ha dado edad Oligoceno-Mioceno.

#### MIOCENO-PLIOCENO. -

Descansando discordantemente sobre los Conglomerados Rojos o sobre rocas más antiguas, se encuentran en el Altiplano Mexicano y el Noroeste del País, una gran cantidad de clásticos continentales y materiales volcánicos de edad Mioceno-Plioceno.

Muy pocas de estas unidades litológicas han sido descritas como formaciones e incluso, frecuentemente se les ha confundido con sedimentos recientes.

TABLA DE CORRELACION CRONOESTRATIGRAFICA BASADA EN  
DIATOMEAS

ZONA	LOCALIDAD	UNIDAD	EDAD
1	7 KM. AL SE DE CUAPIAX- TLA, TLAX.	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MEDIO.
3	KM. 10 CARRETERA IXM- QUILPAN, TULA, HGO.	FORMACION ATOTONILCO	PLIOCENO MEDIO.
5	KM. 8.5 CARRETERA HUI- CHIAPAN-TECOZAUTLA, HGO.	FORMACION TARANGO.	PLIOCENO SUPERIOR
9	JOCOTEPEC, JAL.	FORMACION CHAPALA	PLIOCENO MED-SUP
12	POBLADO LA PLAYA MANUEL DOBILADO, GTO.	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MED-SUP
15	JALPA, ZAC.	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MEDIO.
16	ALMOLOYA DE ALQUISIRAS, EDO. DE MEX.	FORMACION CUERNAVACA	PLIOCENO SUPERIOR.
20	LOMA LARGA VILLA DE REYES, S.L.P.	FORMACION STO. DOMINGO	PLIOCENO SUPERIOR.

ANALISIS EFECTUADOS POR J. JIMENEZ R. 1977.

Para la datación de edades de unidades sedimentarias lacustres del Altiplano, se han practicado análisis palinológicos a base de diatomeas. Algunos resultados se muestran en la Tabla N<sup>o</sup> 1.

#### PERIODO CUATERNARIO. -

Se considera que los sedimentos depositados durante este período, en el Altiplano, son en general de poco espesor, dado que el área se encuentra en una etapa de intensa erosión.

En el valle de México, aflora la Fm. Becerra constituida por sedimentos lacustres (Arellano 1953), el límite Sur del Valle, lo constituyen rocas basálticas del Grupo Chichinautzin ( C. Fries Jr. 1960)

#### GEOLOGIA ESTRUCTURAL. -

Las unidades litológicas del Terciario Inferior Continental, tanto clástico como volcánicas, se presentan en estructuras complejas, afectadas por fallas que se produjeron durante el Eoceno, al finalizar la Revolución Laramide. Durante el Oligoceno, continuó la deformación debido al emplazamiento de numerosos cuerpos intrusivos.

El interés de estudiar las posibilidades acuíferas de los sedimentos continentales Terciarios, se despertó en el autor, en el año de 1973 al analizar los resultados de un pozo perforado por la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas junto al poblado de San Alto, en la porción Noroccidental del Estado de Zacatecas, (Fig. 8). En ese pozo, la producción acuífera importante, se encontró al atravesar una capa de roca riolítica que cubre un depósito de grava y arena, de gran permeabilidad; una revisión de campo comprobó que en un lugar relativamente cercano aflora una secuencia geológica semejante a la cortada en el pozo.

Dado que las rocas riolíticas y andesíticas del área son consideradas de edad Terciaria Medio y Superior, se les tomó como "Horizontes Indices", así las rocas subyacentes a ellas se consideran de edad terciaria o más antigua.

Existen grandes afloramientos de sedimentos continentales terciarios en los que la cubierta volcánica no se presenta, ya sea porque se erosionó o porque nunca se depositó, en estos lugares su identificación como sedimentos terciarios se dificulta más, dada su semejanza con sedimentos recientes, siendo necesario recurrir a análisis palinológicos.

Como siguiente paso, se revisaron gran número de cortes litológicos de pozos, seleccionando los que habían logrado atravesar rocas volcánicas y alcanzar sedimentos clásticos continentales, así mismo, se visitaron y estudiaron afloramientos que presentaban estas características, primero en el propio

Durante el Mioceno y Plioceno, el intenso vulcanismo y el fallamiento, dieron lugar al bloqueo de corrientes y a la formación de fosas tectónicas, dando origen a extensas y profundas zonas lacustres y valles aluviales donde se depositaron grandes volúmenes de sedimentos. En El Bolsón de El Hueco, en el área de Ciudad Juárez, los sedimentos lacustres y fluviales del Grupo Santa Fé del Mioceno-Plioceno tienen 3000 metros de espesor (Mattick 1967).

En muchos lugares, etapas volcánicas y sedimentarias sucesivas produjeron la alternancia de ambos tipos de rocas. El tectonismo, la erosión y la perforación de pozos han puesto en evidencia esta situación.

En la Cuenca del Valle de México, hace años se perforó, con fines de exploración acuífera el Pozo Texcoco N<sup>o</sup> 1 en terrenos del antiguo lago. La profundidad del pozo fue 2065 metros, habiéndose atravesado una secuencia formada por rocas volcánicas y sedimentarias encontrando en el fondo, yesos y conglomerados del Grupo Balsas.

En lo que va del Período Cuaternario, la erosión es el agente que más ha actuado en la conformación de las estructuras del área en estudio, salvo a lo largo del Eje Neovolcánico donde se han presentado grandes emisiones volcánicas tan recientes como la de El Parícutín en el año de 1943 en el Estado de Michoacán.

Estado de Zacatecas y luego en los Estados vecinos: de este modo, el área de estudio fue creciendo hasta abarcar todo el Altiplano y recientemente la porción Noroeste del País.

### TERMALISMO. -

Conforme se ha ido desarrollando el estudio de los acuíferos en sedimentos terciarios, se ha podido observar que en un gran porcentaje de los aprovechamientos estudiados, el agua presenta termalismo, sobre todo -- cuando dichos sedimentos están relacionados con rocas ácidas como las tobas riolíticas, lo cual es muy frecuente en nuestro País.

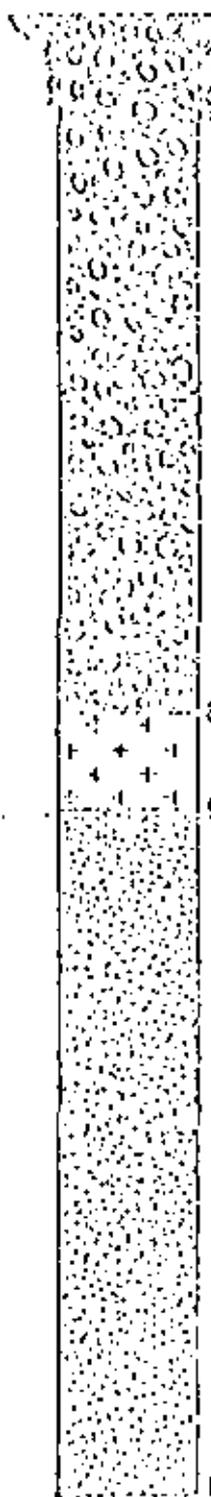
Este termalismo tiene algunas características especiales:

- a). - Generalmente el agua no tiene temperatura arriba de los 42° C.
- b). - El termalismo es de tipo regional, o sea que en ocasiones abarca áreas de varios cientos de Km<sup>2</sup> como es el caso del Valle de San Luis Potosí, Jaral de Berrio, Gto.
- c). - El agua que aportan es generalmente inodora y de buena calidad.

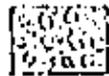
# POZO SAN ALTO, ZAC.

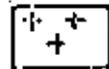
LITOLÓGICA

0.00



## SÍMBOLOGÍA

 CONGLOMERADO

 TOBA RIOLÍTICA

 GRAVA Y ARENA.

NIVEL ESTÁTICO ----- 15.13 M.

NIVEL DINÁMICO ----- 25.33 M.

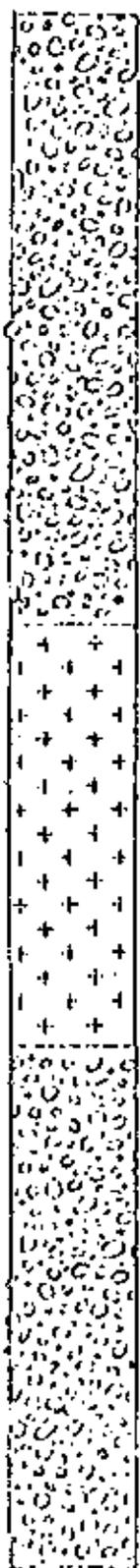
CAUDAL ----- 100. L.P.S.

AGUA TERMAL.

183.00 M.

MARAVILLAS MPIO DE NORIA DE ANGELES, ZAC.

LITOLOGIA



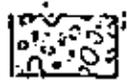
0 m

62 m

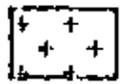
126 m

200.50 m

SIMBOLOGIA



Grava y arena



Toba riolítica

N. E. = 27.41 m

N. D. = 70.07 m

Q. = 81.75 Lps

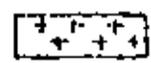
AGUA TERMAL

LITOLOGIA. 000

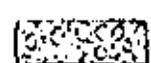
# POZO CRISOSTOMOS

EJIDO DE CRISOSTOMOS  
MPIO. A SIEN TOS.  
EDO. AGUASCALIENTES.  
CLAVE: PAB-30

## SIMBOLOGIA



TCBA RIOLITICA



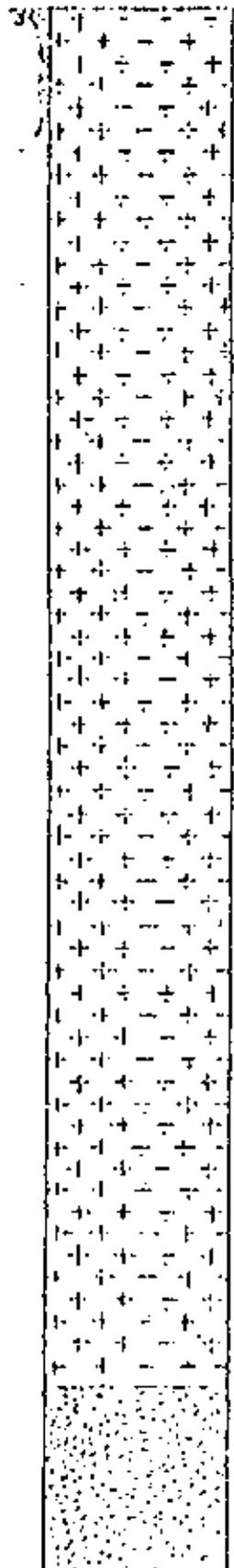
ARENA Y GRAVA

N. E. = 5.95 M.

N. D. = 6.50 M.

CAUDAL = 33 L.P.S.

TEMPERATURA = 30°C



374.00

435.35 MTS.

Se considera que el agua adquiere calor al estar en contacto con rocas ácidas o sedimentos que contienen minerales en decaimiento radioactivo.

Este tipo de termalismo relacionado con sedimentos y rocas ácidas se diferencia del originado por cámaras magmáticas jóvenes de tipo basáltico o andesítico en lo siguiente.

- a). - Muy alta temperatura.
- b). - Abarca áreas pequeñas.
- c). - El agua generalmente tiene mal olor y es de mala calidad.

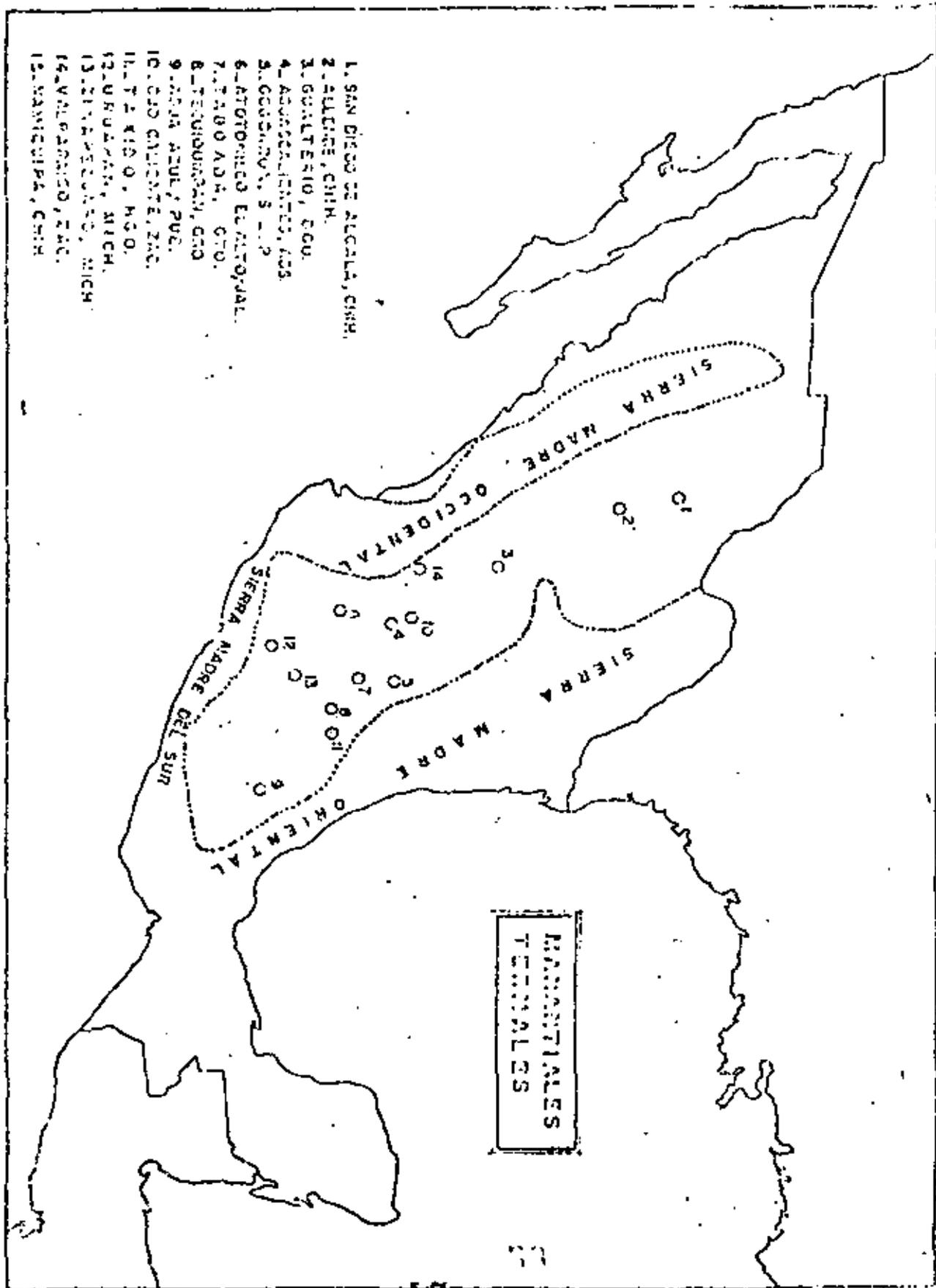
la calidad.

Un ejemplo es la zona geotérmica de Ixtlán de los Hervores en el Estado de Michoacán.

#### CONCLUSIONES. -

1). - Se ha comprobado que grandes afloramientos de sedimentos - clásticos continentales considerados hasta hace poco tiempo de edad cuaternaria, son en realidad de edad terciaria.

2). - La mayor proporción del agua subterránea que se explota en el País, proviene de acuíferos en sedimentos clásticos continentales de edad terciaria.



- 1. SAN DIEGO DE ALCALÁ, CHH.
- 2. AULERE, CHH.
- 3. GUALTERIO, COU.
- 4. AGUASCALIENTES, AGS.
- 5. COAHUILCO, S. L. P.
- 6. ATOTOMILCO EL ALTO, P.VAL.
- 7. TAPAO A.D.M., OTO.
- 8. TERCEROSQUEM, GAO.
- 9. SANTA AZUL, PUE.
- 10. CDO. CALTEPEC, ZAC.
- 11. T. 2 KID O., HGO.
- 12. URB. SANTA, MICH.
- 13. CI. SAN PEDRO, MICH.
- 14. VALPARAISO, ZAC.
- 15. SAN VICENTE, CHH.

FIG. 11

- Bryan, K. 1948. - Los Suelos Complejos y Fósiles de la Altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos. Bol. - Soc. Geol. Mexicana, XIII: (1a. Parte).
- Schulze Gustavo. - 1953. - Conglomerados Terciarios Continentales en la Comarca Lagunera de Durango y Coahuila y sus Relaciones con Fenómenos Igneos Geomorfológicos y Climatológicos. Boletín N<sup>o</sup>. 30 del Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales.
- De Cserna Zoltán. - 1955-56. - Congreso Geológico Internacional XX Sesión México Excursiones A-9 y C-12, Hoja N<sup>o</sup> 7.
- Edwards John D. - 1956. - Estudio Sobre Algunos de los Conglomerados Rojos del Terciario Inferior del Centro de México, XX Congreso Geológico Internacional.
- Carl Fries Jr. 1956. - Bosquejo Geológico de las partes Central y Occidental del Estado de Morelos y áreas contiguas de Guerrero y México. Cong. Geol. Intern. XX Sesión México, 1956. Libreto Guía de la Excursión C-9
- W. R. Lowell, 1956. - Tertiary Geologic History of the Rocky Mountains in Montana, U. S. A. XX Congreso Geológico Internacional, México.
- Carl Fries Jr. 1957. - Bosquejo Geológico de la Región entre México, D. F. y Acapulco, Gro. - Boletín N<sup>o</sup> 5 y 6 del Volumen IX de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- De la Vega, Enciso. 1963. - Hoja Cuencamé 13 R-1 (7) Instituto de Geología UNAM
- Villalobos Crescencio I. 1969. - El Probable Gran Acuífero Taboada, Cogorrón. Folio Heto Técnico N<sup>o</sup> 22 del Inst. de Geología y Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- De Ford, Ronald K. -1969. - Some Keys to the Geology of Northern Chihuahua. - Guidebook, Twentieth Field Conference The Border Region, Chihuahua and the U. S. A. New Mexico Geological Society.
- Ardoña, Diego 1969. - Hoja Ciudad Juárez 13 R-a (3) Instituto de Geología U. N. A. M.
- Dietz Robert S. y Holden John C. 1970. - La Desintegración de la Pangea. Selecciones de Scientific American.

26

3). - Es factible obtener buena producción acuífera mediante la perforación de pozos sobre rocas riolíticas o andesíticas impermeables, ya que se ha comprobado que en algunos lugares, estas descansan o están intercaladas con unidades constituidas por clásticos continentales permeables. Esto abre a la explotación acuífera extensas áreas del País, antes desechadas por estar ocupadas superficialmente por rocas volcánicas impermeables. (Fig. 9 y 10)

4). - Los límites fisiográficos de una cuenca, si están formados por rocas volcánicas impermeables, no necesariamente serán los límites hidrológicos de la misma, pues puede existir circulación subterránea de agua a través de sedimentos clásticos subyacentes.

5). - Una gran proporción de pozos y manantiales en este tipo de acuíferos produce agua termal (Fig. 11) y este termalismo está asociado principalmente a rocas de tipo riolítico.

6). - Algunas unidades de sedimentos terciarios continentales, son tan impermeables que pueden actuar como confinantes.

A principios de 1975 presenté este nuevo concepto geohidrológico al Ing. Héctor Lesser Jones, Director de Geol. y Zonas Áridas, de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos habiendo recibido su apoyo para el desarrollo del estudio a detalle que se está llevando a cabo.

México, D. F., Enero de 1978.



ING. JORGE ANTONIO TRUJILLO CAÑELARIA.

- Dawey John F. 1972. - Placas Tectónicas. Deriva Continental y Tectónica de Placas. Selecciones de Scientific American.
- Maltick R. E. 1967 A Seismic and Gravity Profile Across The Hucco Bolson, - Texas U.S.G.S. Prot. Paper 575-D. Bibliografía citada por Tom Cliett 1969.
- Tom Cliett 1969. - Groundwater Occurrence of the El Paso Area and Its Related Geology. New Mexico Geological Society twenty Field Conference.
- Kenneth Segerstrom. - 1961. - Geología del Suroeste del Estado de Hidalgo y del Noroeste del Estado de México. Boletín N° 3 y 4 del Volumen XIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Guillermo P Salas 1949. - Bosquejo Geológico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca. Boletín N° 2 del Volumen I de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Ernesto López Ramos. 1961. - Comentarios sobre la tectónica de México. Boletín N° 9 y 10 del Volumen XIV de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Manuel Alvarez Jr. 1961. - Orogenias Pre-Terciarias en México Boletín N° 1 y 2 del volumen XIV de La Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- H. Alonso Espinoza. - L. R. de Anda y F. Mooser 1964. - Focos Termales en la República Mexicana. Boletín N° 7 y 8 del Volumen XVI de La Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Cármen J. Schlaepfer y Liberto de Pablo Galan 1971. - Minerales arcillosos e interpretación sedimentológica de las Capas Rojas de la Formación Yanhuítlan, Oaxaca. Boletín N° 7-12 del Volumen XXIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Kenneth Segerstrom. 1961. - Estratigrafía del área Bernal Jalapan, Estado de Querétaro. Boletín N° 5 y 6 del Volumen XIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Francisco Vinięgra. 1965. - Geología del Macizo de Teziutlan y la Cuenca Cenozoica de Veracruz. Boletín N° 7-12 del Volumen XVII de La Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Ernesto López Ramos. 1974. - Geología General y de México Edición Escolar.
- F. J. Pettijohn. 1963. - Rocas Sedimentarias. Editorial Universitaria de Buenos Aires.

Frederic H. Labece, 1955. - Geología Práctica. Editorial Omega. .

Don. L. Anderson, 1971. - Deriva Continental y Tectónica de Placas. Se-  
lecciones de Scientific American.

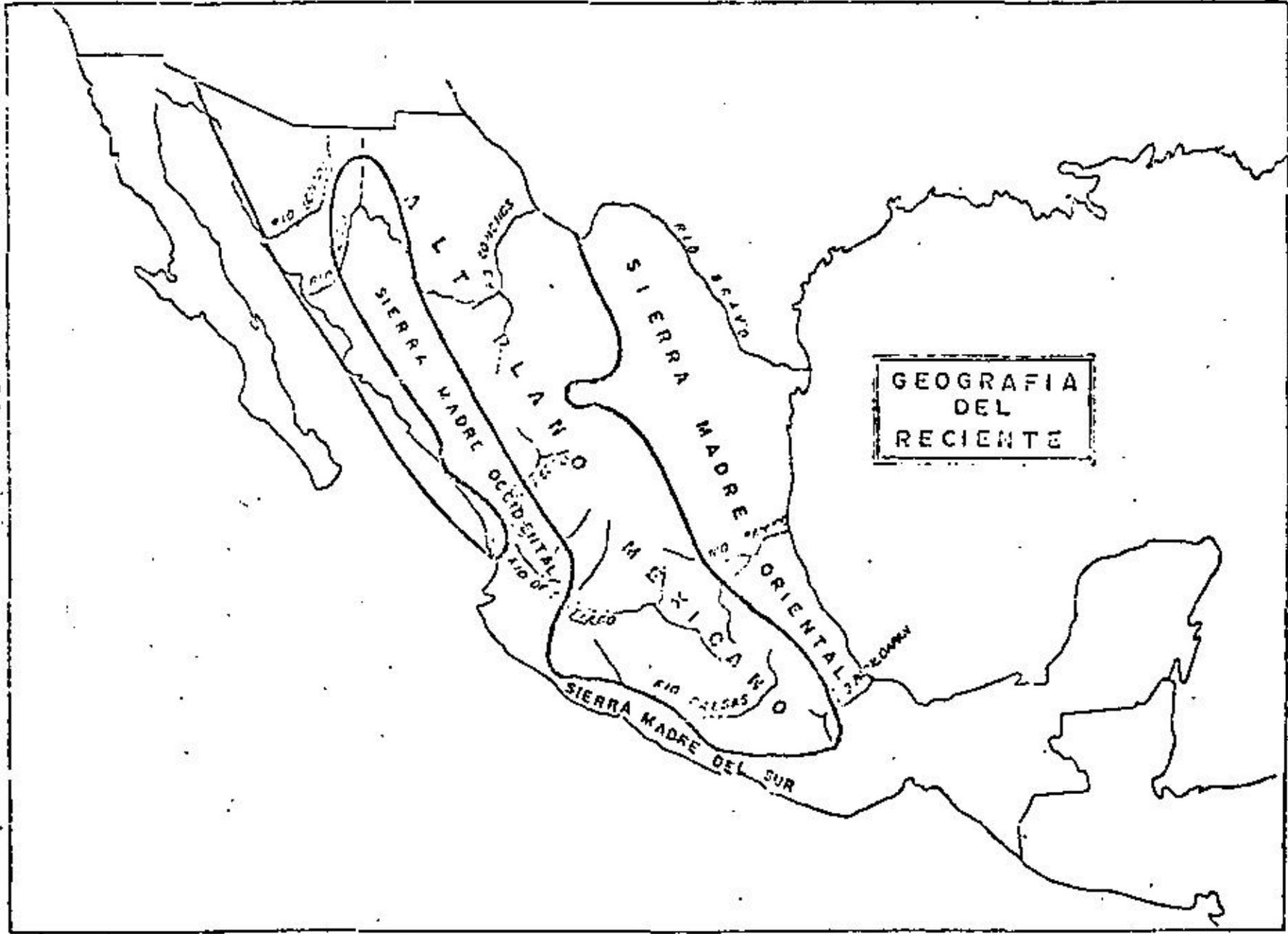


FIG. 6

En este período, el vulcanismo se ha presentado principalmente a lo largo del Eje Neovolcánico, produciendo rocas andesíticas y basálticas.

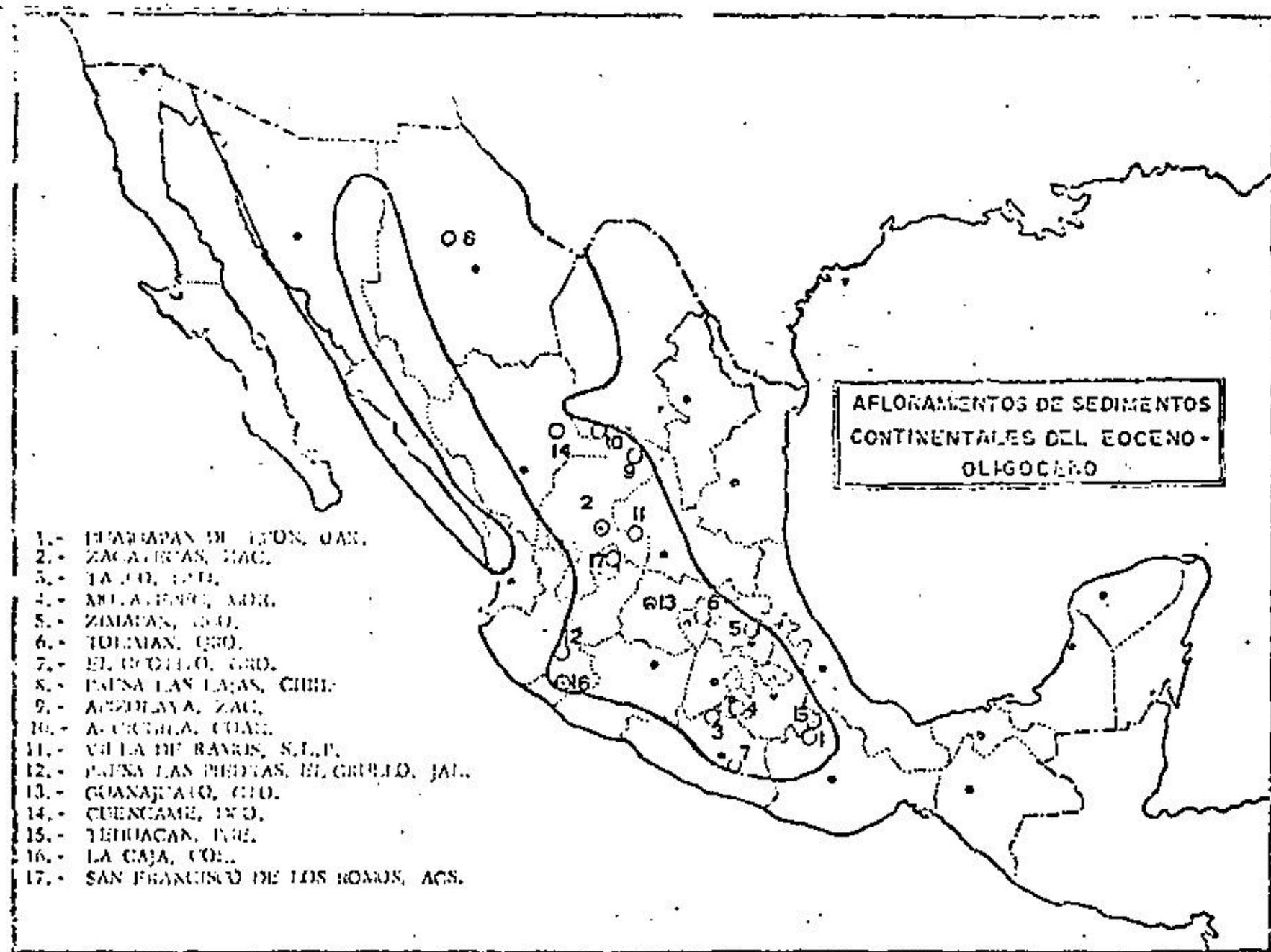


Fig. 7

E S T R A T I G R A F I A

Se describe la columna estratigráfica del Terciario Continental, de la base hacia la cima.

Conglomerados Rojos, (Eoceno-Oligoceno). -

Descansando discordantemente sobre rocas cretácicas o más antiguas, se observan en numerosas localidades del Altiplano unidades litológicas, constituidas por conglomerados formados por fragmentos arredondados de caliza, riolitas, andesitas, rocas metamórficas, granitos, etc.; Predominando algunos de ellos según la región de que se trate, empaquetados en una matriz arcillosa o arcilloarenosa de color generalmente rojo, razón por la cual se les conoce como Conglomerados Rojos. (Fig. 7)

Intercalados con los conglomerados, se encuentran capas de lutitas, areniscas, calizas lacustres, yeso y tobas de composición riolítica y andesítica.

Normalmente se presentan en estratos bien definidos con echadas fuertes, afectados por fallas y fracturas, siendo por lo contrario muy raros los pliegues.



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PROSPECCION GEOHIDROLOGICA

ING. JORGE ANTONIO TRUJILLO CANDELARIA

ABRIL, 1984

# PROSPECCION GEOHIDROLOGICA

Por: Ing. Jorge Antonio Trujillo Candefaria.

## I. - EL CICLO HIDROLOGICO.

El agua subterránea explotable es un recurso renovable que proviene de la lluvia.

Como es sabido, el agua de lluvia que se precipita sobre los continentes, tiene tres caminos por seguir: 1) evaporarse para formar las nubes 2) escurrir por la superficie del suelo formando arroyos y ríos que finalmente vierten sus aguas al mar; 3) infiltrarse en el subsuelo para formar acuíferos; (Fig. 1)

En esta etapa del Ciclo es donde nos interesa encontrar el agua.

## II. - DEFINICIONES. -

Porosidad. - Poro significa intersticio, hueco. La porosidad de una roca es la relación del volumen de sus huecos con su volumen total (Fig. 2)

Permeabilidad. - La palabra permeable significa penetrable, un cuerpo es permeable si se deja atravesar por los fluidos o las radiaciones.

Para el caso que nos ocupa, la permeabilidad de las rocas es la propiedad de dejarse atravesar por el agua.

La permeabilidad de las rocas puede ser primaria cuando se forma al mismo tiempo que la roca, como los huecos que quedan en un depósito de grava al irse acumulando, o secundaria como en una roca compacta que por algún movimiento de la corteza terrestre se fractura y la adquiere.

## III. - LAS ROCAS Y SU PERMEABILIDAD.

Al iniciarse el estudio de un lugar determinado lo primero que se debe conocer es su litología, ya que cada tipo de roca tiene una permeabilidad característica: esta propiedad limita las áreas de interés, pues la búsqueda

da se enfoca a las zonas donde se encuentren rocas consideradas favorables.

Para dar una idea aproximada de esta selección desde el punto de vista litológico, se presenta la siguiente tabla en la que se muestran algunos de los tipos de rocas más comunes en nuestro País. (Tabla 1).

En la tabla aparecen tipos de rocas con características diferentes, sin embargo, son solo cuatro de estas, las que ofrecen posibilidades de permeabilidad para constituir acuíferos importantes; gravas, arenas, basaltos y calizas.

**Gravas y Arenas.** - Las gravas y arenas son sedimentos no consolidados constituidos por fragmentos de rocas arredondados por efecto del arrastre de los ríos que las transportan en grandes cantidades, depositándose en su propio cauce o en cuencas lacustres y marinas.

La permeabilidad de estos depósitos es mayor cuando tengan mayor uniformidad en el tamaño de los fragmentos. Si hay una gran diversidad de tamaños, los más pequeños rellenan los espacios entre los grandes disminuyendo en forma notable su permeabilidad. (Fig. 2)

Por su origen y medios de depósitos, las gravas están íntimamente relacionadas con las arenas y las arcillas, por lo que es común encontrarlas intercaladas en capas o mezcladas.

Los mayores afloramientos de gravas y arenas en el Altiplano Mexicano y en el Noroeste del País, son sedimentos de edad terciaria (Las Cuencas Lacustres Terciarias del Altiplano Mexicano, Jorge A. Trujillo C. 1975), y en ellos se localizan los principales acuíferos en explotación en el País. Fig. 3 )

Las principales diferencias entre sedimentos terciarios y aluviones recientes son:

1º Es común encontrar a los sedimentos terciarios intercalados o cubiertos por materiales volcánicos, riolíticos, andesíticos y basálticos.

2º Los sedimentos terciarios por lo común están afectados por tectonismo en mayor o menor grado.

3º Por medio de análisis micropaleontológico, ha sido posible datar la edad de los sedimentos terciarios gracias a que es frecuente que es-

tos contengan diatoméas fósiles.

4º El espesor de los sedimentos terciarios es en general, mayor que el de los aluviones recientes pues el País debido a su geomorfología, se encuentra actualmente en una etapa de erosión activa.

Algunas recomendaciones para dar localizaciones sobre gravas y arenas son:

1º Deben buscarse lugares donde las gravas y arenas estén bien seleccionadas por tamaños, procurando evitar las zonas donde el contenido de arcilla sea grande.

2º Deben evitarse dar localizaciones en parteaguas o en mesetas cortadas por barrancas profundas.

3º Si se pretende perforar sobre riolitas o andesitas con el fin de atravesarlas para encontrar subyacentes gravas y arenas terciarias debe primero determinarse aunque sea en forma aproximada el espesor de cubierta, ya sea por métodos geológicos o geofísicos, pues podría resultar demasiado potente y ser incosteable su perforación.

**Basalto.** - Es una roca ígnea, volcánica, básica; se presenta en forma de derrames lávicos, brechas, aglomerados, conos cineríticos y de tezontle. Su gran permeabilidad se debe a los espacios huecos entre coladas superpuestas, a la existencia de fracturas originadas por enfriamientos, a las grietas originadas por la resistencia a la deformación plástica de las corrientes de lava solidificada y a las zonas de tezontle.

La presencia de horizontes de depósitos lacustres y suelos arcillosos poco permeables es frecuente en las potentes series de derrames lávicos originado acuíferos colgados, generalmente de bajo potencial pero de gran importancia, debido a la escasez de otros tipos de acuíferos en esas zonas.

La porosidad y permeabilidad de las rocas volcánicas tiende a disminuir con el tiempo geológico, debido al sellamiento de los espacios huecos con los materiales arcillosos producto de la descomposición de las propias rocas.

Para dar localización sobre éste tipo de rocas donde la permeabilidad es generalmente grande, deben escogerse sitios bajos, respecto a la topografía regional, pues es común que el agua que se infiltra en ellos, se drene rápidamente.

**Calizas.** - Las calizas son rocas formadas principalmente por carbonato de calcio, originadas por procesos orgánicos y químicos en medios lacustres y marinos, las cuales han emergido a la superficie por medio de movimientos tectónicos.

Estas rocas tal como surgen a la superficie, por lo común presentan baja permeabilidad que puede ser primaria como la causada por la porosidad entre los fragmentos fósiles en las zonas arrecifales o en los planos de estratificación entre dos capas superpuestas o secundaria, como la que se presenta por fracturamiento y principalmente por la disolución de la roca por el agua de lluvia.

El agua de lluvia a su paso por la atmósfera se carga de ácido carbónico, el cual ataca fuertemente a las rocas calcáreas, disolviéndolas. Al caer sobre ellas, si encuentra alguna zona fracturada, así sea poco permeable inicia su infiltración y ataque ensanchando las grietas y produciendo conductos y cavernas, lo cual incrementa grandemente su permeabilidad.

Debido a la plasticidad de este tipo de rocas, es común que al verse afectados por movimientos tectónicos no se fallen y fracturen tan fácilmente sino que primero se pliegan, formando anticlinales y sinclinales.

Para dar localizaciones sobre este tipo de rocas, se deben localizar:

- a). - Zonas donde las calizas estén lo más pura que sea posible, o sea que su contenido de arcilla sea mínimo, pues mientras más contenga será menos soluble.
- b). - Las zonas donde se observan gran cantidad de cavernas y conductos de disolución son favorables.
- c). - Las zonas arrecifales, frecuentemente ofrecen buena permeabilidad.
- d). - Que no hayan capas de lutitas intercaladas en gran proporción.
- e). - El fracturamiento, por lo general es mayor en los lomos de los anticlinales y en los fondos de los sinclinales resultando sitios buenos para la perforación de pozos, sin embargo, los lomos anticlinales hay ocasiones en que son de difícil acceso y los sinclinales es frecuente que estén cubiertos por gruesos depósitos de formaciones impermeables, por lo que muchas de las perforaciones se dan en los flancos de estas estructuras.
- f). - Siendo la permeabilidad, entre estratos la más importante, es conveniente dar localizaciones de tal manera que corten el mayor número de estratos posible, siendo más favorables las zonas que han sido afectadas por tectonismo. Por lo que es recomendable situarlas en formaciones medianamente plegadas.

g). - Existen formaciones calcáreas que en un determinado lugar se presentan permeables y producen eficientemente y en distancia más o menos cortas se encuentran impermeables e improductivas. Uno de los principales motivos de éste comportamiento son los cambios laterales en su composición como por ejemplo, un aumento de su contenido en arcilla, lo que provoca una disminución en su solubilidad.

Otras Rocas. - Los demás tipos de rocas no deben desecharse totalmente, pues hay varios lugares donde algunas de ellas están produciendo en forma eficaz.

Sin embargo, deben considerarse con posibilidades, mucho menores pues su permeabilidad dependerá de zonas de fracturamiento, las cuales no siempre son fáciles de detectar a profundidad.

Hay ocasiones en que no se tiene otra alternativa y es necesario dar localizaciones para perforación sobre este tipo de rocas, en cuyo caso deben buscarse zonas afectadas por fallas y fracturas, tratando de cortarlas en forma y a la profundidad más conveniente. De ser posible se recomienda -- efectuar exploraciones directas con pozos de pequeño diámetro, con equipo de muestreo de núcleos.

#### IV. - MÉTODOS DE EXPLORACION. -

Los métodos de exploración se dividen en directos e indirectos. Los métodos directos más comunes consisten en observaciones de campo y perforaciones; los indirectos en métodos geofísicos.

Métodos Directos. - En la Dirección de Geohidrología y de Zonas Aridas, los métodos directos de exploración más utilizados son:

Observaciones de campo. - En éstas se aplican lo que se ha tratado de exponer en los párrafos anteriores. Para lo cual nos auxiliamos con planos geológicos, topográficos, climatológicos, fotografías aéreas y equipo de campo, esencialmente brújula, altímetro y martillo.

Perforaciones Exploratorias. - Consisten en perforaciones en diámetro de 3 a 4 1/2", con brocas de diamante o de roles, con o sin muestreo de núcleos. En estas perforaciones se obtienen los siguientes datos:

- a). - Columna litológica.
- b). - Nivel estático.
- c). - Calidad del agua.
- d). - Una idea sobre las posibilidades de producción de acuerdo con las pérdidas de fluidos de perforación, sifoneo, extracciones con émbolo, - inyección de agua, etc.

Además se puede obtener el registro eléctrico del pozo.

Métodos indirectos. - La característica principal de estos métodos es que las mediciones de ciertos parámetros físicos (resistividad, elasticidad, etc.) se realizan desde la superficie del terreno, y en base a éstos es posible inferir ciertas condiciones del subsuelo. Dentro de esta clasificación se encuentran los métodos geofísicos, de los cuales, los mayormente utilizados en la prospección para el agua subterránea son:

- a). - Método Eléctrico de resistividad.
- b). - Método Sísmico de refracción.

Los cuales nos ayudarán entre otros, a definir la geometría del sistema acuífero y auxiliarnos en diversos problemas de tipo estructural.





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ANEXO I

ING. JORGE A. TRUJILLO CANDELARIA

ABRIL, 1984

# FOTOINTERPRETACION Y SU APLICACION EN LA PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS.

Notas formuladas por Ing. Robi  
sel Chiñas L.

## I.- INTRODUCCION

En la planeación de los Recursos Hidráulicos, se plantea la necesidad de elaborar proyectos integrales de aprovechamientos tanto del agua superficial como subterránea basados en la evaluación de dichos recursos. En estas actividades el agua subterránea ocupa un renglón muy importante, y requiere para su investigación, de la participación interdisciplinaria y la aplicación de varias tecnologías.

En nuestro país donde existen muchas áreas con escasa información geohidrológica, se hace necesario iniciar prácticamente con la prospección o búsqueda del agua subterránea, fijando los sitios para las exploraciones geofísicas o para las perforaciones y posteriormente, en otras etapas, dentro de la metodología de investigación de los recursos hidráulicos, es conveniente establecer un marco geohidrológico o modelo conceptual que sirva de base para la interpretación del funcionamiento de los acuíferos a fin de definir las zonas de explotación más convenientes o en su caso regular la extracción del agua subterránea.

Mucha de la información necesaria para llegar a estos objetivos puede ser obtenida con rapidez y bajo costo, mediante la interpretación de fotografías aéreas, ya que éstas ofrecen una visión regional del terreno, de todos los aspectos que interesan al estudio del agua subterránea, tales como la geomorfología, el drenaje superficial, las fronteras superficiales de unidades geohidrológicas, la vegetación y uso del suelo, y por esa razón es útil también para aquellas zonas que ya están en explotación o que cuentan con cartas geológicas, pues éstas generalmente no registran toda la información útil para el estudio del agua subterránea.

Por ser de mucha utilidad y por la riqueza de información que se obtiene de las fotografías aéreas, en estas notas se señalan los alcances y procedimientos de la fotointerpretación en el estudio del agua subterránea y sobre la manera más conveniente de registrar la información obtenida.

## II.- INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS.

La interpretación de fotografías aéreas es una técnica basada en la observación y análisis de las imágenes fotográficas a fin de deducir el significado de ellas: la calidad y cantidad de información que se puede obtener, depende de la formación y experiencia del fotointerprete y del tipo de material fotográfico utilizado.

La técnica de fotointerpretación proporciona información eminente de tipo cualitativo y requiere de la identi-

cación análisis y clasificación de los rasgos de los objetos fotografiados a fin de conceptuar la interrelación que existe entre cada uno de los factores que condicionan un terreno determinado, que está en proceso de observación. Esta actividad de ninguna manera desecha los trabajos de campo, pero se ve considerablemente reducida, en virtud de que previamente se pueden ubicar en las fotografías aéreas los sitios de muestreo y se puedan programar los recorridos a los lugares de interés.

En los estudios de fotointerpretación intervienen distintos factores que influyen en la calidad de la fotointerpretación; entre los más importantes se tienen los siguientes.

- a).- Característica de la fotografía aérea
- b).- La imagen estereoscópica
- c).- Característica de la fotointerpretación

Fotografías aéreas. - La fotografía es una proyección central que registra todos los objetos visibles en superficie terrestre cuyas características geométricas resultan incorrectas debido al desplazamiento causado por el relieve y por la distorsión de la cámara fotográfica. Existen numerosas características de la fotografía aérea que influyen en la fotointerpretación y que son: calidad de la imagen, tipo de cámara, tipo de películas, tipo de filtro, proceso de revelado, estación durante la cual fué tomada la fotografía, escala, dirección del vuelo.

Entre la variedad de películas existentes, la película pancromática (blanco y negro) tiene el mayor uso y tradicionalmente es la que se ha utilizado en los trabajos de fotointerpretación, sin embargo actualmente con el avance de las nuevas técnicas de percepción remota, se han desarrollado nuevos tipos de película y filtros permitiendo mejorar también la calidad de la fotointerpretación y consecuentemente obtener una mayor riqueza de información.

En la práctica de la fotointerpretación la utilización de las fotografías a color e infrarrojo a color ha dado buenos resultados en los estudios de cobertura vegetal, suelos y cuerpos de agua, ya que por la calidad de la información, se disminuye considerablemente la verificación de campo.

La escala de la fotografía está determinada por la relación que existe entre la distancia focal de la cámara y la altura de vuelo. La elección de las escalas fotográficas depende mucho del tipo de trabajo por desarrollar; comunmente se recomienda la escala 1:25,000 a 1:50,000 para trabajos de reconocimiento y 1:10,000 a 1:20,000 para trabajos de detalle; sin embargo debe tenerse presente dos factores que influyen en el uso de la fotografía y que son el relieve y la vegetación. Para fines geomorfológicos a veces es conveniente contar con fotografías de escala chica ya que en una sola fotografía pueden aparecer estructuras geológicas de conjunto, que a una escala mayor, registrados parcialmente, pudieran pasar desapercibidos.

Esteroscopia.- La interpretación de fotografías aéreas requiere primordialmente de la utilización de fotografías estereoscópicas y éstas no son más que fotografías que contienen rasgos y objetos registrados desde posiciones diferentes del avión y que al examinarlos a través de un estereoscopio se puede observar tridimensionalmente.

En general puede decirse que cuando los objetos son observados con un solo ojo (visión monocular) estos se perciben únicamente en dos dimensiones y solamente la sensación de profundidad se obtiene utilizando los dos ojos (visión binocular). La visión estereoscópica es la reproducción artificial de la visión binocular y se puede obtener utilizando estereocópios o anaglifos. Comúnmente en los trabajos de fotointerpretación se utilizan estereoscópios de lentes, prismas y espejos.

Características de la fotointerpretación.- La parte más importante de los trabajos de fotointerpretación la constituye el elemento humano y a las finalidades a la que va orientada la fotointerpretación; en la mayoría de los casos, la calidad depende fundamentalmente de la experiencia y formación profesional del interprete.

La práctica de la fotointerpretación aconseja que los trabajos con fines geológicos, agua, suelos, bosques, urbanismo, actividades agrícolas, etc, sean desarrollados por personas con una formación acorde a esas disciplinas; las cuales deben reunir ciertas condiciones fisiológicas y psicológicas favorables para aplicar la técnica inductiva y deductiva que se utiliza en la fotointerpretación.

Para el caso de una interpretación geohidrológica -- los fotointérpretes, deben tener una base de conocimientos geológicos e hidrológicos y de uso del suelo; para poder conceptualizar a través de fotografías una zona en proceso de estudio geohidrológico.

De todas maneras, en términos generales; la fotointerpretación utiliza una serie de criterios para identificar, analizar y clasificar los rasgos fotográficos, bajo una visión estereoscópica, como son:

Criterios derivados de las características físicas de la fotografía como son: textura, tono y color fotográfico.

Criterios derivados de las características de tamaño y forma de los objetos fotografiados.

Criterios derivados de las características topográficas y geomorfológicas de las zonas fotografiadas.

Criterios derivados de las características de los suelos, cobertura vegetal y su relación con el uso actualizado del suelo o actividad agrícola.

### III.- INTERPRETACION FOTOGEOHIDROLOGICA

La investigación del agua subterránea requiere de varias etapas que son:

- La prospección y determinación de las condiciones geohidrológicas.
- La determinación de las características físicas e hidrodinámicas de los acuíferos.
- La hidrología subterránea o la determinación del comportamiento de los acuíferos ante la extracción y la recarga.

En la primera etapa se trata de determinar la presencia del agua subterránea en regiones prácticamente libres de explotaciones; basándose en el conocimiento de la climatología y geología, ya que la presencia, naturaleza y flujo del agua subterránea, es función del clima actual, de la morfología petrográfica, estratigráfica y de la estructura geológica.

En el caso del clima generalmente se trata de hacer el análisis de la precipitación, la temperatura y evaporación como elementos que intervienen en los términos del ciclo hidrológico, pero también es importante en el aspecto geohidrológico ya que en muchos acuíferos son función del clima del pasado; por ejemplo: aquellas zonas que por disolución se han convertido en acuífero. Asimismo es importante el clima en la calidad del agua pues sabido es; que muchas rocas de origen marino o depositadas bajo condiciones de aridez extrema, frecuentemente contienen agua salina que no ha podido ser lavada debido principalmente a condiciones climáticas.

La otra base para determinar la presencia del agua es la geología, ya que con éllas se trata de definir y analizar las características de los terrenos para deducir las condiciones geohidrológicas. Es en esta etapa, donde conviene utilizar las fotografías aéreas como medio para estudiar la geología del agua subterránea.

El objetivo de la prospección fotogeohidrológica es definir, a través de fotografías aéreas, donde quedan ubicadas las zonas de recarga y de acumulación del agua subterránea, para fijar los sitios más convenientes y efectuar estudios de resistividad eléctrica o para ubicar los pozos de exploración; estos tendrán por objetivos serán las de establecer un modelo tridimensional de la zona estudiada y de definir las características hidrodinámicas de los acuíferos en una segunda etapa de investigación del agua subterránea.

En las etapas subsecuentes del estudio del agua subterránea se trata de establecer una base objetiva que sirva de marco y de base, para que los hidrólogos cuenten con el material necesario para desarrollar la etapa de evaluación de los acuíferos; esta base objetiva puede estar representada por una -----

carta geohidrológica o un plano fotogeohidrológico, conteniendo todos los datos investigados (forma, drenaje, fronteras de las unidades hidroestratigráficas o geohidrológicas y secciones geológicas) que señalen la estructura geológica y que ayuden a establecer un modelo tridimensional de los acuíferos.

En efecto la interpretación de las medidas geofísicas y la interpretación de la estructura del subsuelo con datos aislados de las perforaciones pueden ser auxiliados con los datos obtenidos en superficie con la fotointerpretación. Asimismo al hacer el estudio de pozos y manantiales, con dicho modelo se puede auxiliar a la interpretación de los análisis geoquímicos, y las curvas de elevación y evaluación de los niveles estáticos. Finalmente, al analizar el uso del suelo o las actividades agrícolas es posible estimar aproximadamente el volumen de extracción que se utiliza para el riego de determinados cultivos.

En los estudios geohidrológicos a partir de fotografías aéreas, se incluyen los siguientes procesos:

- a).- Obtención del material fotográfico
- b).- Estudio de la geología del agua subterránea
- c).- Análisis del uso del suelo
- d).- Comprobación de campo
- e).- Registro de la información obtenida
- f).- Interpretación de las condiciones geohidrológicas

a).- Obtención del material fotográfico. - En estas notas no se tratará el tema de cual es el procedimiento de obtener las fotografías aéreas y la forma de obtención de los mosaicos fotográficos de contacto; basta decir que la escala más conveniente para un estudio fotogeohidrológico pueden variar entre 1:25,000 a 1:50,000 y para integrar los datos de la fotointerpretación -- conviene utilizar mosaicos de contacto, (no es necesario que sean rectificadas) escalas de 1:50,000 a 1:100,000. Conviene señalar que para estos estudios de fotointerpretación, se pueden utilizar vuelos aerofotográficos ya existentes en oficinas gubernamentales, como por ejemplo la Comisión de Estudios del Territorio Nacional que tiene levantado una gran parte del país o adquirirlos de los archivos de compañías especializadas en levantamientos aerofotográficos. Desde luego es recomendable utilizar un vuelo reciente, si éste se aprovecha para proyectos integrales, en donde se requieran investigar otros recursos o el uso actualizado del suelo.

b).- Estudio de la Geología del Agua Subterránea. - En la fotointerpretación geohidrológica, el estudio del agua subterránea abarca: el análisis de las formas del terreno, el análisis de las características del drenaje superficial, el análisis de la estructura geológica y la delimitación de las fronteras de las

unidades geohidrológicas e hidroestratigráficas.

c).- Las formas del terreno.- En el análisis de las formas del terreno se trata de señalar las variaciones de las pendientes del relieve, lomeríos y llanuras, a través de la observación estereoscópica, e interpretar en cada tipo de terreno la presencia de la cobertura intemperizada o ausencia de ella por erosión, que son algunos de los factores que intervienen en el escurrimiento superficial o retención del agua de lluvia.

El estudio de la morfología también debe hacerse analizando conjuntamente las características de las zonas donde aparecen cuerpos de agua manantiales, ríos, lagos, pantanos. Este procedimiento permitirá introducir más los datos geohidrológicos con la geomorfología, ya que en realidad la morfología es función del clima, la geología y el tiempo.

Por otra parte aunque existe una gran variedad de formas del terreno es conveniente agruparlas de acuerdo a su origen y estructura e integrarlas a provincias geológicas para facilitar su estudio, en una etapa de reconocimiento, pues frecuentemente se observan características similares entre las cadenas montañosas y las divisiones climáticas; incluso de un continente a otro. Este criterio podría ser útil para iniciar el establecimiento de un modelo que puede diferir de un lugar a otro pero en general puede tener muchas similitudes.

A continuación se señala los tipos más frecuentes de morfologías que están relacionadas con la estructura y la calidad de los terrenos, de acuerdo con la clasificación geomorfológica de Von Engel. En la figura 1 y 2 puede apreciarse las formas típicas que adoptan los materiales volcánicos.

#### Clasificación Geomorfológica de Von Engel.

##### 1.- CLASES DE ESTRUCTURAS SIMPLES

A.- Unidades geomórficas de materiales no consolidados o débilmente consolidados que tienen en lo general una estructura horizontal o simple que está bien definida o en algunos casos poco definida.

- 1.- Llanura costera de levantamiento
- 2.- Llanura o meseta de pie de monte
- 3.- Llanura de tundra
- 4.- Llanura fluvial, lacustre y deltaica
- 5.- Erg o llanuras de dunas de arena
- 6.- Llanura glacial
- 7.- Llanura de loess

B.- Unidades geomórficas compuestas de roca sedimentarias más o menos consolidadas o en algunos casos de rocas de origen ígneo. Los materiales, como en el caso A se encuentran agrupados uniformemente y con una estructura simple.

- 8.- Meseta interior
- 9.- Cuenca de lopolito
- 10.- Meseta o llanura de corriente de lava
- 11.- Edificio volcánico

C.- Unidades geomórficas de rocas casi totalmente calcáreas con una estructura simple debido a la homogeneidad del material.

- 12.- Carst
- 13.- Isla o barrera de coral

## 2.- CLASES DE ESTRUCTURA DESORDENADAS

D.- Unidades geomórficas plegadas o falladas que se formaron de rocas compuestas de sedimentos consolidados o que incluyen otros materiales sedimentarios.

- 14.- Domo de levantamiento
  - a).- Lacolito
  - b).- Batolito
- 15.- Montaña plegada
  - a).- de pliegues simples
  - b).- de pliegues dislocados

16.- Montañas de fallamiento

F.- Unidades geomórficas constituidas principalmente por escudos de rocas rígidas y antiguas; en este caso la morfología puede ser de llanura, de meseta y de domo.

- 17.- Escudo de rocas ígneas metamórficas antiguas
- 18.- Peneplano de sedimentos y de rocas ígneas
- 19.- Glaciar continental

d).- Drenaje Superficial.- El análisis del drenaje superficial se hace con el fin de señalar, junto con la morfología, las diferencias que existen en la densidad del drenaje, para definir las zonas que ofrecen mayor escurrimiento o infiltración. Durante el análisis del drenaje también se puede obtener información sobre la ubicación de los aprovechamientos hidráulicos como presas y bordos o sobre la ubicación de los manantiales puesto que ellos influyen sobre la recarga de los acuíferos.

Al hacer el estudio del drenaje se señalarán en las fotografías: el cauce principal y todos los tributarios indicando o separando las subcuencas que interesen al estudio; esto es con el objeto de establecer la densidad de drenaje en longitud de cauce por superficie y relacionarlo con el tipo de cobertura -- intemperizada y tipo de roca, al hacer un análisis muy preliminar de la disponibilidad de agua en una cuenca.

Existen muchos arreglos de drenaje que son indicativos de las características geohidrológicas de los terrenos, como -- por ejemplo: Los drenajes con textura abierta, frecuentemente -- son indicativos de materiales permeables, rocas difíciles de -- erosionar o formaciones masivas y los drenajes con textura fina, se desarrollan normalmente en materiales impermeables en zonas -- fácilmente erosionables o donde el drenaje interno es lento.

Otras características que se debe tener presente durante el análisis del drenaje, es el grado de uniformidad de los modelos de drenaje ya que un sistema de drenaje uniforme y bien integrado, puede ser indicativo de cierta homogenidad en la constitución de los terrenos y pueden manifestar susceptibilidad de erosionarse; en cambio las zonas no integradas o con ausencia de drenaje, puede deberse a la presencia de materiales granulares -- (aluviones), a la presencia de rocas permeables por fractura -- ción o cavidades y también puede desarrollarse en regiones de -- morfología plana, que presentan zonas inundables o de encharcamiento.

Estructura geológica. -- El análisis de la estructura geológica se dirige principalmente a definir el grado de fracturación, posición, estratificación y potencia de las formaciones, -- en forma cualitativa, pero también pueden definirse cuantitativamente mediante el uso de la regla de paralaje, apoyada en datos de campo o cotas altimétricas.

Atendiendo a este tipo de medidas y a las características -- geomorfológicas se puede deducir en forma especulativa la -- estructura del subsuelo que es un factor decisivo en las condiciones de flujo y acumulación del agua subterránea.

Cuando se tienen medidas geofísicas y datos de perforaciones, estos pueden correlacionarse con las características -- estructurales de superficie para definirse una distribución en el espacio de los distintos tipos de terrenos y establecer la -- interrelación entre las distintas unidades los cuales --

pueden ser concordantes, discordantes, en bloques, o aparecer --- como un fondo rocoso de morfología irregular.

Delimitación de las fronteras de las unidades geohidro lógicas o hidroestratigráficas.— Esta actividad probablemente sea la de mayor significación en el estudio del agua subterránea ---- porque con ella se puede valorar cualitativamente la permeabili- dad de los materiales ya que durante el análisis, se toma en con- sideración la naturaleza, secuencia y distribución, tanto de los materiales consolidados como de los no consolidados y también se toma en cuenta la granulometría morfología y estructura de las -- formaciones.

La delimitación de las fronteras entre rocas y sue- los se hace principalmente por la observación de las discontinui- dades y heterogeneidades de los terrenos que son derivados de las condiciones de depósito, de la fracturación, disposición de la es- tratificación, o por la presencia de zonas arcillosas. El análi- sis de estos factores son los que permiten indicar los sitios de retención, recarga, flujo y acumulación del agua subterránea o -- simplemente señalar zonas impermeables.

Para la delimitación de las fronteras de unidades - de rocas y suelos se presentan ciertas dificultades por la enorme variedad de condiciones geológicas que existen y que frecuentemen- te se observan en la superficie con rasgos morfológicos determina- dos y otras veces están enmascarados o poco definidos por una co- bertura intemperizada o por efecto de la erosión. En estas unida- des pueden estar incluidos las rocas estratificadas, solubles, fo- liadas, las derivadas de emisiones volcánicas, o los materiales - poco consolidados que forman rellenos de cuenca o de valles. La - mayoría de las veces, estas unidades presentan condiciones aniso- tropas que condicionan las características de permeabilidad y geo- hidrológicas en general.

Las rocas estratificadas son bastante complejas, no sólo porque algunas veces están falladas plegadas o fracturadas, - sino porque algunas tienen normalmente una disposición de asocia- ciones alternantes o con cambios de facies laterales, de materia- les de diferente calidad y permeabilidad.

En el caso de las rocas solubles, la presencia de - cavidades, frecuentemente con una distribución irregular hace que la circulación de agua en una red cárstica, presente serios probl- mas de determinación.

En zonas de actividad volcánica solo con excepción- aparecen estructuras mas o menos definidas, pues normalmente se - encuentran asociadas emisiones de diferente composición (lavas y tobas) cuyas características geohidrológicas y de permeabilidad - resultan diferentes.

En el caso de los materiales poco consolidados los- mas importante desde el punto de vista del agua subterránea, ellos ofrecen una estructura heterogénea que obedece a la forma y medio

de depositación y cuyo funcionamiento geohidrológico resulta diferente porque existen diferencias en la estructura, granulometría y continuidad; tales condiciones se presentan por ejemplo - de cuencas cerradas (bolsones), rellenos de valle o depósitos de llanuras costeras.

Son muchos los casos en que las rocas y los suelos - presentan condiciones estructurales complicadas; en la práctica, las unidades geológicas simples y homogéneas, son poco frecuentes; por esa razón en un estudio geohidrológico, se tiende hacia la agrupación de rocas y suelos en unidades geohidrológicas o -- unidades hidroestratigráficas de acuerdo a sus características de permeabilidad.

Cuando se hace referencia a una unidad geohidrológica, se piensa en una agrupación de rocas o suelos con características hidrológicas similares, de manera de evitar trabajos demasiado detallados, innecesarios para el estudio del agua subterránea y cuando se hace mención de unidades hidroestratigráficas se trata de una investigación estratigráfica que se efectúa como -- parte de un modelo hidrológico, en la cual se trata de agrupar -- formaciones contiguas con las mismas características geohidrológicas, independientemente del piso o período geológico a que pertenezcan.

Es muy frecuente, por ejemplo, que paquetes grandes de areniscas o calizas que presentan divisiones estratigráficas y que presentan varios pisos contiguos, desde el punto de vista geohidrológico pueden resultar acuíferos, entonces para el estudio del agua subterránea se trata de una unidad hidroestratigráfica. También es cierto que a menudo formaciones estratigráficas cuando son homogéneas pueden corresponder a unidades hidroestratigráficas, o también de una sola formación, por cambio de -- facies, se puede derivar otra unidad,

En suma la delimitación de las fronteras, de las unidades geohidrológicas e hidroestratigráficas en superficie, complementada con informaciones que situen estas unidades en el espacio, permitirá llegar a la conclusión de que se puede tener -- una clasificación de modelos geohidrológicos en un número menor de categorías que las que pudieran derivarse únicamente por el -- análisis geológico de cada una de las diferentes condiciones que se presentan en las provincias geológicas mencionadas.

c.- Análisis del uso del suelo. - Otro tipo de análisis que se realiza por medio de la fotointerpretación con fines de -- investigar el agua subterránea, es el de estimar los volúmenes -- de extracción mediante el uso del suelo por las actividades agrícolas, en zonas que están sujetas a explotación. Aunque este análisis requiere de contar con fotografías actualizadas, a veces -- es necesario realizarlos, ya que la mayoría de las zonas donde -- se explota el agua subterránea con fines de irrigación, no se -- miden los caudales de extracción; por este motivo, en los estudios de cuantificación se recurre, el procedimiento de considerar la superficies cultivadas y las láminas de riego utilizadas.

En este caso es relativamente fácil identificar en la fotografía aérea la superficie y el tipo de cultivo que riega cada pozo.

d).- Comprobación de campo.- La interpretación foto-geohidrológica no excluye los trabajos de campo sino que únicamente - los disminuye en un alto porcentaje y éllo necesariamente debe - realizarse atendiendo los rengiones mencionados, para un estudio geohidrológico; durante el trabajo de fotointerpretación, debe - señalarse los rasgos de interés para su comprobación así como -- los accesos a estos sitios de interés. Esto permitirá al fotointerprete rectificar o ratificar lo realizado durante la interpre- tación de los modelos estereoscópicos, complementando el estudio mediante el análisis, en los laboratorios, de las muestras de -- rocas suelos y agua que son colectados durante el reconocimiento de campo.

e).- Registro de la información obtenida.- Los resultados obtenidos mediante fotointerpretación y su correspondiente com- probación de campo, es conveniente reunirlos en unidades de igual característica para hacer una explicación práctica de las condi- ciones geohidrológicas y que puede ser de mucho interés por las- analogías que se presenten en otras provincias geológicas. Estas agrupaciones forman las unidades geohidrológicas o hidroestrati- gráficas cuyas fronteras se transfieren a plenos base o a mosai- cos fotográficos de contacto, a efecto de tener una base objeti- va donde se presenten conjuntamente, todos los factores que in- tervienen en el estudio y que deberá conducir prácticamente en - un plano de isopermeabilidad. La transferencia de datos a los -- mosaicos se puede hacer por comparación de los rasgos de las --- imágenes fotográficas y dados los niveles de estudio, que son de tipo regional, no se requiere que los mosaicos sean rectificadas.

Otro tipo de registro lo constituye las secciones trans- versales que con la información puntual de las perforaciones o - secciones de la geofísica, nos permitirá representar un modelo - tridimensional de la estructura del subsuelo, conjuntamente con- la morfología.

Al agrupar los diferentes tipos de materiales se buscará - la forma de hacerlo de una manera práctica, que explique a tra- vés de la simbología, tanto las características geológicas (mor- fología, petrografía, estratigrafía y estructura) adaptada a la- nomenclatura geológica de la región, como las características -- geohidrológicas de cada unidad hidroestratigráfica (permeabilidad condiciones de recarga, flujo y almacenamiento).

Cuando se trata de materiales no consolidados generalmente de tipo aluvial es conveniente registrar la información de acuer- do con la granulometría de los sedimentos utilizando el sistema - unificado de clasificación de suelos, para hacer mas comprensible las condiciones de permeabilidad. En el cuadro 1 se señala el sig- tema unificado de clasificación de suelos versión S.O.P. La utili- zación de símbolos, de esta clasificación, ayuda bastante a com- prender cual ha sido el proceso de la depositación en una zona de- terminada.

# SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (VERSION S.O.P.)

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Evaluando las partículas mayores de 75µm (3") y basándose en fracciones en peso volumétricas)					SIMBOLOS DEL GRUPO (+)	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS SUELOS	
<b>SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS</b>	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retiene en la malla N° 4. Para muestras inestables 1/2 en una tamalona de abertura de la malla N° 4.	GRAVAS LIMPIAS (Porcentaje de partículas finas)	AMPLIA GAMA EN LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.			GW	GRAVAS BIEN GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS	<p>Dee el nombre típico, indiquese los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, características de la superficie y dureza de las partículas gruesas; nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.</p> <p>Para los suelos inalterados agregarse información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.</p> <p>Ejemplo: Arena limosa, con grava, con un 20% de grava de partículas medias angulosas y de 4.5 cm de tamaño máximo, arena gruesa a fina de partículas redondeadas subangulosas, alrededor de 15% de finos no plásticos de baja resistencia en estado seco; compacto y húmedo en el lugar; arena aluvial (S 12)</p>
		GRAVAS CON FINOS (Cantidad de arena y partículas finas)	PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑOS CON AUSENCIA DE ALCUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS			GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS	
		ARENAS LIMPIAS (Porcentaje de partículas finas)	AMPLIA GAMA EN LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS			SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS	
		ARENAS CON FINOS (Cantidad de arena y partículas finas)	PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑOS CON AUSENCIA DE ALCUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS			SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS	
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4. Para muestras inestables 1/2 en una tamalona de abertura de la malla N° 4.	GRAVAS LIMPIAS (Porcentaje de partículas finas)	FRACCION FINA POCO O NADA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO ML ABAJO)			GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO	
		GRAVAS CON FINOS (Cantidad de arena y partículas finas)	FRACCION FINA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO CL ABAJO)			GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA	
		ARENAS LIMPIAS (Porcentaje de partículas finas)	FRACCION FINA POCO O NADA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO ML ABAJO)			SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO	
		ARENAS CON FINOS (Cantidad de arena y partículas finas)	FRACCION FINA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO CL ABAJO)			SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y ARCILLA	
PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40								
<b>SUELOS DE PARTICULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa la malla N° 200. (Las partículas de 0.075 mm de diámetro [malla N° 200] son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista)	<b>LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50</b>	SENSIBILIDAD A LA ESTABILIDAD (COMPACTACIONES AL 95% DE HUMEDAD)	DILATANCIA (FRACCION AL AGUADO)	PLASTICIDAD (CONSISTENCIA GENERAL DEL LIMITE PLASTICO)			<p>Dee el nombre típico, indiquese el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor, nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.</p> <p>Para los suelos inalterados agregarse información sobre la estructura, estratificación, consistencia tanto en estado inalterado como remolcado, condiciones de humedad y de drenaje.</p> <p>Ejemplo: Lima arcillosa, café, ligeramente plástica; porcentaje reducido de arena fina, numerosos agujeros por partículas de raíces, hules y otros restos de la hojarasca (ML)</p>	
		NULA A LIGERA	RÁPIDA A LENTA	NULA	ML	LIMOS INORGANICOS, POLVO DE ROCA, LIMOS ARENOSOS O ARCILLOSOS LIGERAMENTE PLASTICOS		
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	CL	ARCILLAS INORGANICAS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS POBRES		
		LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD		
	<b>LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50</b>	LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, LIMOS MICACEOS O DIATOMACEOS, LIMOS ELASTICOS.		
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA PLASTICIDAD, ARCILLAS FRANCAS		
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD, LIMOS ORGANICOS DE MEDIA PLASTICIDAD		
		FACILMENTE IDENTIFICABLES POR COLOR O LOR SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA			Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		

CLASIFICACIONES DE FRONTERA—Los nombres que describen las características de los grupos se designan con la combinación de los símbolos. Ejemplo: GW-GC mezcla de grava y arena bien graduada con cementante promedio. Todos los tamaños de las mallas de este código son los U.S. Standard.

f).- Interpretación de las condiciones geohidrológicas.-

La deducción de las condiciones geohidrológicas será el resultado de un análisis generalmente por provincias o cuencas hidrográficas, con el objeto de señalar las zonas de recarga, dirección de flujo y zonas de acumulación del agua subterránea, según la posición de las fronteras impermeables con relación a los acuíferos.

En las diferentes provincias se pueden presentar diferentes condiciones geohidrológicas cuyas características permiten definir las como acuíferos en:

piekemontes, aluviones recientes y antiguos  
valles y cursos de antiguos ríos  
llanuras aluviales  
llanuras costeras  
llanura de cuenca cerrada original, pero con procesos --  
actuales de drenaje exorreico  
sedimentos clásticos de baja cementación  
rocas volcánicas fracturadas, generalmente en alternan--  
cia con piroclásticos  
rocas de fracturación profunda  
rocas rígidas estratificadas y fracturadas  
rocas con cavidades de disolución  
rocas plegadas con estructuras favorables para una circu--  
lación y alimentación del agua subterránea.

Si observamos la carta geológica del país, se verá -- que esta variedad de condiciones pueden ser agrupadas y pueden -- integrarse los datos geológicos e hidrológicos a un modelo concep-- tual, bien definido por límites conocidos o supuestos, que luego -- se verificarán en el transcurso del estudio. En la práctica se -- pueden establecer algunos modelos como los siguientes:

Zonas de rocas volcánicas.- En el frente oriental de la Sierra Madre Occidental y en la parte central del país, exis-- ten valles intramontanos en donde se forman acuíferos, en los re-- llenos de aluviones y tobas redepositadas, cuyos límites tanto -- lateral como en el subsuelo, son de rocas volcánicas (riolitas, -- tobas y basalto); la alimentación es producida por los escurri-- mientos superficiales que descargan en los rellenos del valle y -- por el agua que circula por la fracturación subvertical que pre-- senta la propia roca volcánica. La circulación normalmente es ha-- cia el centro del valle, ya que en algunos casos éstas original-- mente fueron cuencas cerradas y actualmente por erosión pueden -- permitir la salida del escurrimiento superficial y en ocasiones -- del flujo subterráneo.

También es posible las salidas del flujo subterráneo -- por zonas de fracturación profunda. En estas zonas generalmente -- constituidas por una alternancia de lavas y tobas, los primeros -- pueden permitir la circulación del agua debida a la fracturación.

Zonas de cuencas cerradas.- En la mesa del norte, --- existen zonas de cuencas cerradas cuyos rellenos están limitados -- por sedimentos calcáreos y arcillosos; en muchos casos las depre--

siones fueron rellenos de sedimentos de naturaleza arcillosa provenientes de montañas con cobertura de formaciones del cretácico superior (lutitas o calizas arcillosas). Al interpretar las condiciones de depósito en estas depresiones se observa una gradación de la granulometría con sedimentos gruesos en la periferia de la cuenca (piedemontes) y materiales finos en la parte central con condiciones de baja permeabilidad y formación de cuerpos de agua superficial sujeta a una evaporación intensa. Cuando existen materiales gruesos en la llanura, ellos están empacados en materiales finos; por estas condiciones los acuíferos resultan pobres y de mala calidad. En estas zonas pueden presentar atractivo las zonas que limitan los rellenos de cuenca o sean las rocas calcáreas, cuyas condiciones geohidrológicas están regidas por la estructura geológica, ya que paquetes de rocas calizas limitadas por sedimentos arcillosos, pueden llegar a presentar condiciones de confinamiento. El estudio de las calizas por sí solas constituye el análisis de demasiados factores y parámetros que es necesario integrarlos, para formar un modelo de tipo calcáreo que pueda ser de mucho interés, ya que tienen una distribución grande en el noreste y sureste del país.

Zonas de llanura costera. - Otro conjunto de características similares, que pueden llegar a formar un modelo conceptual, se presenta en las zonas costeras donde sedimentos de tipo continental están intercalados con sedimentos marinos y asociados también a desembocaduras de corrientes fluviales antiguos o modernos. Los límites laterales pueden ser de diferente naturaleza pero todos, en común, presentan una zona de interface, que por la estructura complicada de los sedimentos puede tener diferentes configuraciones. Lo mismo se puede decir de las condiciones de los acuíferos en la que la mayoría de las veces son del tipo semi confinados. Al analizar este modelo es necesario tener presente la mecánica de la sedimentación por efecto de las corrientes fluviales y por las variaciones en las condiciones ambientales en las costas ocasionada por las fluctuaciones del nivel del mar ocurrida principalmente en el Pleistoceno.

En estas notas se ha hablado de los modelos, basados con factores geológicos, que comúnmente se pueden interpretar en el estudio del agua subterránea; sin embargo hay que considerar que cada región o cuenca tiene sus características particulares y que cuando se analicen los cambios que se deben a factores de tipo climatológico, que es el otro factor mencionado al principio, se estará en condiciones de llegar a conclusiones más firmes respecto a la presencia del agua en el subsuelo. Por último hay que considerar que los factores geológicos y climáticos no son suficientes en el estudio del agua subterránea, y que es necesario introducir el tiempo para integrar efectivamente un modelo geohidrológico.

Finalmente para concluir, sólo es necesario reiterar que el estudio del agua subterránea, requiere de la participación interdisciplinaria y de la aplicación de varias tecnologías, entre las que se encuentra la interpretación de fotografías aéreas, de mucha utilidad para la determinación de los factores geológicos, que ayuden a establecer un modelo conceptual geohidrológico.

## BIBLIOGRAFIA

Las Doce Principales Reglas de la Interpretación Fotogeológica y las Bases Fundamentales de que se derivan.

Felipo Guerra Peña. 1961

Geomorphology.

Von Engel.

Photographie Aeriene Panorama Intertechnique.

Redacteur Pilote. R. Chevallier. Paris. 1965

Introducción a la Fotogrametría. Curso Especial de ---- Fotogeología.

C.I.A.F. Bogotá, Colombia. 1968

Manual of Photographic Interpretation.

The American Society of Photogrammetry. 1960

Notas del Seminario sobre -- Desarrollo y Manejo de Recursos Hídricos Subterráneos.

Buenos Aires, Argentina. 1971

Clasificación de los Materiales Pétreos y Suelos.

Secretaría de Obras Públicas. 1968

Prospección Fotogeohidrológica en las Zonas Áridas de -- México.

Robisel Chiñas Laló

Memoria Técnica del Ier. Congreso Nacional de Fotogrametría, Interpretación y Geodesia. 1971

Metodología para determinar la cuantía de los recursos de Agua Subterránea en una Región dada.

Ing. Ignacio Sainz Ortiz

Ing. Ruben Chávez Guillén

Memoria de la Primera reunión Nacional del Grupo de Perforación de Pozos.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

G E O F I S I C A

ING. RAYMOND VIGNAUD COMBAS

ABRIL, 1984

México, D. F., a 28 de Mayo de 1982.

Centro de Educación Continua, UNAM.  
Palacio de Minería  
México, I. D. F.

## CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA.

Métodos Indirectos (Geofísica)

Tema: Resistividad Eléctrica.

Ing. Raymond Vignaud Combas  
Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S. A.

---

### Introducción:

Si se emplea la palabra Geotécnica en su terminología técnica, la exploración geotécnica se limita a los problemas de Ingeniería Civil, quienes son, en su mayoría, problemas de cimentación. La concepción y el precio de una obra dependen muchas veces de la forma y de la naturaleza de los terrenos que constituyen el subsuelo.

El conocimiento de los terrenos de apoyo tiene una gran importancia en la concepción de los proyectos. La economía máxima para una seguridad fijada no puede ser alcanzada, si los datos "base" no son bastante seguros. Un conocimiento imperfecto del subsuelo trae como consecuencia un encarecimiento generalmente muy alto de los costos de la obra - - proyectada.

Dentro del contexto de las herramientas disponibles para la investigación del subsuelo con fines a obtener datos para un proyecto, se encuentra la geofísica (o métodos indirectos).

Aunque no cabe lugar aquí para hacer una exposición de los diferentes métodos geofísicos aplicables, no es inútil recordar lo que se entiende por prospección geofísica y cuales son los métodos más empleados.

Se entiende por prospección geofísica la realización de uno o varios estudios que agrupan un conjunto de medios de investigación del subsuelo, orientado hacia el estudio de las propiedades físicas del material. El número de propiedades físicas utilizables es bastante elevado y cada una de ellas puede ser explorada de varias maneras, así vemos que la cantidad de métodos de prospección geofísica es muy grande; no obstante, ellas se reducen a un tipo uniforme de exploración que consiste en obtener, a partir de la superficie, los valores de las variaciones de las magnitudes que existen, en forma natural o artificial, en el subsuelo. Este valor puede ser fijo o transitorio.

Los métodos más conocidos son:

- la gravimetría: que consiste en medir el valor del potencial de gravedad.
- los métodos magnéticos: que consiste en medir el valor del campo magnético terrestre.
- los métodos eléctricos: que se basan en el estudio de la corriente eléctrica existente naturalmente en el suelo (polarización espontánea, corrientes telúricas, etc.).
- los métodos eléctricos: llamados "de resistividad", en razón del parámetro físico que interviene en las mediciones.
- los métodos sísmicos: que consisten en el exámen de la propagación de una onda elástica en el subsuelo.
- Se puede todavía emplear mediciones de temperaturas, de radiación, etc. .

La finalidad de la prospección geofísica consiste en determinar las características del subsuelo a partir de mediciones efectuadas en la superficie.

Por el hecho de que todos estos métodos consisten en explorar un campo natural o artificial, el resultado obtenido será un resultado global y no puntual. Además, la calidad del resultado obtenido, por cualquier método, será función de la diferenciación existente entre el valor de cada estrato y el que lo subyace.

Por otra parte, hace falta agregar que, respecto a los aparatos de medición, la agudeza de los instrumentos y la distancia más o menos grande a la que ellos pierden prácticamente la sensibilidad, existe un cierto número de métodos que no puede ser empleado por necesitar un campo a gran escala. Generalmente las necesidades de los trabajos de geotecnia alcanzan áreas en donde tanto la superficie como la profundidad son pequeñas.

Es bueno mencionar que, por ser obtenidas a partir de la superficie, las mediciones se interpretarán más fácilmente, si el relieve topográfico es más regular.

En geotecnia, los únicos métodos que prácticamente se emplean, en la actualidad, son los métodos de resistividad y sísmicos, por ser aquellos los que necesitan poca área y facilidad de manejo como de interpretación. A continuación se expone el método de resistividad eléctrica.

#### Método de Resistividades :

En este método, tal como se había mencionado anteriormente, el parámetro que define las características de los diferentes estratos del subsuelo es la resistividad eléctrica específica.

Lo que se busca es la determinación de la repartición de las resistividades en función de la profundidad. El problema es teóricamente accesible por medio del estudio de las potenciales de superficie, a partir de una circulación de corriente determinada en el subsuelo; veamos el

problema.

Suponemos que se inyecta una corriente  $I$  en un punto  $A$  del medio a investigar (medio homogéneo, isótropo y de resistividad  $\rho$ ). Las superficies equipotenciales son naturalmente unas esferas centradas en  $A$  (ver fig. 1) y la ley de ohm entre las esferas de radio  $a$  y  $da$  permite escribir:

$$-dv = \rho I \cdot \frac{da}{4\pi a^2} \quad \text{y} \quad V = \frac{\rho \cdot I}{4\pi a}$$

Como realmente se trata de una semiesfera, tenemos:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi a} \quad \text{o} \quad \rho = 2\pi a \cdot \frac{V}{I} \quad (1)$$

Podemos así medir la resistividad conociendo la tensión y la corriente. Pero no es de gran utilidad conocer el valor puntual de la resistividad, por ser prácticamente imposible conocer el valor real de la tensión en un punto dado. Lo que se hace es medir una diferencia de potencial - entre dos puntos y en la práctica se emplea el esquema de las figuras 2 y 3.

Dos electrodos  $A$  y  $B$  ligados a un generador, inyectan una corriente  $I$  en el suelo y dos electrodos  $M$  y  $N$ , situados en línea con los primeros son unidos a un voltímetro dando la diferencia de potencial - que existe entre dos puntos.

Podemos considerar el campo eléctrico como la superposición de dos campos esféricos: el primero positivo, centrado en  $A$ , y el segundo negativo, centrado en  $B$ . Como estamos en un plano de simetría, las magnitudes se suman algebraicamente y la aplicación de la fórmula (1) da:

$$\begin{aligned} \text{Potencial en M:} \quad V_M &= \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \\ \text{Potencial en N:} \quad V_N &= \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \end{aligned}$$

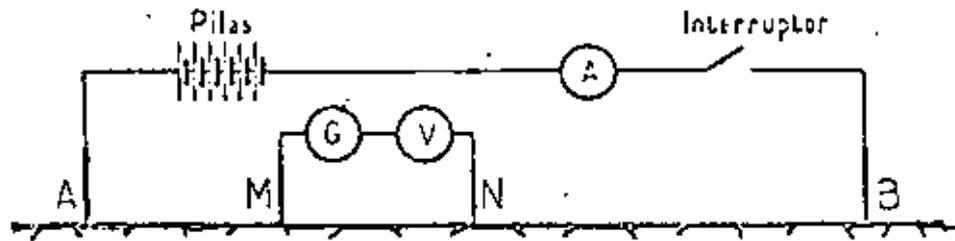


FIG. 3 ESQUEMA DE PRINCIPIO

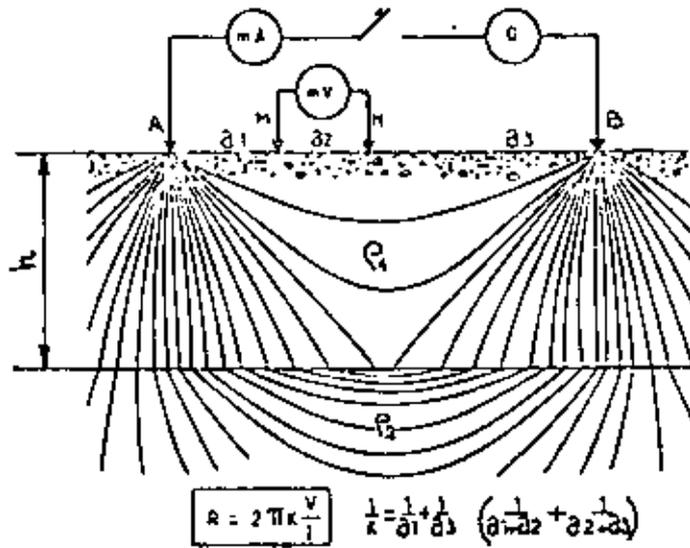
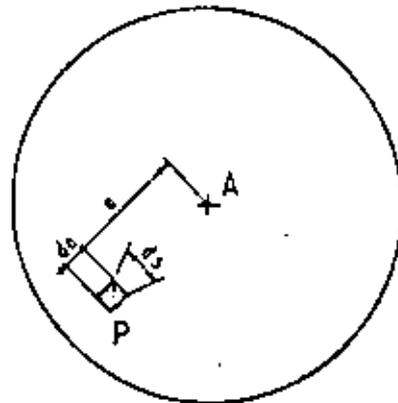


FIG. 2 : REPARTICION DE LAS LINEAS DE CORRIENTE

$$R = 2\pi k \frac{V}{I} \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)$$



$$FIG. 1 : -dv = \rho \frac{I}{A \pi r^2}$$

Diferencia de potencial medida :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{AN - AM}{AM \cdot AN} + \frac{BN - BM}{BM \cdot BN} \right) = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot MN \left( \frac{1}{AM \cdot AN} + \frac{1}{BM \cdot BN} \right)$$

Prácticamente se emplea siempre una repartición de electrodos simétrica en relación al medio de AB, y si llamamos  $2a$  la longitud MN y  $2d$  la longitud AB, tenemos la fórmula siguiente :

$$V = \frac{2\rho I}{\pi} \left( \frac{a}{d^2 - a^2} \right)$$

si conocemos la tensión  $V$ , la corriente  $I$  y las distancias  $a$  y  $d$ , podemos determinar la resistividad por la fórmula :

$$\rho = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V}{I} \cdot \frac{d^2 - a^2}{a} \quad (2)$$

En esta fórmula (2) si se mide  $V$  en milivoltios,  $I$  en miliamperios,  $d$  y  $a$  en metros, tenemos la resistividad en ohmios metro cuadrado por metro ( $\Omega m^2/m$ ), unidad usualmente empleada en geofísica, en la actualidad.

La fórmula (2), aunque establecida a partir de una hipótesis particular, es muy importante. En efecto, intuitivamente que cuanto más se parados se encuentran los electrodos A y B, más profundamente penetran en el suelo las líneas de corriente ; por consiguiente, en el caso de terrenos no homogéneos, la resistividad calculada a partir de la fórmula (2) tendrá una variación función de la relación entre el espaciamiento de los electrodos A, B y la profundidad. Es evidente que la aplicación de la fórmula (2) no nos daría la resistividad real de un estrato pero más bien un valor intermedio entre las resistividades de todos los terrenos atravezados por la corriente.

Se da el nombre de resistividad aparente al resultado del cálculo para diferenciarla del valor que sería obtenido "in situ". Esta resistividad aparente  $\rho_a$  tiene interés si está asociada a su magnitud geométrica, es

decir, a la distancia AB.

Estos principios anteriores van a permitir el entender de cómo se realiza un sondeo resistivo y cómo se puede interpretarlo.

Suponemos un terreno homogéneo horizontal de espesor  $h$  y de resistividad  $\rho_1$ , sobreyaciendo a un terreno de resistividad  $\rho_2$  y de espesor infinito (fig. No. 2). Vamos a calcular la resistividad aparente a partir de distancias crecientes entre los electrodos AB.

Al principio, únicamente el terreno superior será prácticamente interesado por las líneas de corriente y la resistividad aparente  $\rho_a$  será prácticamente igual a  $\rho_1$ . Poco a poco las líneas de corriente serán influenciadas por el terreno profundo y prácticamente  $\rho_a$  empezará a diferenciarse de  $\rho_1$ . Cuando la distancia AB será muy grande en comparación de  $h$ , la resistividad  $\rho_a$  variará asintóticamente hacia  $\rho_2$ . Generalmente, para poder determinar una profundidad  $h$ , hace falta tener una relación variable de 5 a 20 entre la profundidad real y la distancia AB, en esto interviene también la relación entre  $\rho_1$  y  $\rho_2$ .

El caso de dos terrenos es accesible para cálculo, se puede, con un cierto número de mediciones, determinar  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  y  $h$ . Siendo el cálculo generalmente penoso, se recurre al artificio de emplear ábacos.

En un diagrama logarítmico sin dimensión, se traza la familia de curvas calculadas de  $\rho_a / \rho_1$  en función de  $h/2d$  para diferentes valores de  $\rho_2 / \rho_1$ . Basta reportar sobre este diagrama la curva obtenida a partir de las mediciones de campo para tener, por extrapolación,  $\rho_2$  y  $h$ ; teniendo en cuenta que el valor de  $\rho_1$  es obtenido a partir de las mediciones iniciales.

Para facilitar el trabajo de interpretación se puede utilizar una serie de diagramas establecidos para diferentes resistividades.

Cuando el terreno está compuesto por varias capas horizontales, la interpretación se pone mucho más compleja. Evidentemente se puede emplear el artificio anterior (del ábaco) teniendo en cuenta, por ejemplo, que en el caso de tres capas, el número de parámetros variables es de 5

(tres resistividades y dos espesores) mientras que en el caso de 2 capas - este número es de 3 (dos resistividades y un espesor).

En el caso de tres capas, se obtiene un resultado conveniente -- cuando la segunda capa tiene un espesor suficientemente grande en relación a la primera y que su resistividad sea bastante distinta.

El problema se complica todavía más cuando existe una variación continua de resistividad en la misma capa, cuando las capas no son horizontales pero oblicuas y cuando el subsuelo no es isótropo (los esquistos por ejemplo), ver figs : 4 a 9.

La técnica de campo varía un poco según los aparatos empleados : la corriente enviada puede ser directa, directa alternada o alternativa a muy baja frecuencia. Para las investigaciones geofísicas destinadas a la Geotecnía, en donde las líneas de envío de corriente no pasan de 800 a 1000 m, no hace falta tener un generador muy potente, las intensidades alcanzadas son del orden de unos cuantos décimos de amperios a lo máximo.

Para los electrodos de envío de corriente (A y B) no hace falta tener un cuidado especial, sólomente intentar tener el mejor contacto posible con el suelo, para disminuir las resistencias de contacto. Para los electrodos de tensión (M y N) se puede emplear electrodos impolarizables o bien un metal buen conductor (tipo latón, cobre o acero inoxidable, etc...) con el fin de no introducir deformaciones del campo eléctrico en el momento de las lecturas. En el caso de trabajo con corriente directa, existe la necesidad de una corrección de la polarización natural del terreno.

En fin, los electrodos de tensión (M - N) pueden ser fijos (medición tipo Schlumberger) o móviles (medición tipo Wenner).

Existen otros medios de investigación basados en la resistividad - diferentes del sondeo eléctrico propiamente dicho; los principales son el "trainé" o calicata, el Racom - Lee y el registro eléctrico.

La calicata consiste en desplazar el conjunto tetrapolar AMNB - paralelamente ael mismo, guardando los espaciamentos fijos. Al contrario

del método resistivo que acabamos de analizar, que da la exploración en profundidad en un punto fijo de la superficie (por eso se llama sondeo eléctrico), la calicata es una exploración a profundidad constante. No se puede a partir de una calicata, deducir las profundidades de las capas; pero, se puede, por medio de este procedimiento, poner en evidencia las discontinuidades subverticales de los terrenos del subsuelo. Por ejemplo, si tenemos que determinar la línea de contacto entre dos terrenos verticales enmascarados por aluviones, realizaremos varios perfiles de calicatas: - con los resultados obtenidos podemos dibujar el mapa de las resistividades aparentes para una distancia constante entre los electrodos de corriente; no se podrá deducir gran cosa de las variaciones graduales de resistividad, pero se podrá generalmente definir con cierta exactitud los puntos de transición que se marcaron para la variación rápida de la resistividad aparente.

El Racom - Lee (o caída de potencial) es un método de exploración en donde los electrodos de corriente son fijos y los electrodos de tensión (en cantidad de tres) son móviles. Se emplea, desde el principio de la investigación, una distancia grande entre los electrodos de corriente y se realizan las mediciones a partir de una de ellas, considerando la otra al infinito.

Se supone que los tres electrodos de tensión están alineados con la emisión de corriente y se mide las tensiones entre el electrodo central y los dos extremos. Es fácil de darse cuenta que si el terreno es homogéneo, la proporción entre estas dos tensiones es constante cuando las distancias entre electrodos de tensión y el electrodo de corriente varían proporcionalmente.

Se puede, cuando el terreno no es homogéneo, trazar los diagramas dando la relación entre las tensiones medidas y la longitud (espaciamiento entre electrodo de corriente y electrodo central de tensión por ejemplo).

Este método es muy valioso, sobre todo, para definir contactos subverticales, porque tenemos mediciones mucho más finas y contrastadas que en el caso de una calicata: las variaciones de la relación de ---

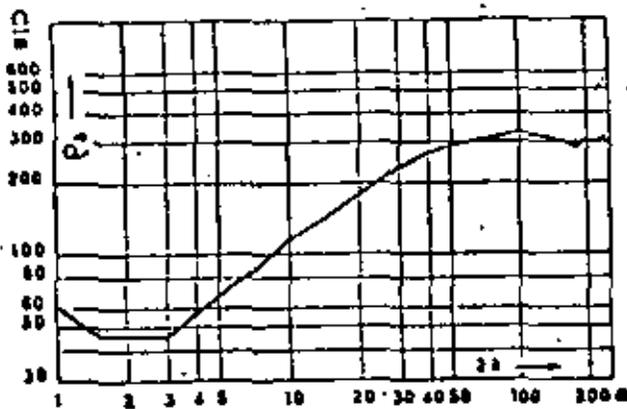


FIG. 4 : CASO :  $\rho_2 > \rho_1$

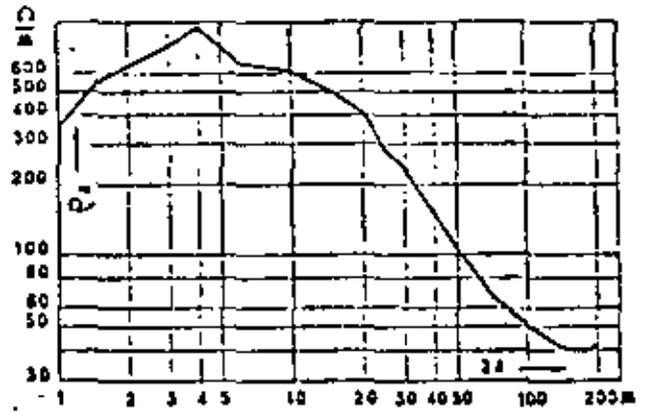


FIG. 5 CASO :  $\rho_2 < \rho_1$

MEDICION DE RESISTIVIDADES ( dos copos )

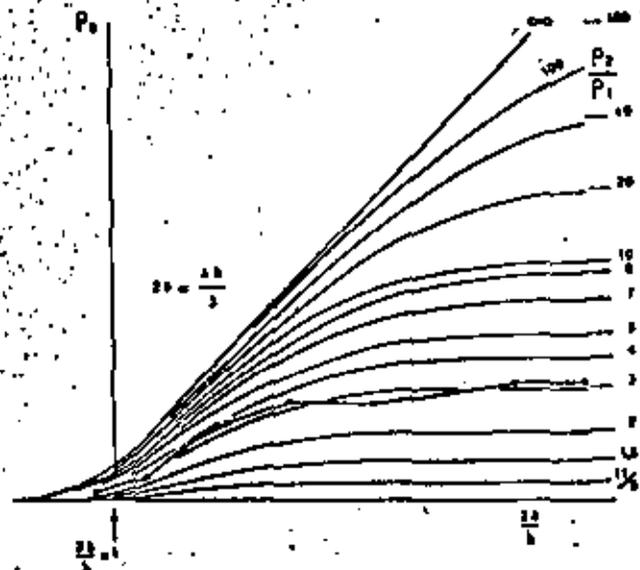


FIG. 6 : SUPERPOSICION DE LA CURVA DE CAMPO CON EL ABACO ( dos copos )

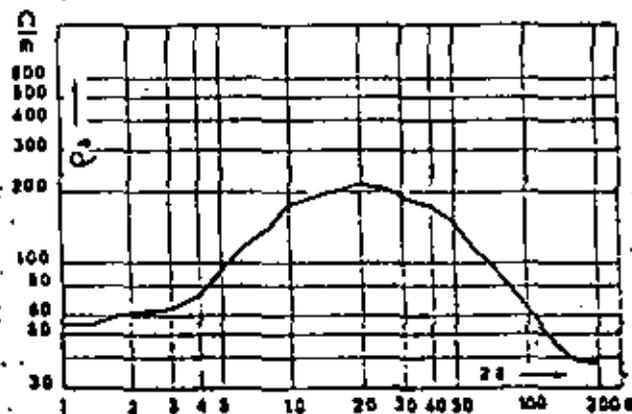


FIG. 7 : MEDICION DE RESISTIVIDADES ( tres copos ) -

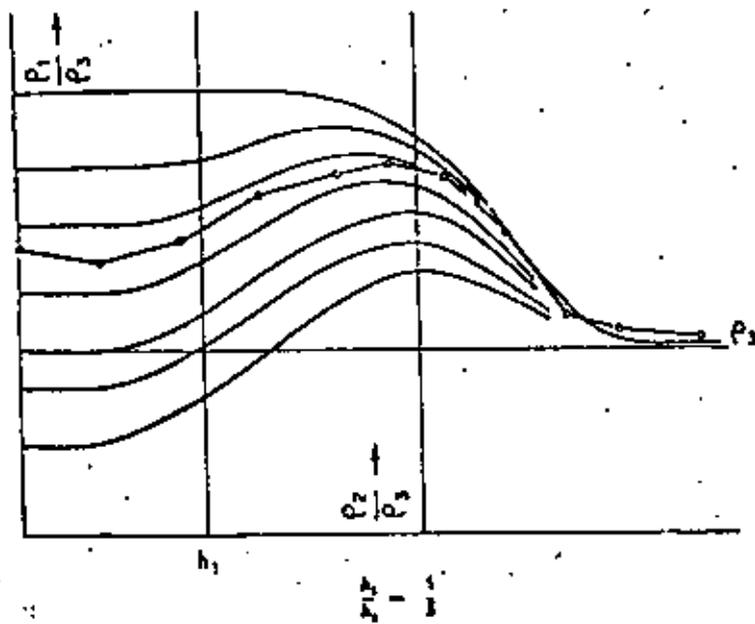


FIG. 8 : SUPERPOSICION DE LA CURVA DE CAMPO CON EL ABACO (tres capas)

CASO DE 3 CAPAS

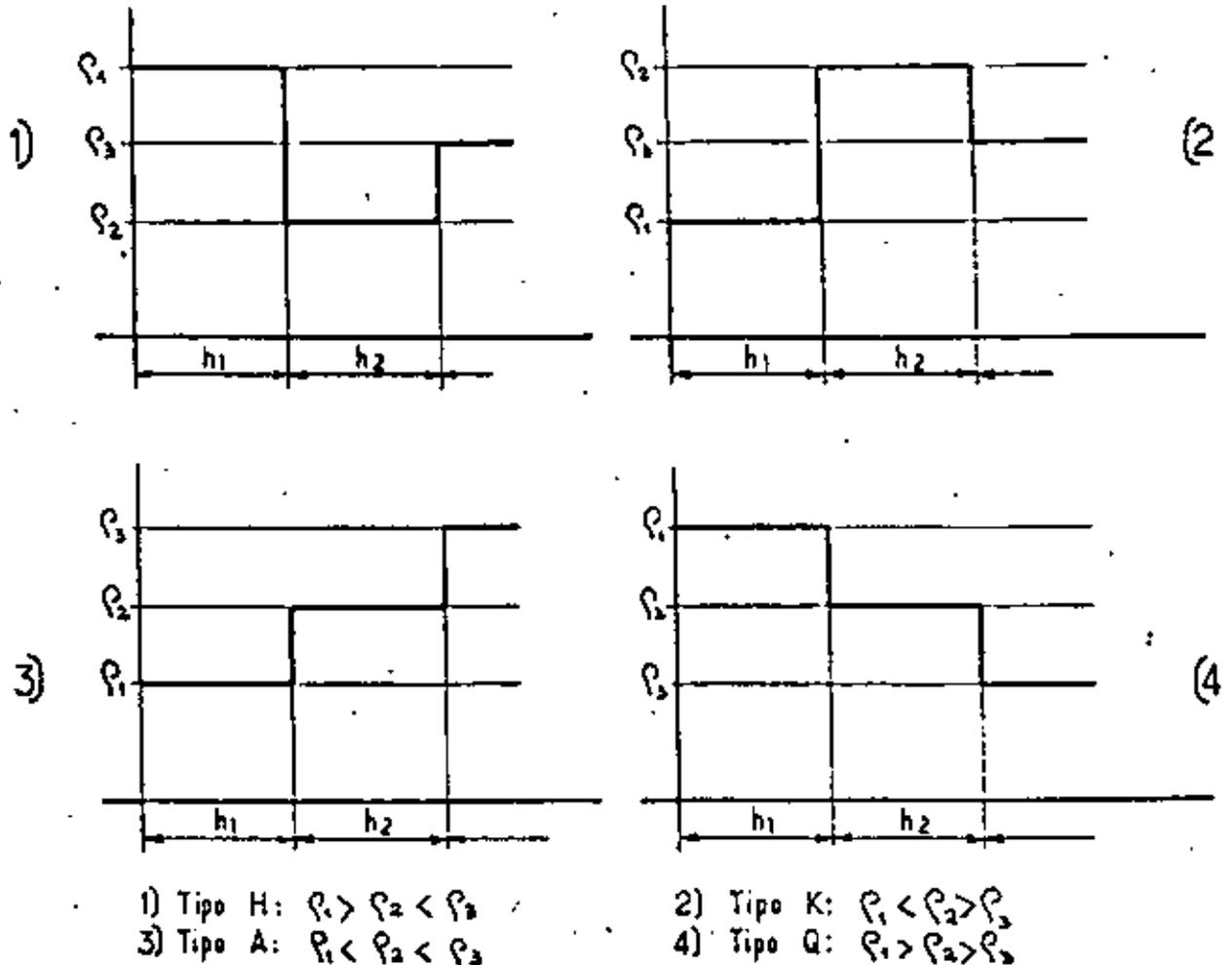


FIG. 9 : DIFERENTES CASOS DE RESISTIVIDADES QUE SE PUEDEN PRESENTAR PARA TRES CAPAS

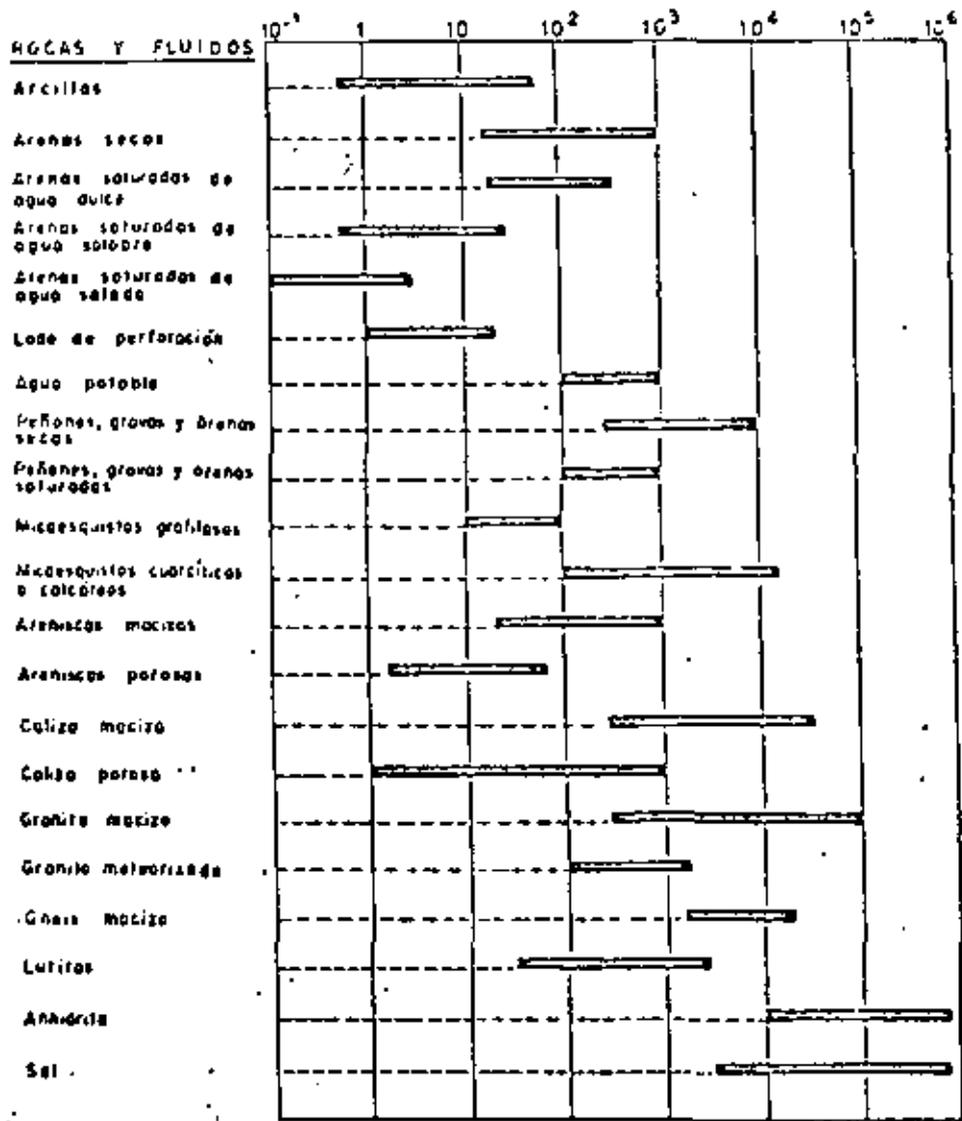


FIG. 10:

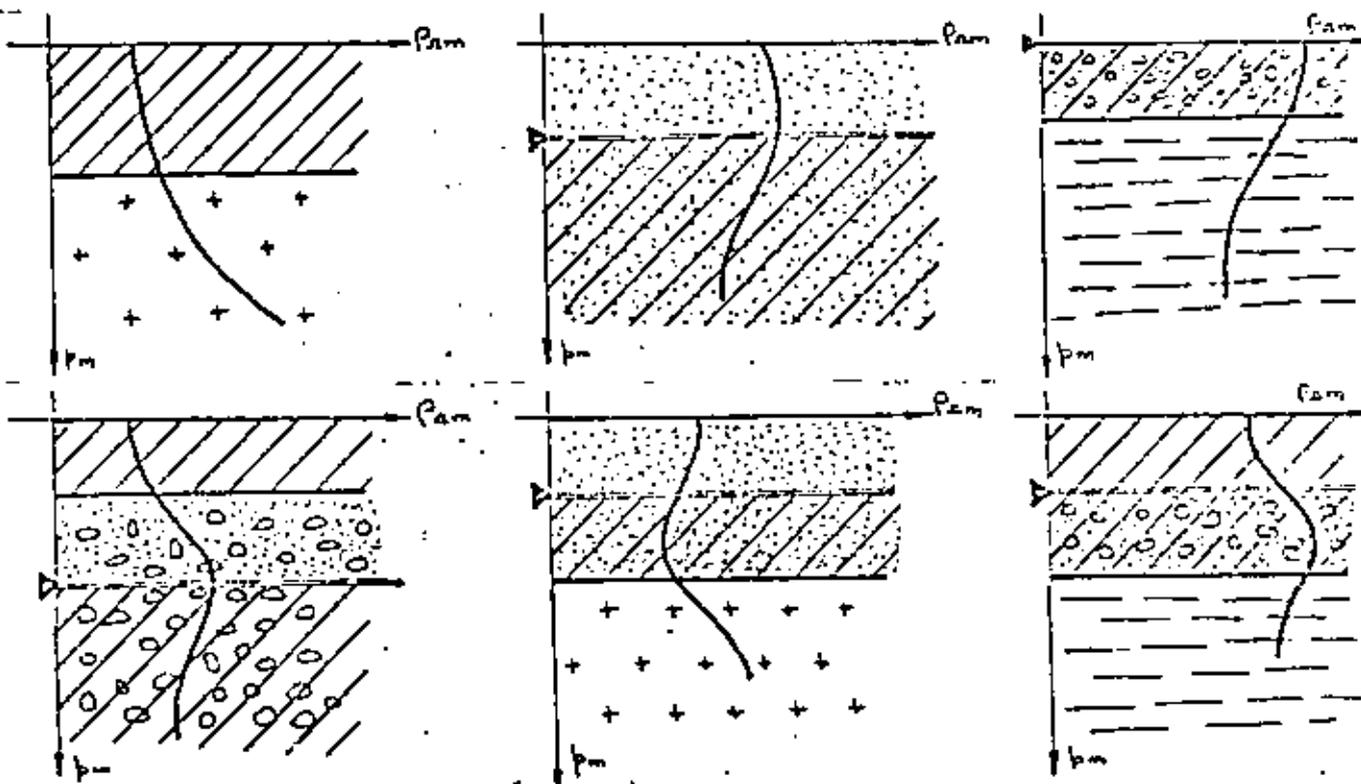


FIG. 11:

tensiones son mucho más rápidas en las proximidades de un contacto -- vertical que las de las resistividades aparentes de una calicata.

Se puede emplear variantes del Racom para definir la dirección de un buzamiento en relación a la superficie. Esta dirección puede ser obtenida haciendo mediciones de resistividad en tres direcciones alrededor de un punto. Se dibuja la elipse de resistividad en la cual uno de los ejes corresponde a la dirección del buzamiento.

El registro eléctrico consiste en la medición de resistividades a distintas profundidades de una perforación (sin entubados). Los dispositivos de medición son muy variados : este método permite verificar los resultados de un sondeo, o bien permitir la calibración de una prospección geofísica cuando no se tienen afloramientos cercanos, o bien cuando se quiere verificar la calibración, con más precisión, de la medición realizada en aflojamiento (diferencia de humedad o de alteración posible entre la roca en aflojamiento y la subyacente.)

---

A título informativo, la tabla de la fig. 10 indica el orden de variación de la resistividad de diferentes materiales. La figura 11 da una idea sobre las formas de las curvas de resistividad en función de diferentes materiales, teniendo en cuenta el nivel freático.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

REGISTROS ELECTRICOS

ING. LUIS LARA TRUJILLO

ABRIL, 1984

Introducción.- Los registros de pozos representan en la actualidad el método seguro y conveniente para la obtención de datos de subsuelo, al efectuarse la perforación de pozos que tienen como objetivo la localización de hidrocarburos, agua ó minerales. En general puede decirse que de acuerdo con la cantidad de información requerida así como su confiabilidad y costo, existen en la tecnología de registros varios tipos de métodos y herramientas, siendo en algunos casos necesario utilizar computadoras no solamente por la rapidez de obtención de resultados sino por lo complejo y/ó rutinario de los procedimientos de cálculo.

Las características ó propiedades físicas de las rocas, son de importancia básica para los distintos tipos de registros que existen: cuándo están parcial ó totalmente saturadas de agua, se aprovechan sus propiedades eléctricas; sus propiedades radiactivas ya sea en forma natural ó inducida por bombardeo de neutrones; sus propiedades de propagación de ondas acústicas; y su densidad y conductividad termal.

Atendiendo a razones de costo, los programas de registros en pozos de agua, se configuran sobre la base de un registro eléctrico y en ocasiones la curva de rayos gamma. La información obtenida a partir de éstos registros es complementada por el conocimiento geológico del área, muestras litológicas, observaciones sobre la perforación y cierta experiencia.

Con el objeto de lograr el aprovechamiento adecuado de los registros tomados en la perforación de pozos de agua, se describirán los métodos comunes, sus principios e interpretación de resultados.

Registro eléctrico. - Para nuestros propósitos, puede considerarse que un registro eléctrico es la gráfica de ciertas propiedades eléctricas de las rocas atravesadas por un pozo. Tales propiedades son medidas por dos ó más configuraciones de electrodos los cuales son bajados dentro del pozo por medio de cables eléctricos. Generalmente el registro eléctrico presenta dos gráficas diferentes: en la parte izquierda aparece el potencial espontáneo

también llamado SP, mientras que las mediciones registradas de la resistividad están en la porción derecha. Tanto el potencial natural como las resistividades, son registradas simultáneamente en una sola "corrida" ó viaje del instrumento.

Las mediciones de los parámetros mencionados, solo pueden efectuarse en los pozos que no tienen adams ó tubería de revestimiento y que estén llenos de un fluido conductor.

El procedimiento para obtener el registro eléctrico consiste en bajar un sistema de electrodos sobre un cable multiconductor aislado, hasta el fondo del pozo y al subirlo a la superficie ir registrando de acuerdo a la profundidad, las lecturas correspondientes a los parámetros medidos, sobre un papel con las escalas convenientes.

Potencial espontáneo.- La curva del potencial espontáneo, es el registro de los potenciales naturales que se generan en el pozo, siendo la representación de las diferencias de potencial que existe entre un electrodo colocado en la superficie y otro que se introduce al pozo.

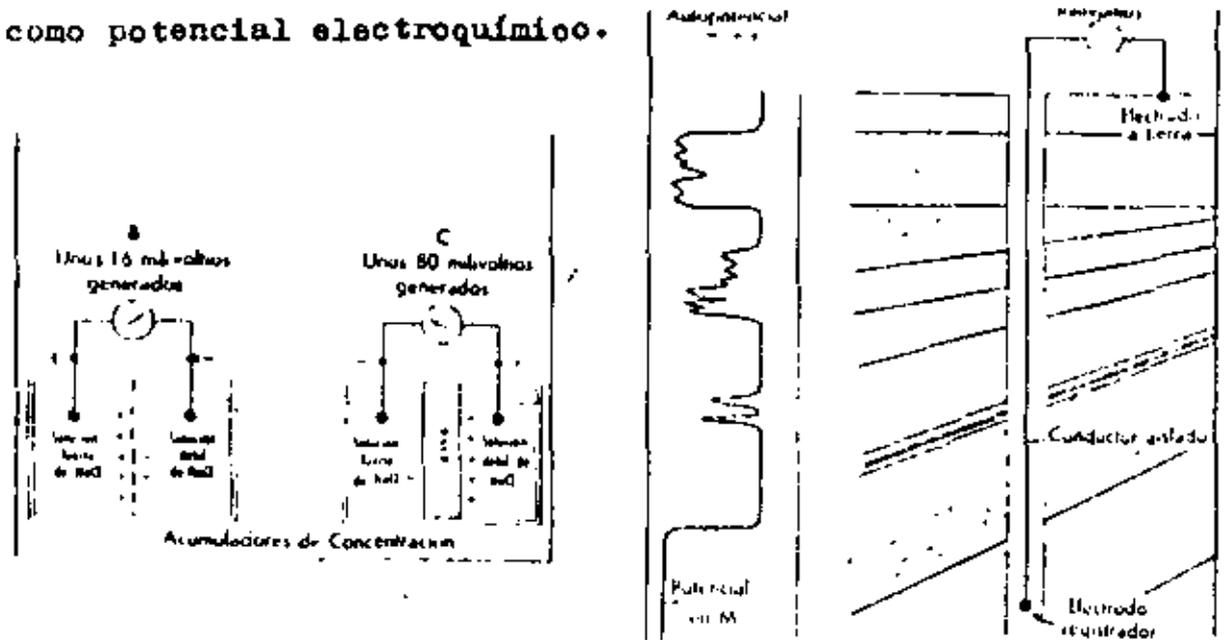
El potencial espontáneo es obtenido simultáneamente a otros registros. Las variaciones de la curva reflejan las diferencias de potencial entre puntos dentro del agujero frente a rocas porosas y puntos frente a cuerpos arcillosos. Cuando las rocas atravessadas están constituidas por capas de arcilla ó lutita, se observa que tienen aproximadamente el mismo potencial, lo cual provoca que en la curva del potencial espontáneo aparezca casi una línea recta vertical, llamada "línea base de lutitas". A partir de ésta línea base se miden las deflexiones de la curva ocasionadas por las otras rocas.

Generalmente la curva del potencial espontáneo permite obtener la siguiente información:

- 1.- El límite de capas y su espesor efectivo.
- 2.- Determinar en forma aproximada la resistividad -- (ó bien la salinidad) del agua contenida en la roca.
- 3.- Correlación de capas.

Experimentalmente se ha logrado demostrar que las principales fuentes de potencial que originan la curva del SP, son las siguientes: Potencial de difusión ó efecto de la pila de con-

concentración, potencial de membrana ó de Nerst y el potencial de electrofiltración ó de corriente. Los dos primeros son resultados de fenómenos electroquímicos y responsables principales de la curva del SP, por lo que sumando sus efectos, se les conoce como potencial electroquímico.



Los fenómenos electroquímicos que producen la mayor parte del potencial natural, se puede explicar por su analogía con las llamadas pilas de concentración. Estas se forman al contacto de dos soluciones salinas de diferente concentración: los iones  $Na^+$  y  $Cl^-$  pueden pasar de una solución a otra. Como los iones de  $Cl^-$  tienen mayor movilidad que los iones de  $Na^+$  resulta un flujo de cargas negativas de la solución más concentrada a la menos concentrada. Esto equivale a un flujo de corriente convencional en la dirección opuesta. El fenómeno se reproduce en un pozo en el límite de la zona invadida por el filtrado del lodo de perforación que ha penetrado a la formación y el agua que contiene ésta, produciendo el potencial de concentración.

Cuando una arcilla separa soluciones de  $NaCl$  de diferente concentración, los cationes  $Na^+$  se desplazan a través de la arcilla (las arcillas son permeables a los cationes  $Na^+$  e impermeables a los aniones  $Cl^-$ ), desde la solución más concentrada hacia la menos concentrada. Esta situación se presenta en los pozos cuando se encuentra una formación permeable entre dos cuerpos de arcilla, siendo las soluciones el filtrado del lodo de perforación y el agua intersticial.

El movimiento de iones de  $\text{Na}^+$  a través de la arcilla, desarrolla el potencial de membrana.

Tanto el contacto de las dos soluciones representadas por el filtrado del lodo de perforación y el agua contenida en la roca permeable, como la relación de las mismas a través de la arcilla producen la fuerza electromotriz electroquímica total, - que está representada por la siguiente ecuación:

$$E_c = -K \log \frac{a_w}{a_{mf}} \quad (1)$$

en donde:

- $E_c$  = fuerza electromotriz electroquímica.
- $a_w$  = actividad química del agua intersticial.
- $a_{mf}$  = actividad química del filtrado del lodo
- $K$  = coeficiente proporcional a la temperatura absoluta. Para soluciones de  $\text{NaCl}$  es igual a 71 á  $25^\circ\text{C}$ .

Para soluciones de  $\text{NaCl}$  no demasiado concentradas, las resistividades son inversamente proporcionales a las actividades químicas, por lo que la ecuación anterior se puede escribir:

$$SP = -K \log \frac{R_{mf}}{R_w} \quad (2)$$

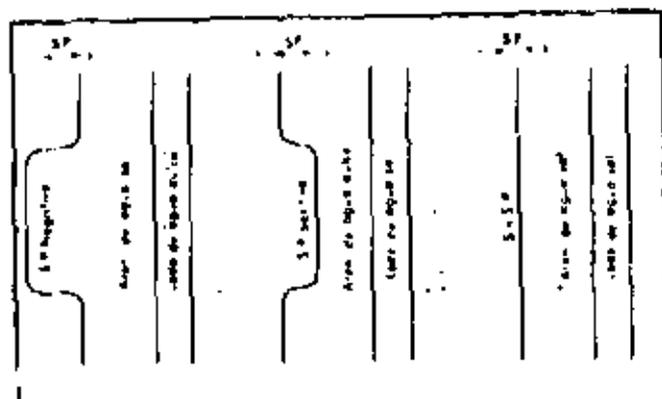
en donde:

- $SP$  = potencial espontáneo obtenido del registro.
- $R_{mf}$  = resistividad del filtrado del lodo.
- $R_w$  = resistividad del agua intersticial.
- $K$  = coeficiente proporcional a la temperatura abs.

Por lo anterior, en algunos casos es factible obtener un valor estimado de  $R_w$  (ó la salinidad del agua de formación), aunque teniendo en mente siempre que la fórmula (2) es una aproximación permisible cuando el contraste de salinidades entre el agua de formación y del filtrado del lodo es grande y la formación no contiene arcilla que pudiera reducir la amplitud del  $SP$ . En pozos de agua, donde el interés reside en la obtención de la salinidad de aguas útiles, ésta posibilidad se ve muy restringida, por lo que generalmente el uso de la curva del potencial espontáneo, es de tipo cualitativo.

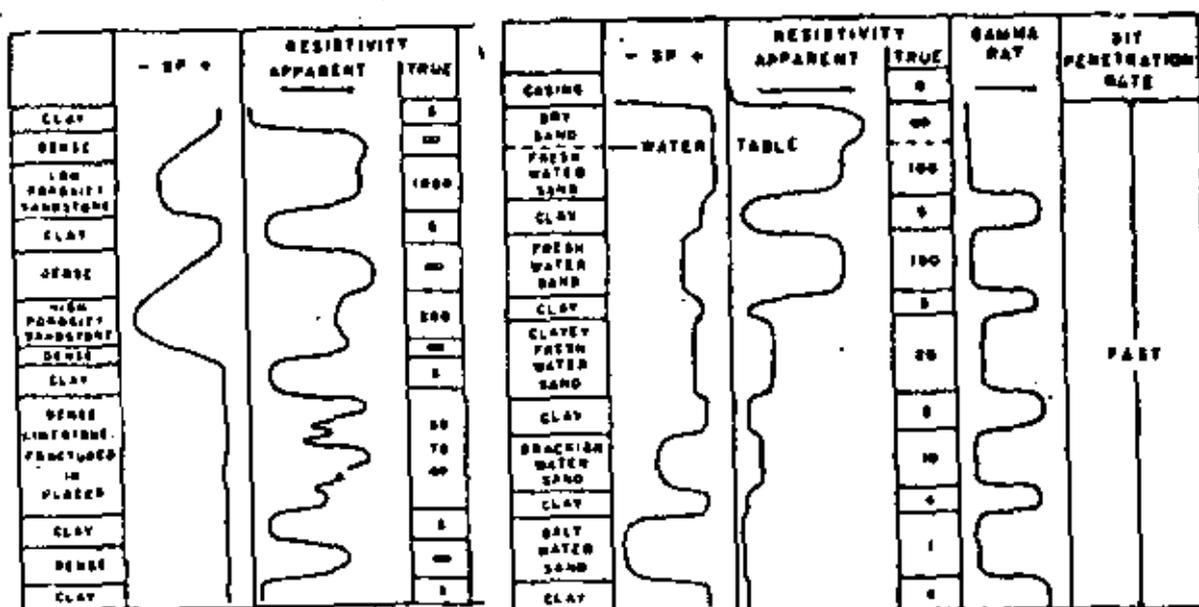
Tomando como referencia, la línea base de lutitas, el potencial espontáneo que es medido en milivolts, puede ser negativo si su deflexión es a la izquierda, positivo si la deflexión es a la derecha de la misma referencia ó bien nó dar ningún valor relativo.

De acuerdo al principio electroquímico que genera los potenciales dentro del pozo, se puede considerar como una regla: si la curva del potencial es negativa, el agua contenida en la roca es más salada que la del lodo de perforación; en cambio si es positiva, el agua intersticial es más dulce que la del lodo y si nó tiene expresión en uno ú otro sentido, el agua intersticial es muy semejante a la del lodo de perforación.



En la práctica, la medición del SP se obtiene mediante un circuito potenciométrico, que es conectado entre un electrodo móvil (M) y un electrodo fijo en la superficie (N). El medidor (R), registra las deflexiones del potencial por medio de un galvanómetro que responde a las variaciones de las corrientes que fluyen a través del circuito.

Existen algunos modelos teóricos de las curvas de potencial, aunque pueden existir diferencias notables con respecto a las curvas reales, siendo las principales las siguientes:



a.- Comúnmente la línea base de lutitas es recta y vertical, pero en algunos pozos y a profundidades someras, se desvía ya sea en forma total ó en los intervalos arcillosos y generalmente hacia la izquierda conforme decrece la profundidad.

b.- Cambio brusco en la línea base de lutitas, frecuentemente observado cuando hay un fuerte cambio en la salinidad de las aguas de formación.

c.- Inestabilidad en la curva del SP, principalmente en la parte superior de los agujeros en donde hay un movimiento apreciable de agua, como en los pozos artesianos, en donde la señal cambia constantemente, aún si el electrodo de registro se conserva estacionario. La inestabilidad desaparece abajo de la zona de agua en movimiento.

d.- Cambios de polaridad en la curva del potencial espontáneo en acuíferos de algunos pozos, aún teniendo sus aguas salinidades del mismo orden. Estos cambios son generalmente debidos a variaciones en el tipo de iones ó a las cantidades de algunos de esos iones.

Efecto de la porosidad: Aunque el potencial electroquímico no es influenciado por la porosidad, la amplitud de la curva -- del SP es indirectamente afectada por los cambios de porosidad. Una disminución en la porosidad de la roca, incrementa su resistividad reduciendo la amplitud de la curva del SP.

En acuíferos de tipo granular, empacados en formaciones arcillosas, la respuesta de la curva de potencial es clara y se puede considerar que: si las aguas en el acuífero son de mayor salinidad que el lodo de perforación, el SP es negativo y si las aguas son menos salinas que el lodo, el SP será positivo - con respecto a la línea base de lutitas.

Los acuíferos que se encuentran interestratificados con capas de arcilla y capas densas, tanto la forma como amplitud -- del potencial son diferentes de aquellos obtenidos en los acuíferos del caso anterior. La curva del potencial, generalmente se distorsiona y no puede por sí sola ser interpretada.

Cuando existen acuíferos asociados con rocas densas pero -- ausentes de capas arcillosas, el potencial electroquímico discutido anteriormente, prácticamente desaparece y, al no haber otra fuente de potencial, la curva del SP es aproximadamente -- una línea recta vertical.

Haciendo un resumen y mientras no se puedan aplicar las determinaciones cuantitativas de la curva del SP, es permisible -- utilizar cualitativamente el potencial espontáneo de acuerdo -- con las siguientes reglas generales:

1.- Los acuíferos que presentan un SP positivo bien definido ó estable, casi invariablemente contienen agua de menor salinidad que la contenida en el fluido de perforación.

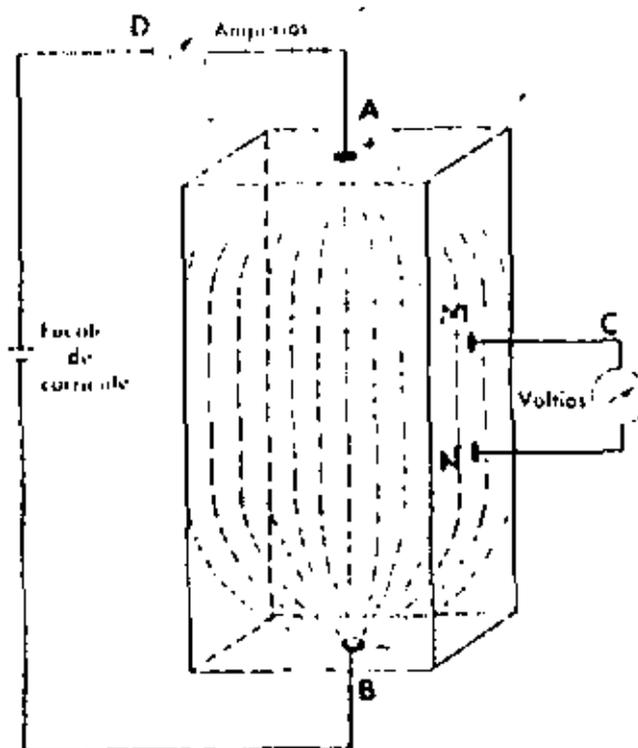
2.- En los intervalos en donde la amplitud del SP frente a los acuíferos potentes, permanece constante con respecto a la profundidad, todas las aguas de formación tienen aproximadamente la misma salinidad.

3.- Si la curva del SP en los acuíferos penetrados por un agujero, se presenta cada vez más negativo con la profundidad, indica que la salinidad de los acuíferos se incrementa con la profundidad.

4.- Los acuíferos que presentan un franco y amplio SP negativo, generalmente contienen aguas que son mucho más saladas que en donde el SP tiene una baja amplitud ó es positivo.

5.- Los cambios erráticos en la polaridad del SP, provocan que la amplitud del SP sea pequeña, pudiendo o no corresponder a cambios significativos en la salinidad del agua.

**RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS.**— La forma más simple de determinar la resistividad en las rocas, es considerar una muestra y conectar en las partes superior e inferior, los polos de un generador eléctrico. La corriente fluye del punto A al punto B a través de la muestra, siendo mayor el potencial en el punto A y teniendo una pérdida ó caída de potencial en el punto B debido a la resistencia eléctrica que ofrece la roca. La resistencia que ocasiona una pérdida de potencial entre M y N es una característica de la roca que está siendo analizada. A mayor resistencia eléctrica de la roca, corresponderá una mayor pérdida de presión entre los puntos M y N.



Si se considera una cierta unidad de volumen de roca, la resistencia ofrecida se puede considerar como una resistencia específica, llamada resistividad, la cual será una propiedad de la roca, independiente de la forma y dimensiones de la misma, en función únicamente de la naturaleza y temperatura del material considerado. En la práctica el efecto de la temperatura no es demasiado grande y puede ser despreciado, por lo que la resistividad de un material, puede ser considerada como dependiente de la naturaleza del mencionado material únicamente. Por otra parte, la resistencia es una propiedad eléctrica que depende no solamente de la

naturaleza del material considerado, sino también de la forma y dimensión de éste, siendo distinta por lo tanto, de la resistividad. Las expresiones que nos definen tanto una como otra propiedad, son las siguientes:

$$r = \frac{V}{I}, \text{ para la resistencia y}$$

$$R = \frac{r A}{L} \text{ para la resistividad.}$$

en donde:

I = corriente

V = Voltaje

R = resistividad del medio

r = resistencia del conductor ó de medio.

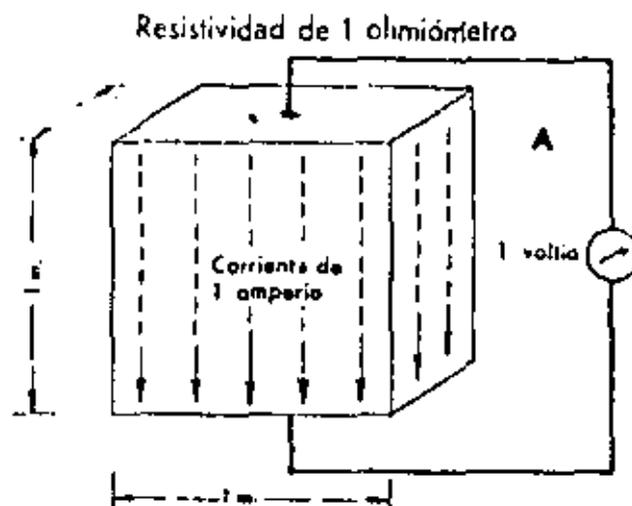
A = Area del conductor.

L = longitud del conductor.

Si la resistividad es la resistencia específica ó sea la resistencia por unidad de volumen, en las mediciones que se hacen de resistividad en los pozos, es común utilizar como unidad:

$\text{ohm} \times \frac{\text{metro}^2}{\text{metro}}$  ó simplemente ohm-metro.

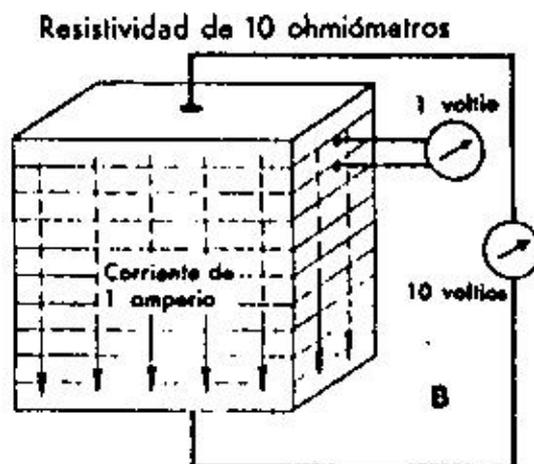
Para ilustrar el concepto, en la siguiente figura se tiene un cubo de un metro por lado de un determinado material,



Si la diferencia de potencial entre los extremos del cubo, es de un volt y la intensidad de corriente de un amperio, se tendrá representada la unidad de resistencia eléctrica:  $\frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ amperio}} = 1 \text{ ohm}$

y también la unidad de resistividad:  $1 \text{ ohm} \times \text{m}^2/\text{m}$ , utilizada en registros eléctricos.

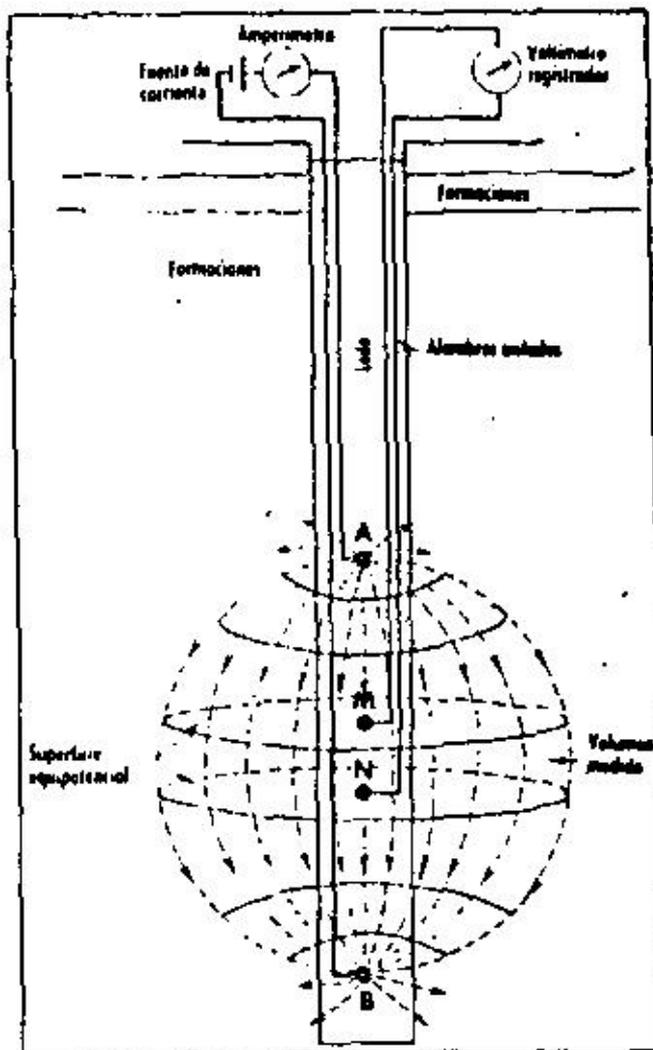
Si se tuviese el mismo volumen de roca y la misma corriente, pero una diferencia de potencial de 10 volts, la resistencia en tal caso será:  $\frac{10 \text{ volts}}{1 \text{ ampere}} = 10 \text{ ohms}$  y la resistividad igual a:  $10 \text{ ohms} \times \text{m}^2/\text{m}$ , que puede expresarse más comúnmente como 10 ohms-metro.



**MEDICION DE LA RESISTIVIDAD EN EL POZO.**— Para efectuar la medición de la resistividad en pozos, se pueden utilizar los registros convencionales de resistividad, en los cuales se envían corrientes a la formación a través de unos electrodos y se miden los potenciales eléctricos entre otros. La medición de éstos potenciales permite determinar las resistividades.

Considerando una formación homogénea, isotrópica y de extensión infinita, en la cual se encuentran los electrodos A, B, M y N. Una corriente eléctrica es enviada entre los electrodos A y B, la cual fluirá en una trayectoria esférica dentro de la formación. Utilizando los electrodos M y N para medir el voltaje entre ellos, se puede investigar la resistencia entre las dos superficies equipotenciales que pasan por M y N.

En la práctica el medio que rodea a los dispositivos de medida no es homogéneo, por lo que la corriente fluirá desde el electrodo que se envía, en forma distorsionada.

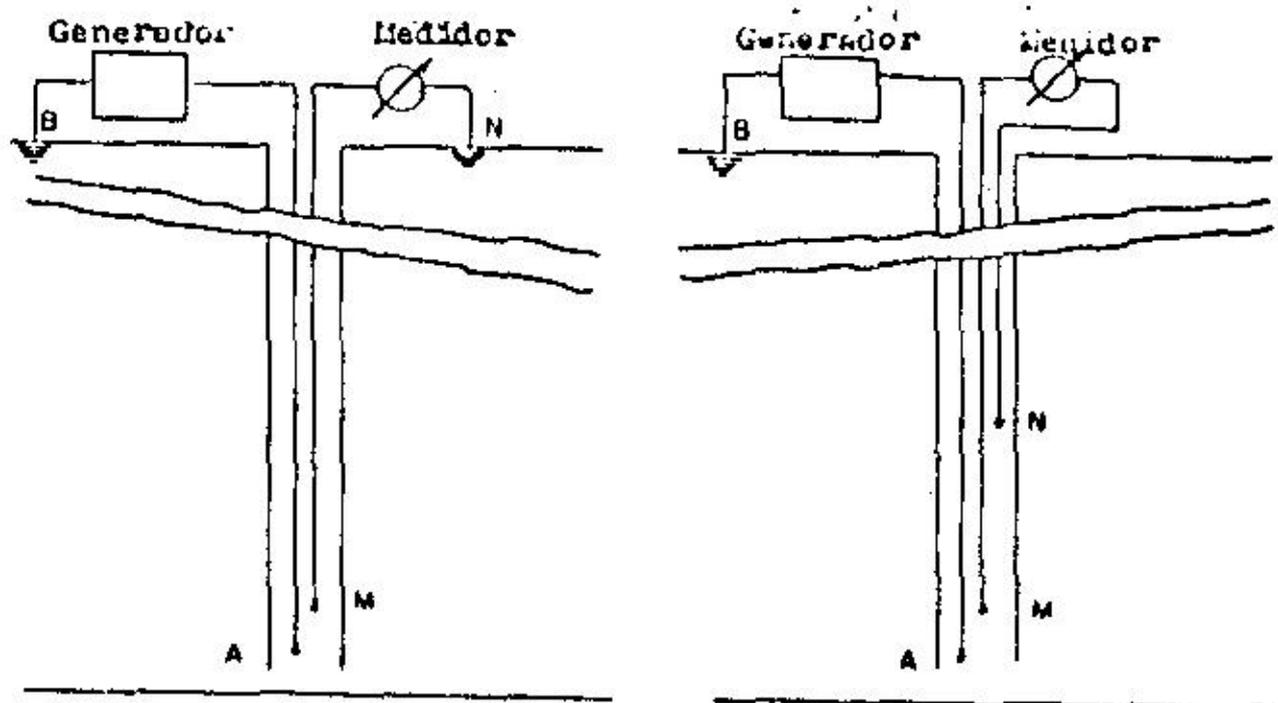


Los dispositivos usados para medir la resistividad, comúnmente llamados sondas, consisten fundamentalmente de un cable conductor múltiple que en el extremo que se introduce al pozo quedan dentro de un cilindro metálico, con orificios a ciertas distancias, en los cuales se localizan los electrodos. Con éstos - electrodos es posible formar distintos arreglos ó configuraciones de electrodos de medida y corriente. La distancia existente entre un electrodo de medida ( M ó N de las figuras) y uno de corriente ( A ó B en las figuras), se llama espaciamento, teniendo la particularidad de que a distintos espaciamentos miden la resistividad de las rocas a diferentes distancias a partir del eje del pozo. Si por penetración de la sonda se define el radio al cual la caída de potencial es el cincuenta por

oiento de la caída total, se tiene que para algunos arreglos la penetración de investigación es el doble del espaciamento.

De acuerdo con el arreglo ó disposición de los electrodos de medida y de corriente, se construyen sondas que reciben - nombres convencionales para su identificación por parte del analista y su diferenciación entre ellas.

SONDA NORMAL.- El dispositivo conocido con éste nombre, teóricamente lo integran un electrodo de corriente A y un electrodo de medida M dentro del pozo. Estos electrodos tienen - una separación ó espaciamento pequeño en comparación con - los otros electrodos B y N que cierran el circuito, que pueden quedar situados en la superficie. En la práctica el segundo electrodo de corriente B, también es bajado al pozo -- pero a una distancia tal del conjunto AM, que la influencia que pudiese tener en el potencial medido por M, en la mayoría de los casos es despreciable. El objeto de introducir también el electrodo B dentro del pozo, es el de utilizar el circuito para medir simultáneamente el potencial espontáneo. La figura siguiente ilustra tanto el circuito teórico como el - arreglo real utilizado.



A).- CIRCUITO DE DOS ELECTRODOS

B).- CIRCUITO REAL

El espaciamiento comunmente empleado en las sondas normales es de 0.40 m. y 1.60 m. Estas gráficas se toman al mismo tiempo y para diferenciarlas entre sí, una de ellas, la de 0.40 m. de espaciamiento, recibe el nombre de normal corta y su gráfica se hace con raya continua. La de 1.60 m. de espaciamiento se conoce como normal larga y se grafica con raya discontinua. Estas dos curvas de resistividad nos indican la resistividad en zonas someras y más o menos profundas, en donde exista en todas aquellas rocas permeables, un cierto contenido del filtrado del lodo, el cual ha desplazado o se ha mezclado con el fluido original de la roca. En otras palabras, las sondas normales estarán midiendo a una distancia tal del pozo, que los fluidos existentes en la formación han sido alterados por la introducción en ella del filtrado del lodo principalmente en aquellas rocas permeables que tienen una porosidad pobre o regular. Esta zona afectada por el filtrado del lodo se conoce con el nombre de "zona de invasión" o "zona invadida". En los casos de formaciones con alta porosidad la invasión no es profunda y probablemente las mediciones hechas por la normal larga no se encuentran afectadas por la invasión del filtrado del lodo.

Las curvas típicas registradas por un dispositivo normal, indican:

- a) La curva es simétrica con respecto al centro de la capa.
- b) Las capas que tienen un espesor menor que el espaciamiento, indicarán una baja resistividad o depresión en la curva.
- c) Debido a su corto espaciamiento y por lo tanto sujetas a la influencia del agujero y a la zona invadida, las curvas norma-

los no pueden ser adoptadas, en la mayoría de los casos, para mediciones directas de la resistividad verdadera ( $R_f$ ) de la formación.

#### SONDA LATERAL.

Cuando se tiene un arreglo tal que sean tres electrodos - los que se bajen al pozo, mientras que un cuarto electrodo es conservado en la superficie, se trata de un arreglo de tres electrodos o un arreglo "Lateral". Este dispositivo lateral fue diseñado para atravesar la zona de influencia del agujero y la zona de invasión e investigar la resistividad de la roca sin alteraciones. En la figura del circuito, dos electrodos M y N están relativamente cerca con respecto del electrodo A. La distancia desde A hasta O, punto medio de M y N, es considerado el espaciamiento y al referirse a él se hará como AO.

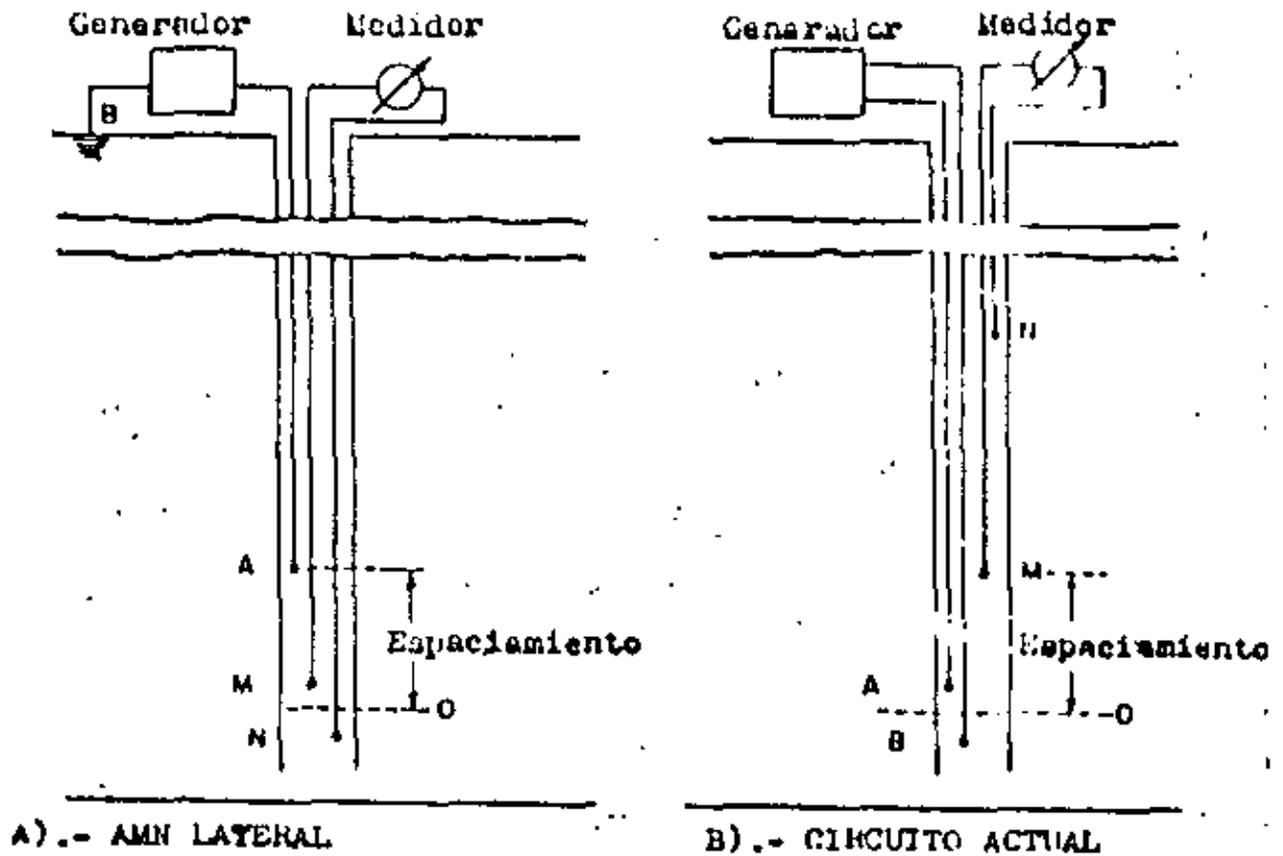


Figura 7

Aún cuando los efectos del agujero y de la zona invadida son despreciables en un espaciamiento  $AO$  suficientemente grande, las lecturas tomadas de este registro son consideradas como de una resistividad aparente ( $R_a$ ) de la formación, por lo que se ha de necesario aplicarles ciertas correcciones para convertirlas en resistividades verdaderas de la formación.

En la práctica el espaciamiento de la lateral es generalmente de 5.70 m. lo cual da un considerable radio de investigación, aunque también causa una pérdida de detalle en capas delgadas así como distorsión en determinados casos. Aún con estos inconvenientes, su uso en ocasiones es muy ventajoso.

Tipo de sonda	espaciamiento	radio de investigación
Normal corta	0.25 a 0.50 m	0.50 a 1.00 m.
Normal larga	0.50 a 2.00 m	1.00 a 2.00 m.
Lateral	4.00 a 10.00 m	4.00 a 10.00 m.

#### Características de investigación de distintos tipos de sondas

El concepto básico para la interpretación de las propiedades eléctricas de las rocas como auxiliar en el análisis de los fluidos contenidos en ellas, es el conocimiento que se tiene de que las rocas sedimentarias en general, tienen un cierto rango de porosidad ya sea de origen primario ó secundario y de que esos espacios intergranulares ó fracturas están ocupados generalmente por agua.

Una roca que tiene una porción de su volumen ocupado por agua, su resistividad depende en forma notable del tipo de agua contenida, pudiendo hacerse una diferenciación inicial entre una roca porosa que contiene agua salada y una roca semejante que contenga agua dulce, porque en el primer caso, o sea la roca con agua salada, como ésta es buena conductora de la electricidad, la resistencia ofrecida al paso de una corriente enviada a través de ese material será mínima, por lo que la resistividad medida en tales condiciones será baja; cosa distinta ocurre cuando ese mismo material poroso está ocupado por agua dulce, puesto que no es buen conductor eléctrico, dá por resultado que aparezcan valores más altos de resistividad al efectuarse su medición.

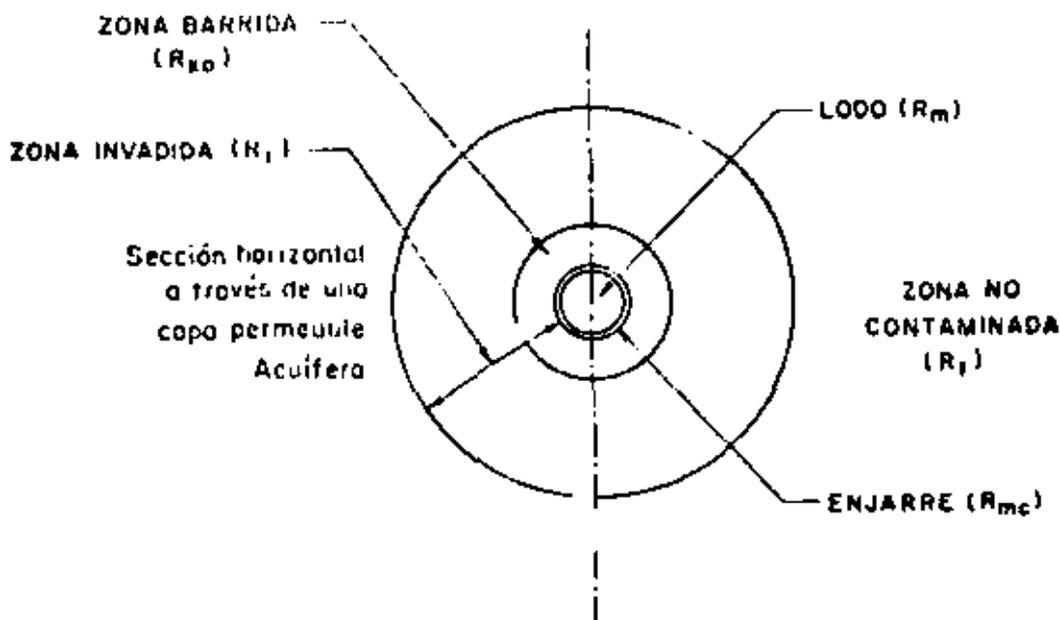
Esta característica general, que establece una diferenciación inicial entre los acuíferos de agua dulce y salada, por medio de sus resistividades, se combina con la medición del potencial espontáneo, que es la gráfica generada por los fenómenos electroquímicos de soluciones de distinta concentración, producidos en el pozo al entrar en contacto el filtrado del lodo de perforación, con el agua intersticial de las rocas. Efecto del filtrado del lodo en rocas permeables.- El lodo de perforación está constituido en términos generales por partículas coloidales y agua, siendo introducido durante la operación de perforación con una determinada presión por el interior de la tubería, sale por los orificios de la barrenas en el fondo del pozo y regresa a la superficie por el espacio existente --

entre el exterior de la tubería y las paredes del pozo.

En los intervalos permeables atravesados, la presión del lodo hace que se forme una película con las partículas en suspensión y penetre en la roca agua constituyente del lodo, que recibe el nombre de filtrado del lodo. El agua ó filtrado del lodo que penetra en la formación permeable, puede ser de distinta composición en cuanto a salinidad, que la existente en la roca, alterando por lo tanto la resistividad de la roca en esa zona en que ha penetrado el filtrado del lodo.

Debido a ósto fenómeno, se pueden distinguir a partir de la pared del pozo y en sentido horizontal, en la mayoría de las rocas permeables, las siguientes zonas:

- a). - Zona "lavada", que es la inmediata a la pared del pozo, y es donde probablemente haya habido un desplazamiento casi total del agua intersticial de la roca por la del filtrado del lodo.
- b).- Zona "invadida" ó de transición, es la zona inmediata a la zona lavada y que ha recibido parcialmente agua del filtrado del lodo.
- c).- Zona "no contaminada" que es la zona a donde no ha llegado el filtrado del lodo, conservándose intacta en cuanto a los fluidos originales de la roca.



La penetración del filtrado del lodo a la formación es variable, pues depende de varios factores que están un poco fuera de control, sin embargo, puede decirse que en lo relativo a la roca, mientras menor sea su porosidad, mayor puede ser la penetración del filtrado del lodo.

Para conocer con cierta confiabilidad a partir de la resistividad de la roca, si ésta contiene agua dulce ó agua salada, es indispensable tener la certeza de que las lecturas de resistividad han sido hechas en la zona no contaminada. Esta es la razón fundamental por la cual existen varias posibilidades de arreglos en las sondas, como son normal corta ó larga y lateral, ya que con una sola de ellas, aunque en muchos casos es suficiente, existe la posibilidad de que esté afectada su lectura por fenómenos de invasión del filtrado del lodo.

Clasificación de formaciones.- Para el propósito de interpretación de registros en pozos de agua, se ha encontrado conveniente clasificar las formaciones entre los siguientes grupos:

1.- Acuíferos granulares limpios. Comprende gravas, arenas, areniscas y rocas carbonatadas que tengan porosidad granular. el aluvión podría agregarse a éste grupo, si sus partículas no están compuestas de minerales arcillosos.

2.- Acuíferos granulares arcillosos.- Este grupo incluye cualquier acuífero granular que en parte esté compuesto de granos formados por minerales arcillosos ó contengan material arcilloso dentro de sus espacios porosos.

3.- Acuíferos fracturados. Representado por rocas fracturadas ó con juntas teniendo escasa ó ninguna porosidad de tipo granular.

4.- Acuíferos complejos, en los que la porosidad es un tipo diferente de los especificados anteriormente, por ejemplo, carbonatos que tienen porosidad granular y por fracturamiento, lava y rocas cavernosas.

5.- Formaciones densas, ó sea, rocas que tienen una porosidad efectiva tan baja, que normalmente no se podría obtener agua de ellas. Aparte de algunas rocas carbonatadas, se incluyen anhidrita, yeso, sal, así como muchas clases de rocas ígneas y metamórficas.

6.- Arcillas. En éste grupo se incluyen todas las formaciones que consisten de partículas muy finas, que reciban el nombre genérico de arcillas ó lutitas. Por tener todas ellas propiedades semejantes en cuanto al registro eléctrico y rayos gamma se refiere, por razones de simplicidad son llamadas arcillas.

Por conveniencia, especialmente en el análisis del registro de rayos gamma, cualquier formación de los grupos 1 a 5 es llamada "roca".

Si se considera como un acuífero limpio, el constituido por una estructura rocosa no conductiva y agua intersticial, su resistividad queda determinada por:

- a).- La resistividad ó salinidad del agua.
- b).- La cantidad de agua que contiene ó sea la porosidad de la roca.
- c).- La distribución y continuidad del agua contenida en los espacios porosos.

De acuerdo con lo anterior, se ha encontrado que la resistividad  $R_t$ , de un acuífero limpio puede expresarse así:

$$R_t = F \times R_w \quad (1)$$

en donde:

$R_w$  = resistividad del agua.

$F$  = es una constante que representa el efecto de la porosidad.

La constante  $F$ , es denominada factor de resistividad de la formación ó simplemente factor de formación y está dada por la siguiente fórmula:

$$F = A/\phi^m \quad (2)$$

en donde:

$\phi$  = porosidad efectiva.

$A$  = constante que se determina empíricamente.

$m$  = factor de cementación.

La resistividad del agua  $R_w$ , decrece cuando la salinidad se incrementa. A una temperatura dada, la resistividad del agua está en relación con el contenido de sólidos disueltos, en partes por millón (ppm), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R_w = k/\text{ppm} \quad (3)$$

en donde  $k$  es un factor que es aproximadamente constante para una sal, cuando la concentración es baja (menos de 3000 ppm de sólidos disueltos). Para aguas de baja salinidad,  $k=6500$  a  $25^\circ\text{C}$ .

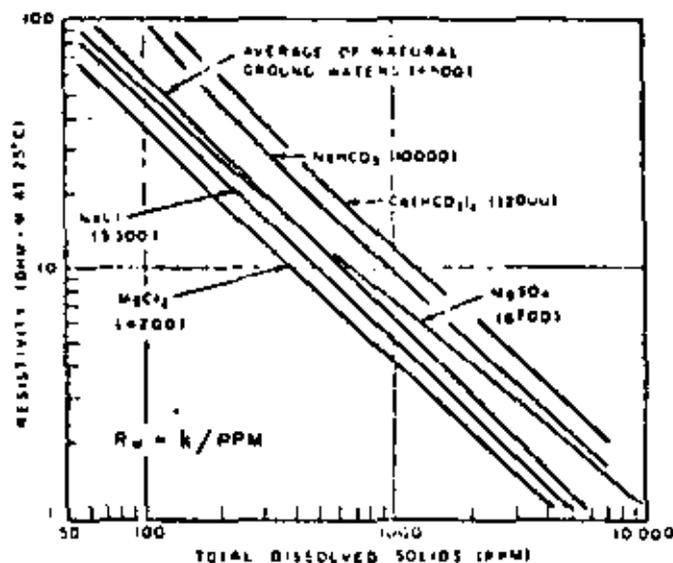


Fig. 1 - Relation resistivity vs. total dissolved solids at 25°C. Figures in parentheses are k values. (After Agriculture Handbook 60, USDA).

Para rocas granulares limpias, que tienen una porosidad mayor del 10 por ciento, A y m tienen los siguientes valores:  
rocas poco cementadas ó no cementadas:

$$F = \frac{0.62}{\phi^{2.15}}$$

rocas que están más cementadas:

$$F = \frac{1}{\phi^2}$$

La siguiente figura ilustra la relación entre el factor de formación y la porosidad, utilizando los valores anteriores.

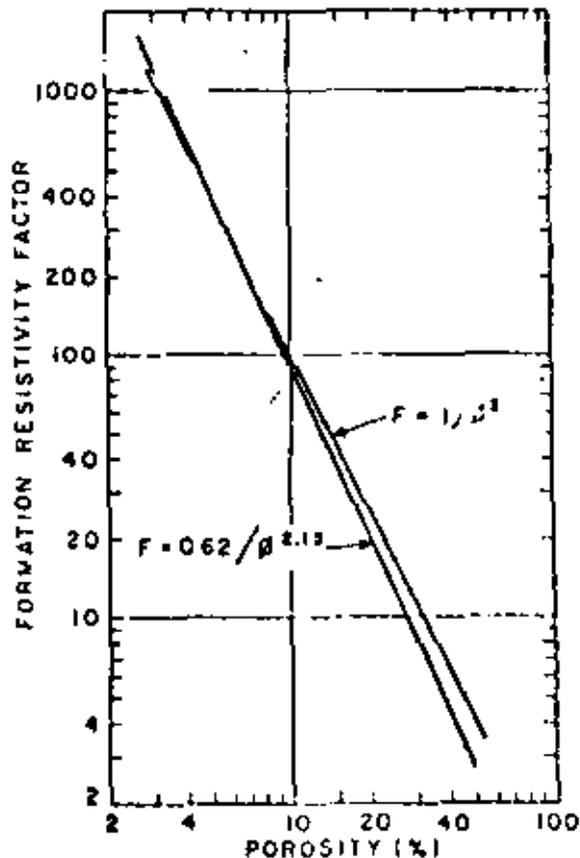


Fig. 2 - Approximate formation resistivity factor vs. porosity for granular aquifers.

Combinando las fórmulas (1), (2) y (3), así como el factor de formación de acuíferos granulares limpios, poco cementados, se obtiene:

$$R_t = \frac{0.62 k}{\phi^{2.15} \text{ ppm}} \quad (4)$$

La figura 3 es una carta basada en ésta fórmula, usando - para k el valor de 6500. Esto proporciona la resistividad de acuíferos granulares limpios, como una función de sus porosidades, expresados en porcentaje del volumen total, utilizando unos cuantos valores de salinidad de aguas. Este nomograma es solamente aproximado cuando se aplica a acuíferos particulares puesto que A, m y k, tienen asignados valores promedio; sin embargo, es confiable en forma estadística y aceptable cuando no existen nomogramas más exactos, especialmente cuando la porosidad es alta.

La geometría y continuidad de los espacios porosos, en materiales de baja porosidad granular, es bastante irregular y no es posible asignar a los parámetros A y m, promedios ó valores aproximados que pudieran ser aplicables a una roca dada. A pesar de lo anterior, la fórmula (4) ó la figura 3, pueden ser usadas para obtener datos semi-cuantitativos.

Se puede observar en la figura 3 que los otros factores permanecen constantes:

1.- Para las mayores porosidades, corresponden a las menores resistividades del acuífero.

2.- Para las más bajas salinidades del agua, corresponden las más altas resistividades del acuífero.

La porción superior derecha de la figura 3 corresponde a los acuíferos de agua dulce, comúnmente sus resistividades son del orden de 50 a 1000 ohm-m. Los acuíferos de agua salada y salada, de buena porosidad, tienen resistividades que son menores que los 50 ohm-m.

Los acuíferos no granulares, tienen una porosidad tan variable e irregularmente distribuida, que podría ser ilusorio buscar una expresión ó establecer una gráfica que relacione la resistividad con la porosidad. Todo lo que puede decirse con certeza es que la resistividad decrece cuando la porosidad ó salinidad del agua se incrementan, si los otros factores permanecen constantes.

Las rocas que no tienen porosidad efectiva, tienen resistividades extremadamente altas, generalmente del orden de 100,000 ohm-m.

En cuanto a resistividad se refiere, las arcillas pueden ser consideradas como un material granular, cuyos espacios porosos tienen una geometría particular. Por lo anterior, la fórmula (2) es aplicable, pero los parámetros  $A$  y  $m$  tienen valores que probablemente sean algo diferentes de aquellos previamente especificados.

Las arcillas tienen una alta porosidad y generalmente contienen agua salobre, dos factores que hacen que sus resistividades sean bajas: comúnmente en el rango de 2 a 10 ohm-m, esto es, que tienen más bajas resistividades que la de los acuíferos de agua dulce, con los que están asociadas. Este rango se muestra en la porción inferior derecha de la figura 3.

Acuíferos granulares arcillosos.- La arcilla diseminada — dentro de los espacios porosos, reduce la resistividad de los acuíferos de agua dulce. La figura 4 proporciona la resistividad reducida para un acuífero granular, como una función de su contenido arcilloso.

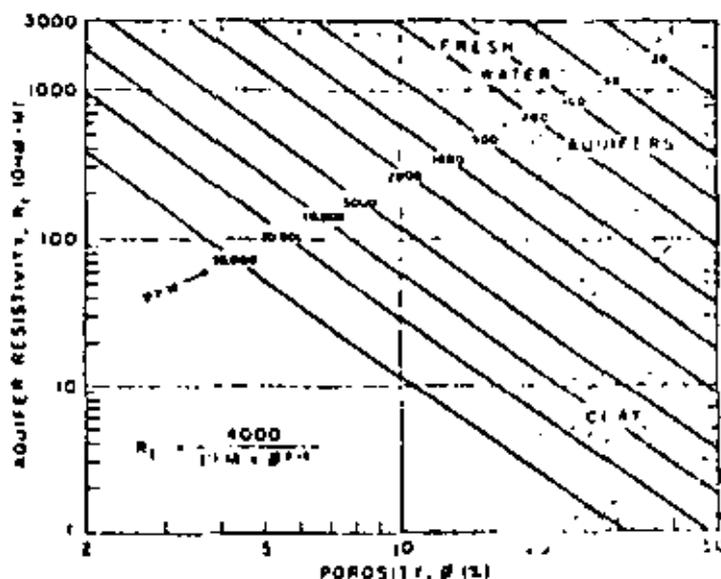


Fig. 4 - Apparent resistivity of granular aquifers as a function of porosity for fresh water aquifers.

La curva ó curvas de resistividad, se toman simultáneamente con la del potencial espontáneo y su conjunto es, como se mencionó anteriormente, el registro eléctrico.

La ventaja de disponer de dos ó más curvas de resistividad en un registro eléctrico, es la posibilidad de establecer con mayor confiabilidad, aún en el análisis cualitativo, si las lecturas de resistividad de la roca están efectuándose sin la influencia de agua filtrante durante la operación del pozo.

Como una guía general para el análisis cualitativo del registro eléctrico, se puede considerar la siguiente figura que representa un registro con dos curvas de resistividad con diferente espaciamiento y el potencial natural; el lodo de perforación es de agua dulce.

Las formaciones  $A_1$ ,  $A_2$ , ..., son de lutita considerando:

- a).- La uniformidad en la curva de potencial.
- b).- La resistividad es baja y muy semejante en valor en -- las dos curvas.

La formación B es una arenisca con interrelación de lutitas-- por las siguientes razones:

- a).- El potencial manifiesta amplitud negativa.
- b).- La resistividad mostrada en ambas curvas, tiene un valor ligeramente mayor que el de las lutitas, indicando que están presentes arena y lutitas.

La formación  $C_1$  es una arena con agua dulce por:

- a).- La curva del potencial natural es positiva.
- b).- Ambas curvas de resistividad muestran valores altos.

La formación  $C_2$  es una arena petrolífera debido a:

- a).- La curva de potencial espontáneo es negativa en forma -- amplia.
- b).- La resistividad con el espaciamiento corto, es mayor -- que la del otro espaciamiento por la influencia del fil-- trado del lodo.
- c).- La resistividad con el espaciamiento largo, también tie-- ne valor alto, atribuible a la presencia de petróleo.

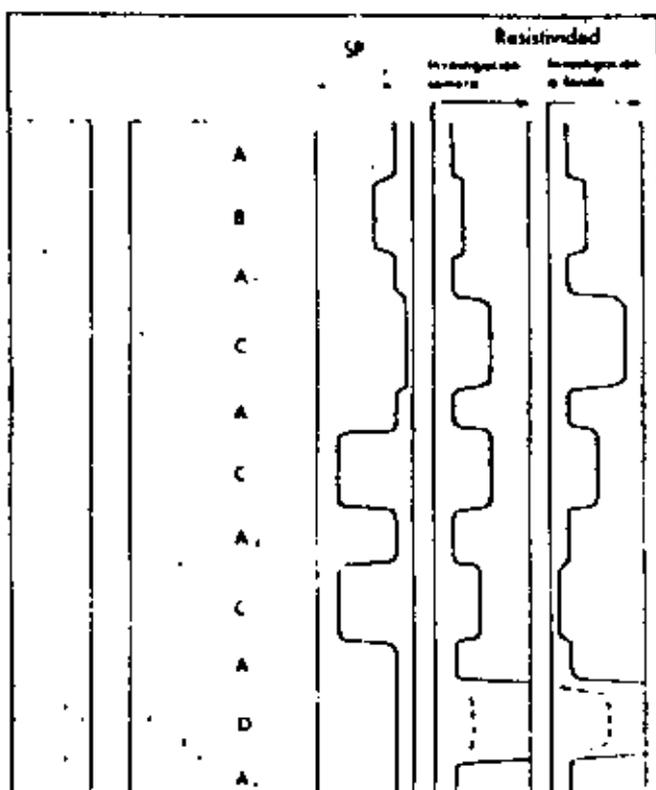
La formación  $C_3$ , es una arena con agua salada por:

- a).- El potencial muestra deflexión negativa amplia.
- b).- La resistividad del espaciamiento corto, es alta, debi-- do al desplazamiento del agua salada por agua dulce del filtrado del lodo.
- c).- La resistividad del espaciamiento largo es muy baja, -- por estar midiendo atrás de la zona lavada en donde la roca tiene agua salada que es conductiva.

La formación D es de una caliza dura por:

- a).- SP no tiene desplazamiento, indicando impermeabilidades en la roca.
- b).- Ambas resistividades son muy altas.

Estas reglas básicas para la interpretación de registros eléctricos, se complementan con la información geológica del área, así como de la obtenida durante la perforación del pozo. Es conveniente cuando el caso lo amerite, disponer de información que proporcionan otro tipo de registros como el microregistro, sísmico, radioactivo, etc.



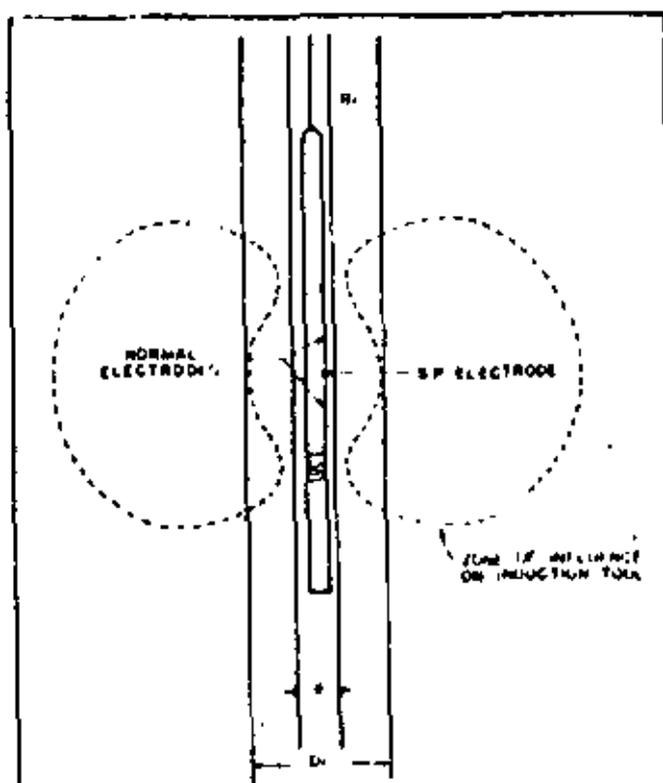
PRESENTACION ESQUEMATICA de las curvas típicas de los necesarios para establecer las reglas básicas de interpretación e S

## REGISTRO DE INDUCCION

Actualmente se encuentra generalizado el uso del registro de inducción para determinar de manera más confiable el tipo de fluidos contenidos en las rocas, sin influencia del filtrado del lodo que penetra en éstas durante la perforación del pozo.

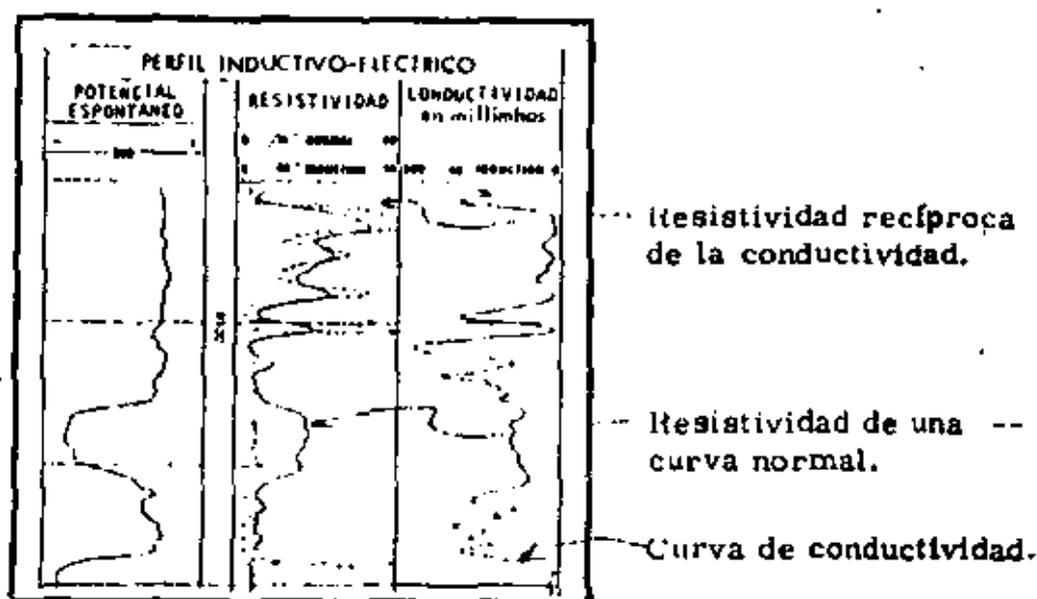
El registro de inducción mide la conductividad de las formaciones, mediante corrientes alternas inducidas. La resistividad en las rocas es determinada con el cálculo de la recíproca de la conductividad que se mide con el registro de inducción, apareciendo en la gráfica tanto los valores de resistividad calculados como los de conductividad.

Las sondas de inducción tienen un grupo ó sistema de varias bobinas transmisoras y receptoras. En forma esquemática se puede ver en la figura siguiente una bobina transmisora que envía corriente alterna de alta frecuencia y de intensidad constante, generando un campo magnético que induce corrientes secundarias en la formación. Estas corrientes crean a su vez campos magnéticos que inducen señales en la bobina receptora. Las señales recibidas son proporcionales a la conductividad de la formación.



El registro de inducción proporciona valores que requieren poca ó ninguna corrección por diámetro de agujero, resistividad del lodo, invasión del filtrado ó espesor de las capas. Tiene además la ventaja en la perforación de pozos de agua de no requerir para su funcionamiento, que exista algún líquido dentro del pozo, por lo que es el más conveniente en aquellos pozos que se perforan con pulseta.

La combinación del registro de inducción es al igual que el registro eléctrico convencional, pudiendo ser juntamente con una curva de potencial natural ó con una de rayos gamma para definir los estratos ó cuerpos litológicos que se atraviesan.



**REGISTRO DE RAYOS GAMMA.**— El registro de rayos gamma es una medida de la radioactividad natural de las formaciones. En las rocas sedimentarias refleja el contenido ó la presencia de lutita, esto es debido a que los elementos radioactivos tienden a concentrarse en arcillas y lutitas.

Las formaciones limpias (sin contenido de arcilla), tienen generalmente un nivel bajo de radioactividad, a menos que estén contaminadas con cenizas volcánicas, cantos rodados graníticos que sean radioactivos ó bien si sus aguas intersticiales tienen sales de potasio disueltas.

El registro de rayos gamma puede ser tomado en pozos que ya han sido adensados, lo cual lo hace útil en operaciones de reconodicionamiento.

La particularidad del registro de rayos gamma de identificar por su contenido radioactivo a las arcillas, diferenciándolas — de otras rocas, lo hace convenientemente sustituible del potencial espontáneo cuando éste no es satisfactorio.

Los rayos gamma son erupciones de ondas electromagnéticas de alta energía que son emitidas espontáneamente por algunos elementos radioactivos. Casi toda la radiación gamma en la tierra es emitida por el isótopo radioactivo del potasio de peso atómico 40 y por elementos radioactivos de la serie uranio y torio.

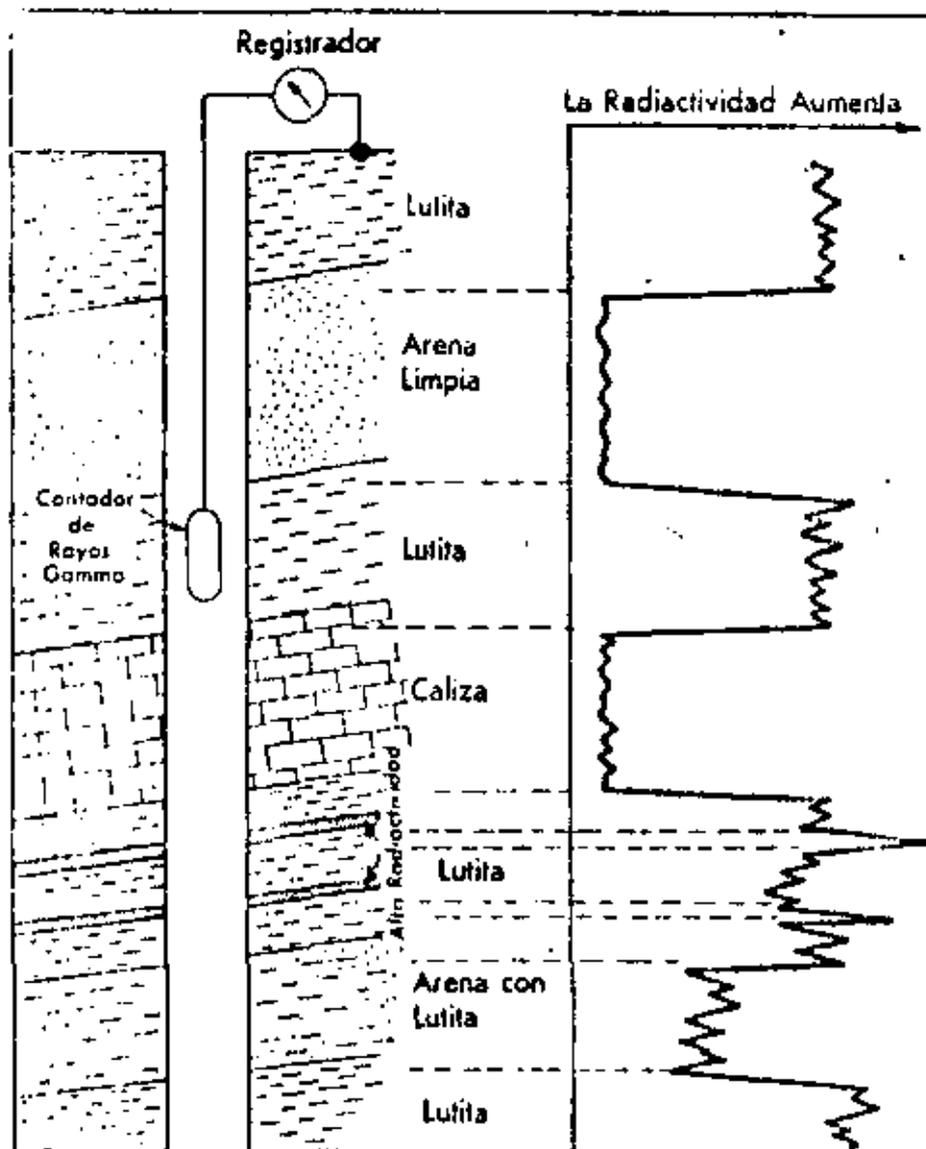
La emisión de los rayos gamma, por la desintegración de los elementos radioactivos, se hace juntamente con los rayos alfa y beta, pero éstos tienen un poder de penetración bajo a través de la materia por lo que no pueden ser medidos en un pozo.

La energía de los rayos gamma emitida por las rocas sedimentarias, es variable, pero en promedio es de 1 Mev, aunque la emitida por el potasio tiene una energía de 1.5 Mev.

Los rayos gamma, que son ondas electromagnéticas como la luz y el calor, no paran su penetración en forma repentina, sino que declina gradualmente con la distancia. En general se puede decir que la distancia investigada por el registro de rayos gamma es de aproximadamente 30 centímetros en acuíferos de arena y caliza. Detección de los rayos gamma.— Los rayos gamma no pueden ser detectados directamente, solamente a través de su interacción con la materia por medio del proceso de ionización; esto es liberando uno ó más electrones de átomos neutros. Debido a que tanto los iones y electrones están eléctricamente cargados, el proceso puede ser detectado.

Hay tres distintos tipos de detectores que han sido usados — para el registro de la radioactividad natural: La cámara de ionización, el contador Geiger-Mueller y el de centelleo.

Una tonelada métrica de una lutita promedio, contiene aproximadamente unos 6 gramos de uranio, 12 de torio y 20 kg de potasio aunque el potasio es cerca de 1/10,000 menos radioactivo. La contribución respectiva del potasio, uranio y torio, es de importancia comparable.



En la figura aparece en forma generalizada la respuesta de una sonda con registrador de rayos gamma en distintas formaciones. La radioactividad natural de las rocas se grafica de menor a mayor cantidad a partir de la izquierda de la pista, dando un aspecto muy semejante a la gráfica del potencial natural para facilitar en caso necesario, su comparación ó correlación.

La radioactividad total según la registra el detector se puede expresar en terminos del paso de un elemento (radio por ejemplo) que produzca una cantidad de radiación equivalente. Por lo tanto la intensidad de las rocas se puede calibrar en microgramos de radio equivalentes por tonelada métrica de esa formación. También se puede medir en unidades rayos gamma API. Las unidades API indican la radioactividad de una roca artificial que sirve de norma, en la que se han diseminado cantidades conocidas de uranio, torio y potasio. Todos los registros actuales están calibrados en unidades API.

La sonda de rayos gamma contiene un detector para medir la radiación originada en el volumen de formación cercano a la sonda. Se ha generalizado el uso de cintilómetros para la medición de la radioactividad en pozos. Son más eficientes que los contadores Geiger-Mueller que se usaban antes.

Los rayos gamma pueden ser registrados simultáneamente con otro tipo de curvas.

En la actualidad ningún equipo comercial permite la diferenciación de rayos gamma del potasio y de la serie de uranio y torio. Un equipo tal tendría que ser sensible a variaciones en el nivel de energía de los rayos gamma.

Variaciones estadísticas. Dada la naturaleza estadística de la radiación, el número de rayos gamma que llegan al contador fluctúa incluso cuando la sonda está inmóvil en el pozo. Las variaciones son más grandes para un número bajo de cuentas ó pulsos. Sin embargo el número de rayos gamma contados por segundo sobre un período de tiempo suficientemente largo será prácticamente constante. El período de tiempo necesario para obtener un buen promedio de cuentas, usualmente es de varios segundos.

Se utilizan circuitos amortiguadores de variaciones estadísticas a base de acoplamiento capacitor-resistor en los circuitos de medida, pudiendo seleccionarse distintas "constantes de tiempo" de acuerdo con el nivel de radioactividad medido.

El circuito amortiguador de variaciones estadísticas introduce un retraso en el registro de la señal y para evitar una excesiva distorsión en la curva, se elige una velocidad de registro tal que el contador no se desplace más de un pie durante una constante de tiempo. Así por ejemplo para una constante de tiempo de 2 segundos, la velocidad de registro es de 1800 pies/hora (550 metros/hora.)

### Aplicaciones del registro de rayos gamma.

1.- El registro de rayos gamma es particularmente útil para la definición de estratos de lutita, cuando la curva del SP está redondeada (en formaciones muy resistivas) ó cuando no tiene expresión por ser la resistividad del filtrado del lodo muy semejante a la del agua intersticial.

2.- Puede ser usado para efectuar correlaciones.

3.- Algunas veces el registro de rayos gamma es usado en relación con operaciones en que se usan trazadores radioactivos.

### Bibliografía:

F.L. Bryan

Application of Electric Logging to Water Well Problems.  
Water Well Journal, Vol. 4, No. 1, January-February, 1950.

Carl Gatlin

Petroleum Engineering. Drilling and Well Completions.  
Prentice-Hall, Inc. 1960.

Hubert Guyod:

"Interpretation of electric and gamma ray logs in water wells."  
The well Log Analysts - January-March 1966.

L.A. Puzin.

¿ Qué es Perfilaje de Pozos?  
Artículos publicados de junio a diciembre de 1962. Petróleo Interamericano.

P.G. Hamilton and J.I. Nyung.

Summary of Geophysical Well Logging. Birdwell Division.

Schlumberger Limited

Fundamentos de la interpretación de perfiles. julio de 1970.



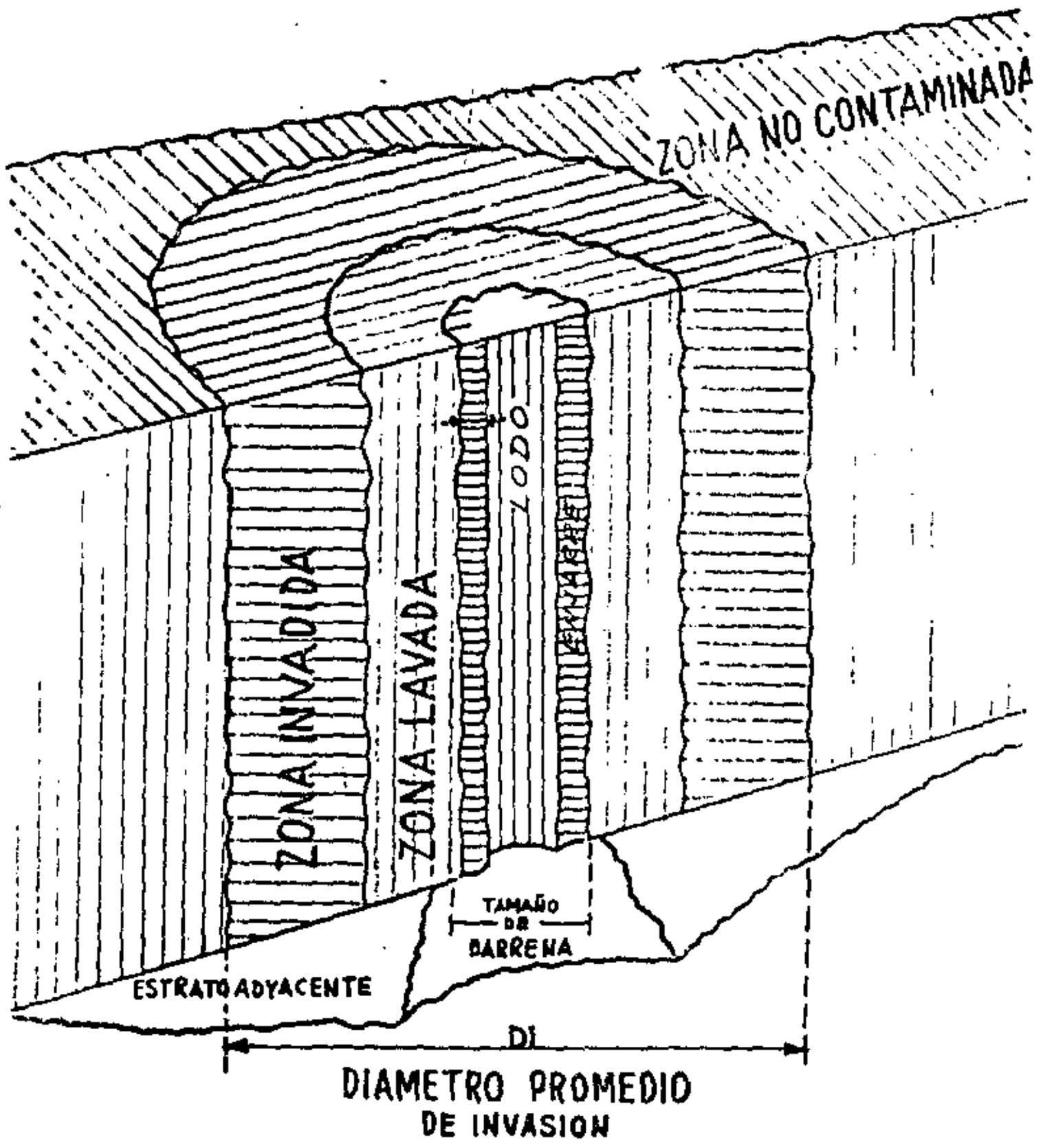
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

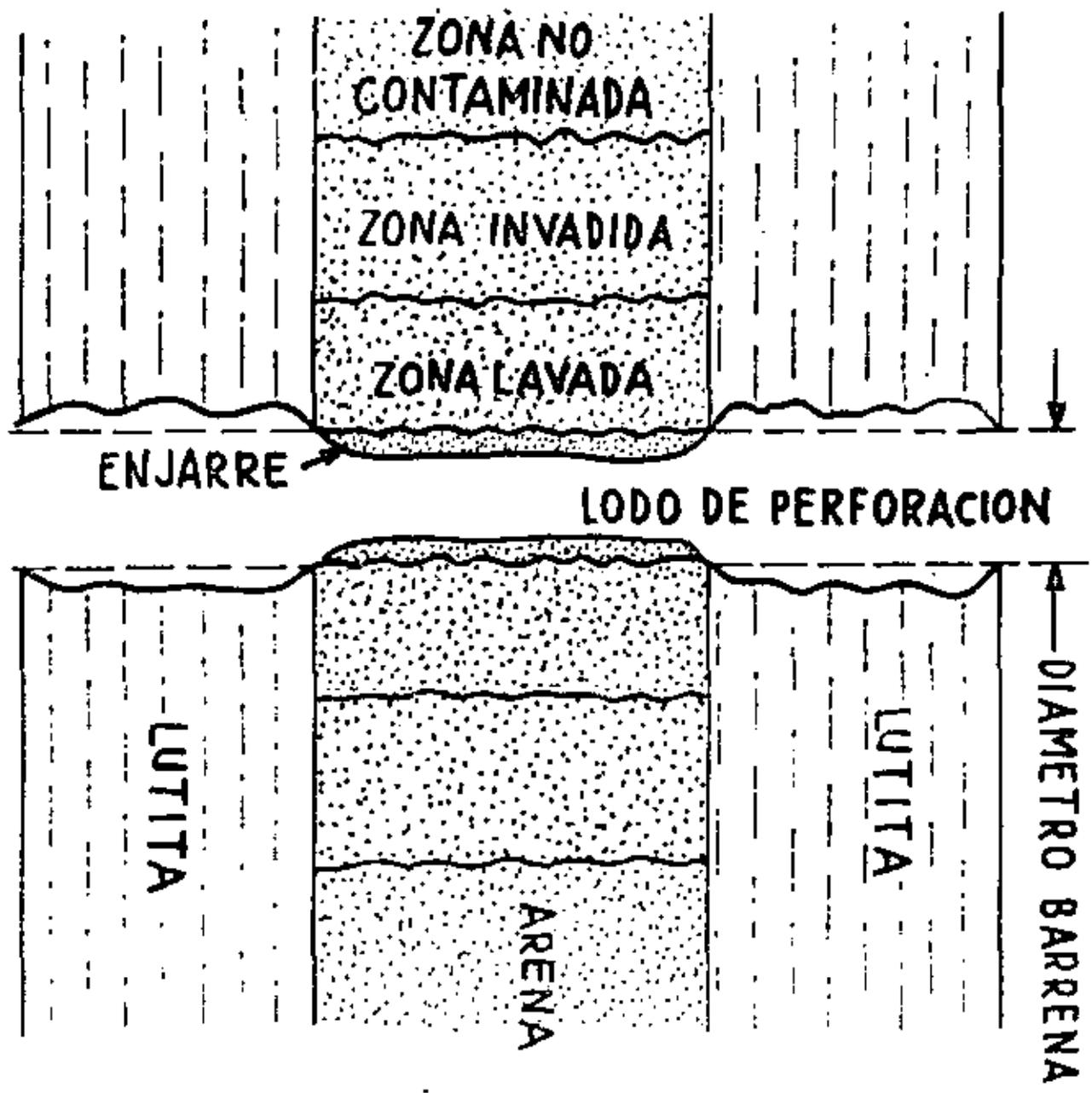
PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

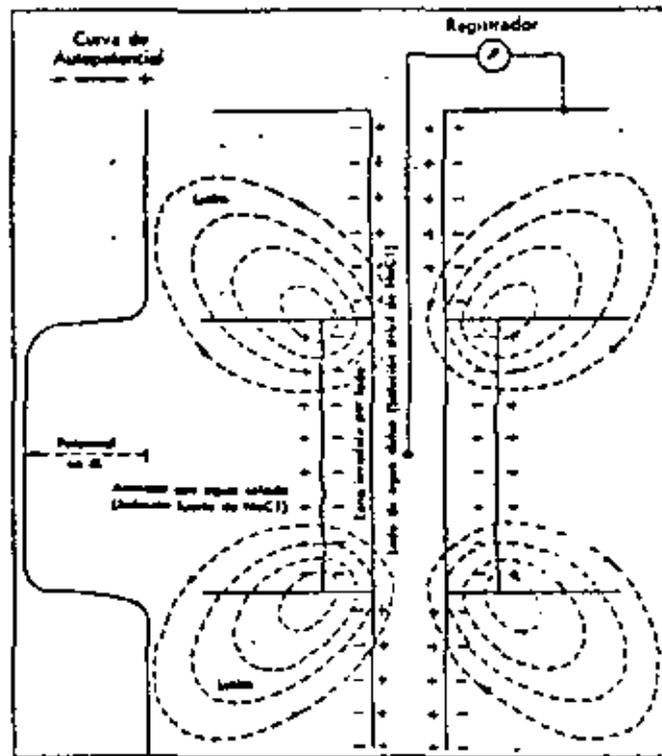
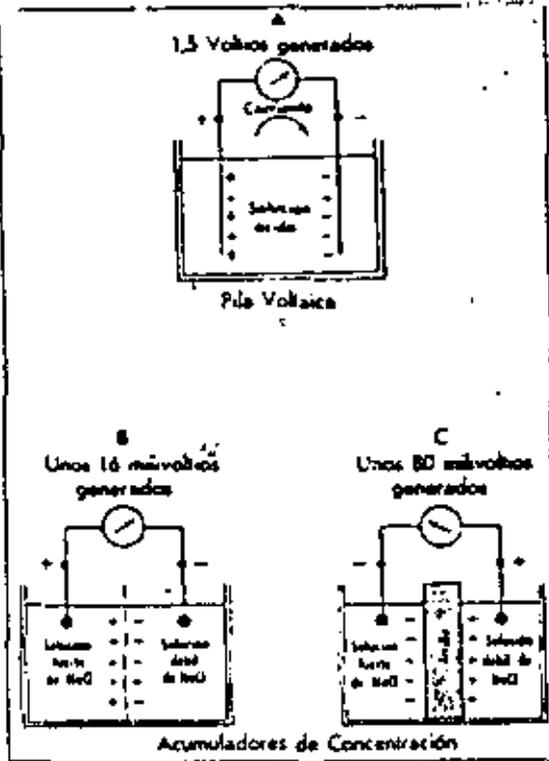
REGISTROS ELECTRICOS  
(ANEXO)

ING. LUIS LARA TRUJILLO

ABRIL, 1984

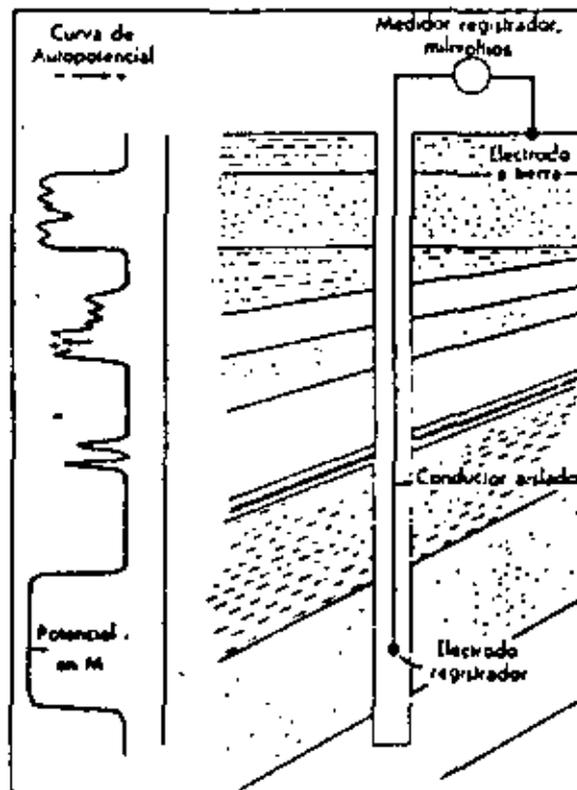




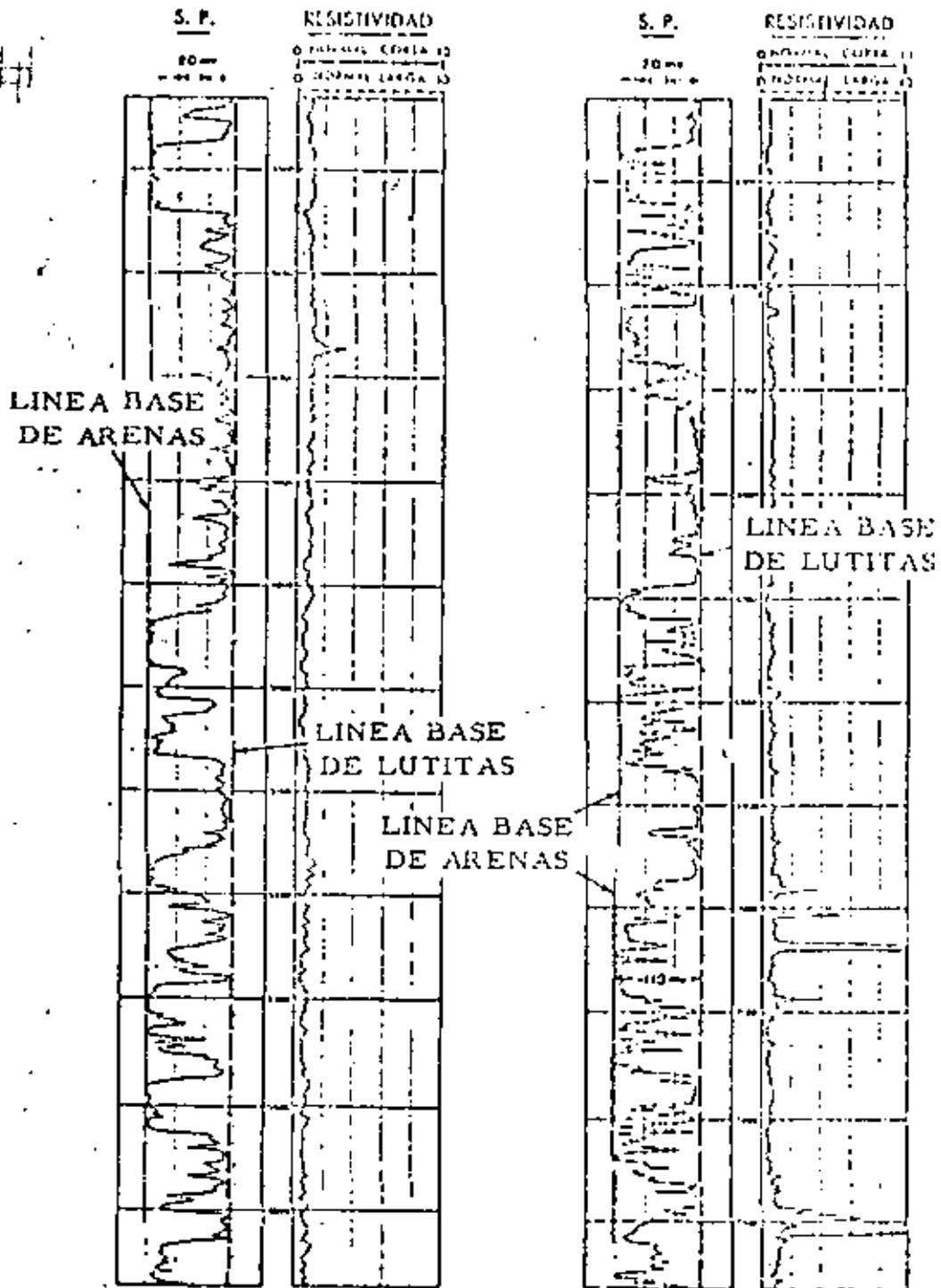


COMO SE PRODUCEN en un pozo los autopotenciales eléctricos

ILUSTRACION del efecto del potencial de lutita



LA CUPVA de autopotencial (izquierdo) y el arreglo correspondiente



$$R_m = 0.95 \cdot T_{max} : d = 8-5/8''$$

Fig. 3.2.- Ejemplo de registro de SP en regiones de Arena-Lutita  
(Cortesía de Schlumberger, Ref. 2).

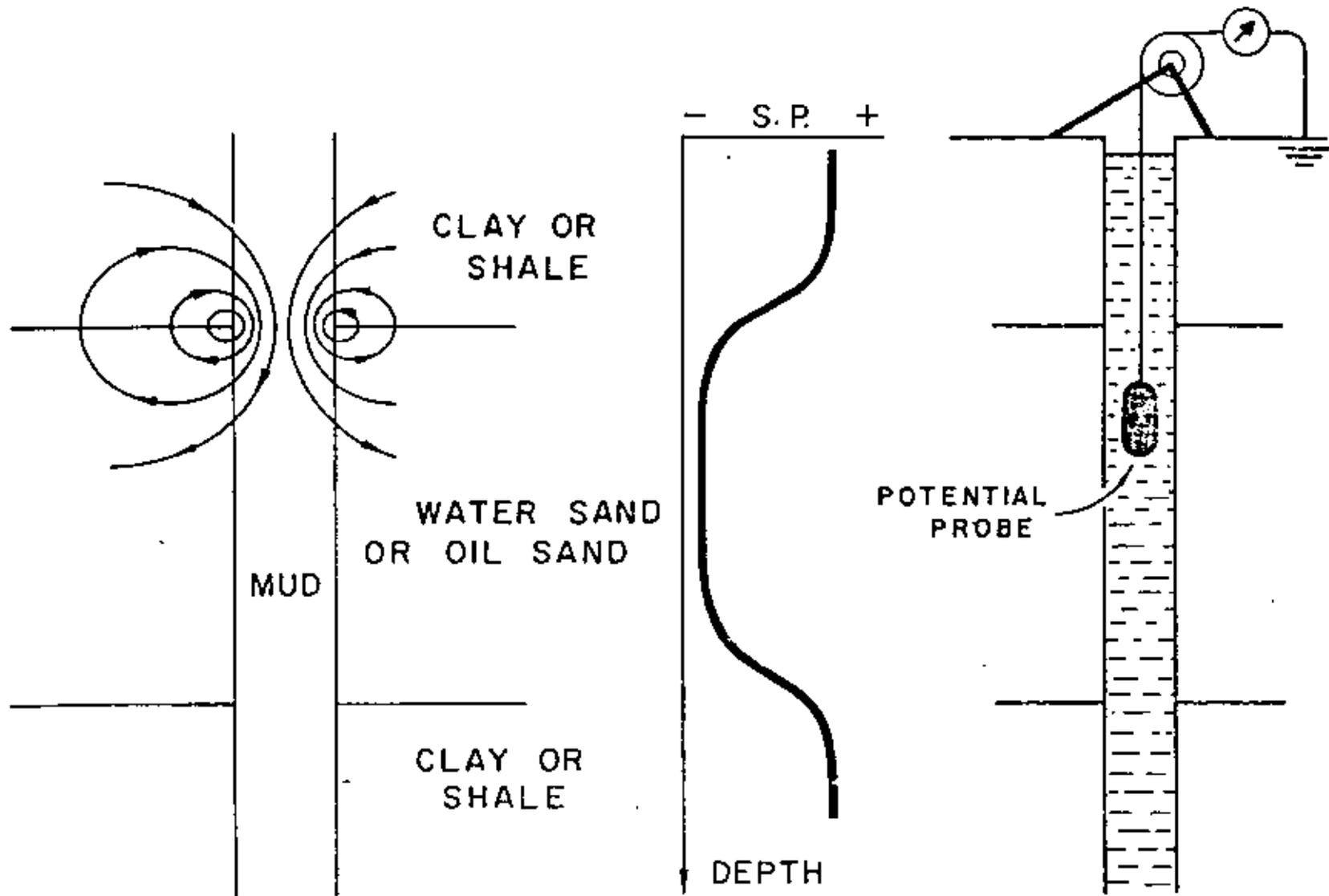


FIGURE 5

PRINCIPLE OF POTENTIAL (SP) MEASUREMENTS IN BORE HOLES (RIGHT),  
 SP CURRENT PATTERN NEAR CLAY-SAND BOUNDARY (LEFT), AND RESULTING SP CURVE (CENTER).

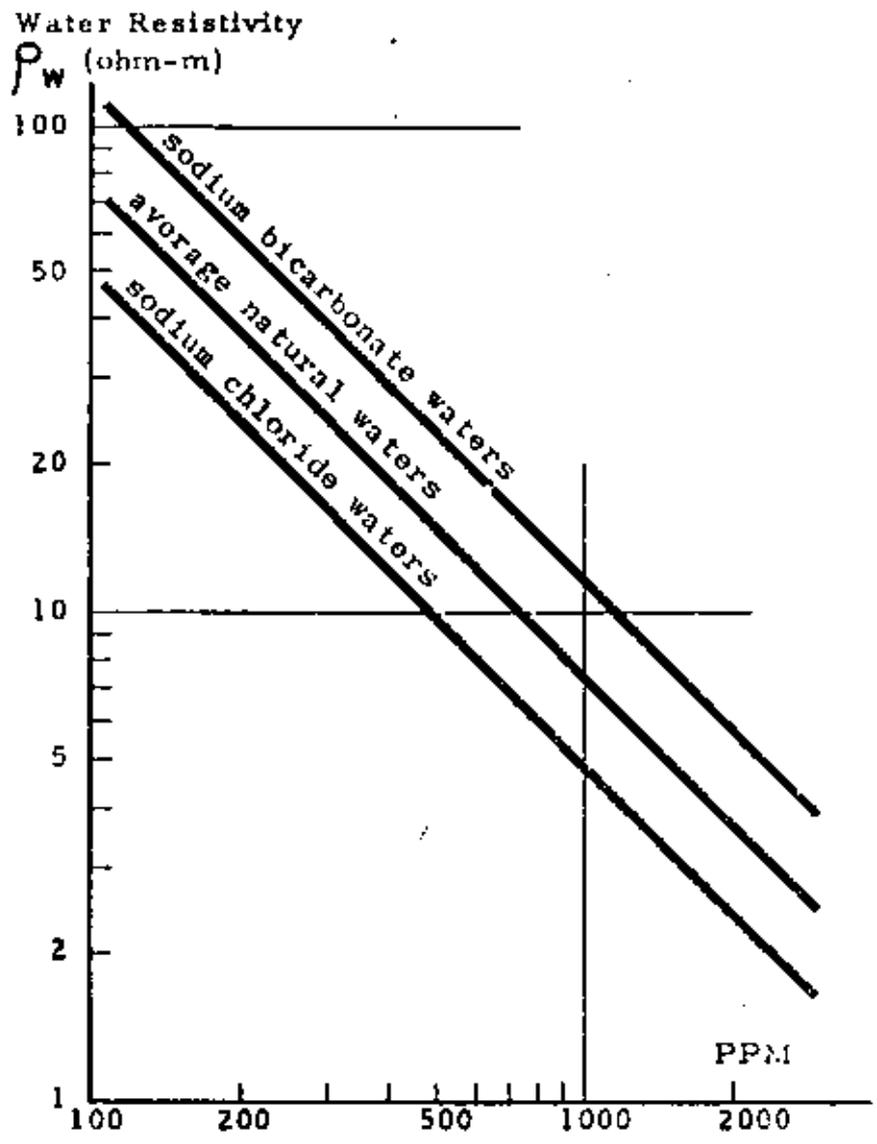


FIGURE 6

RESISTIVITY OF WATER IN TERMS OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS (PPM)

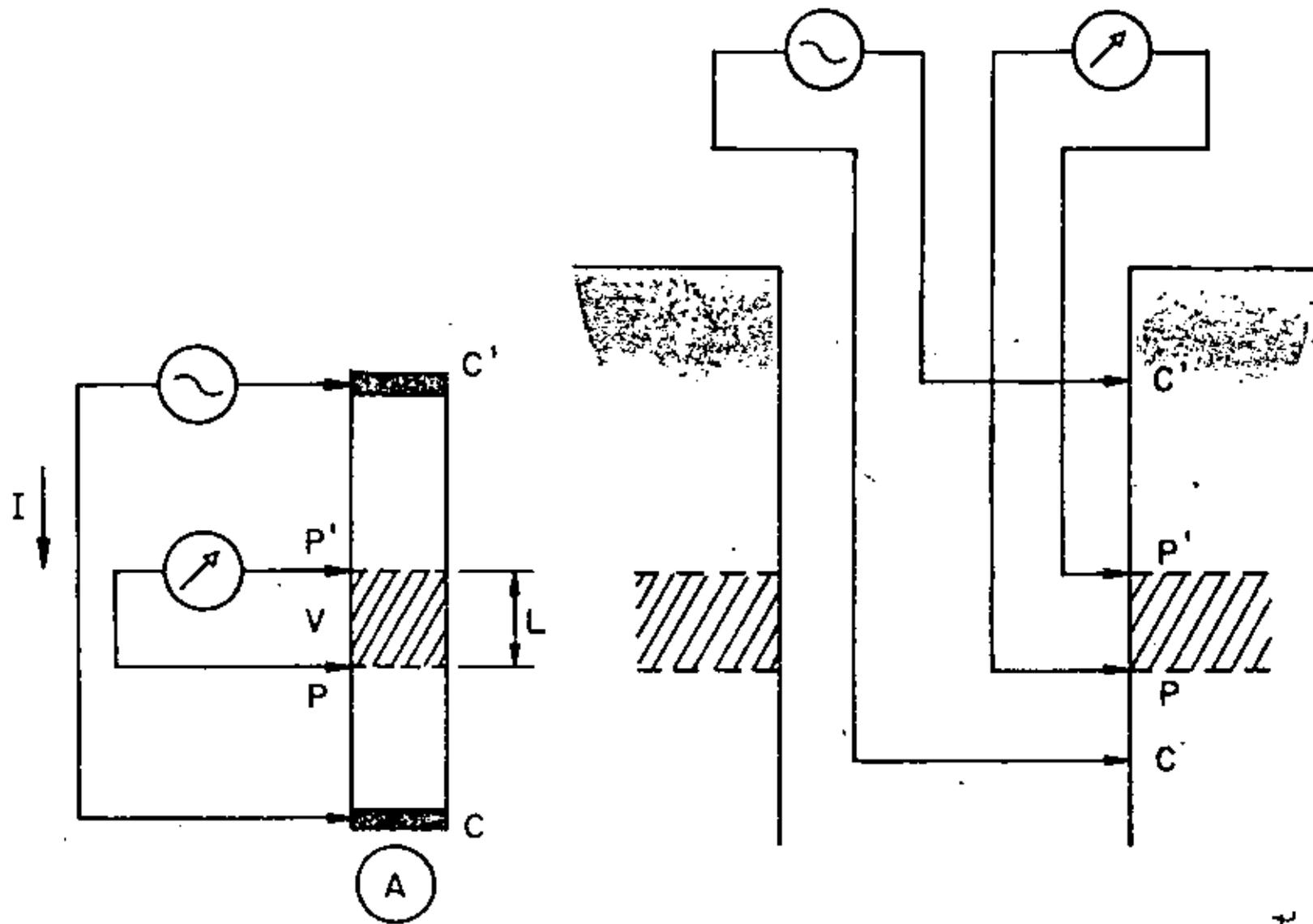
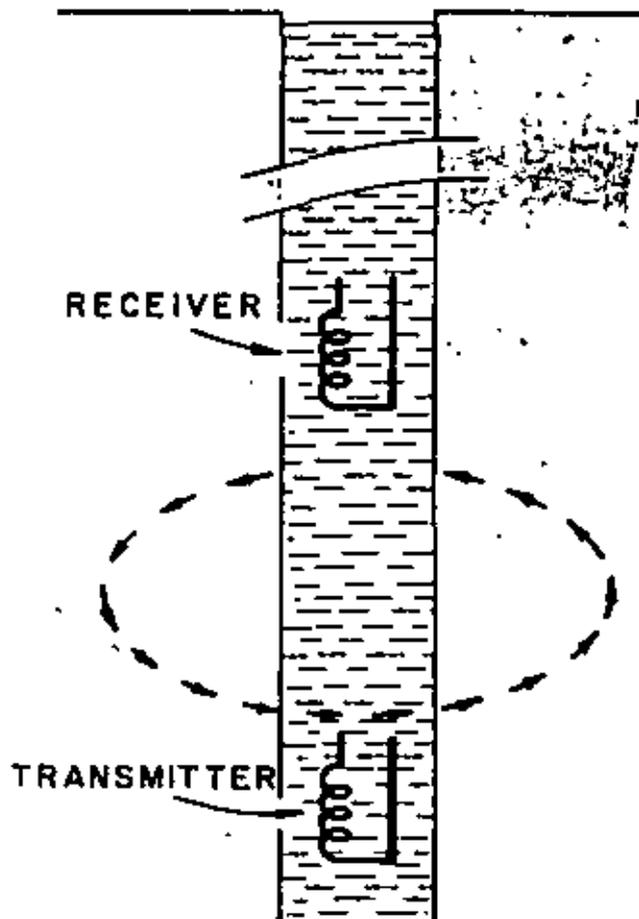
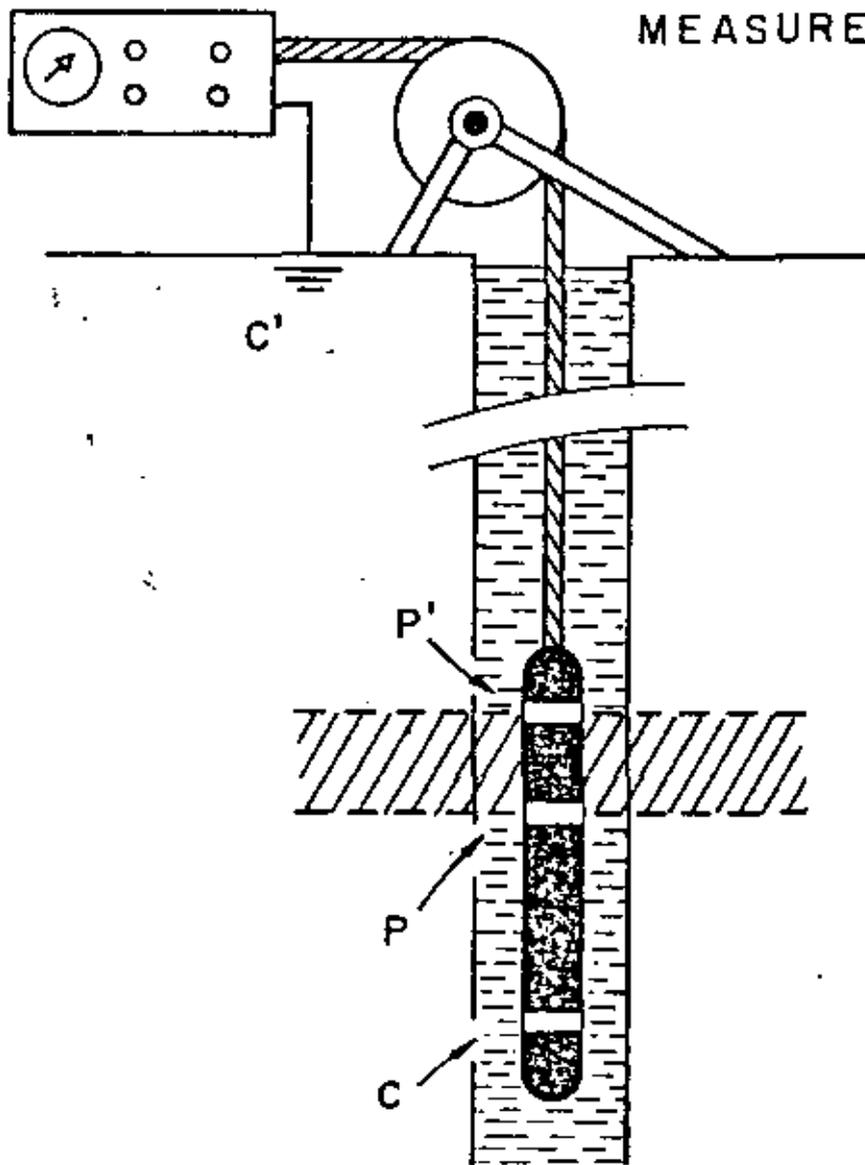


FIGURE 3

PRINCIPLE OF MEASUREMENT OF SAMPLE RESISTIVITY (LEFT),  
AND OF FORMATION RESISTIVITY IN A BORE HOLE (RIGHT).

# MEASUREMENT OF RESISTIVITY



CONVENTIONAL METHOD

FIGURE 4

INDUCTION METHOD

MEASUREMENT OF RESISTIVITY IN A BORE HOLE.

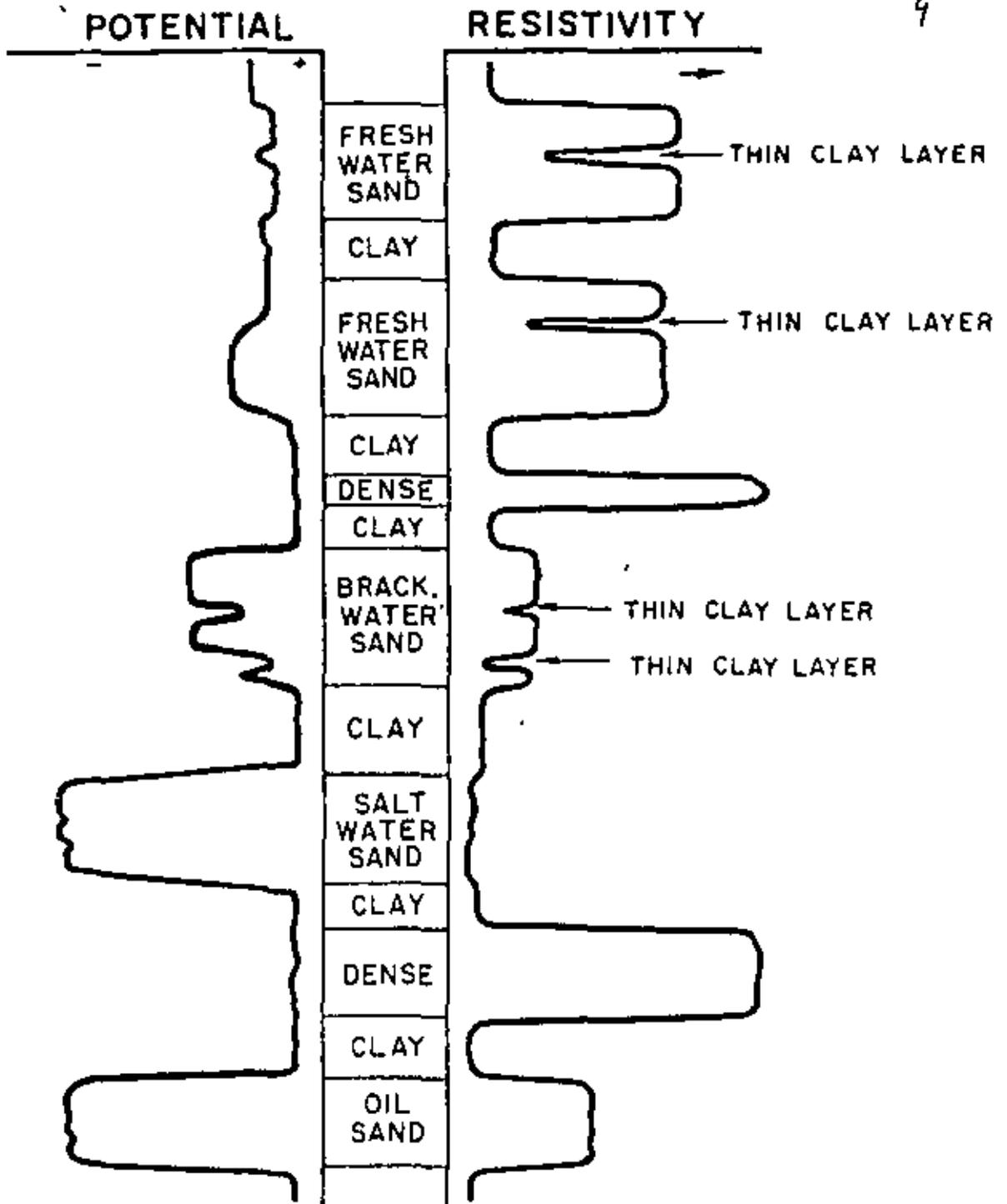


FIGURE 7

IDEALIZED ELECTRIC LOG

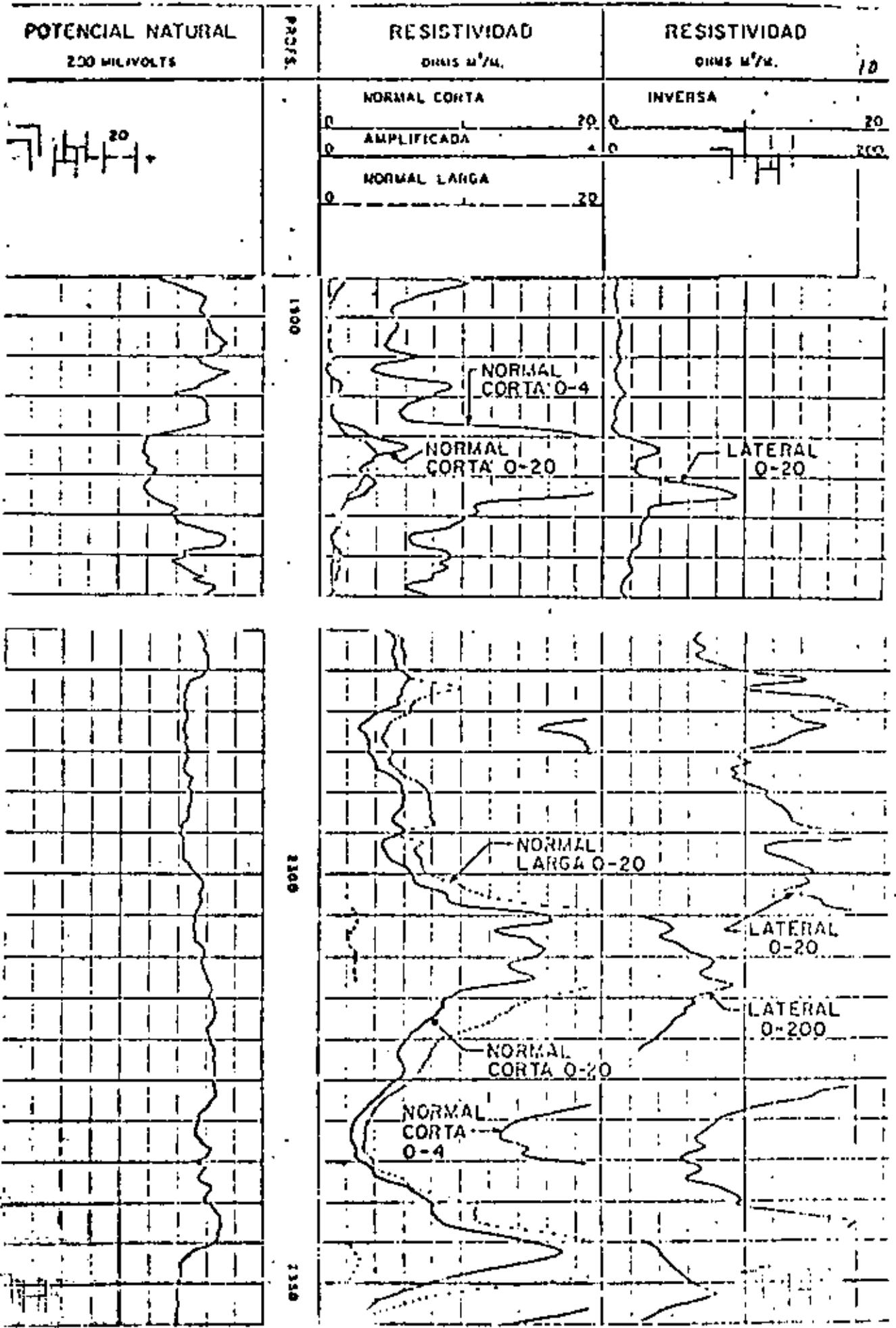


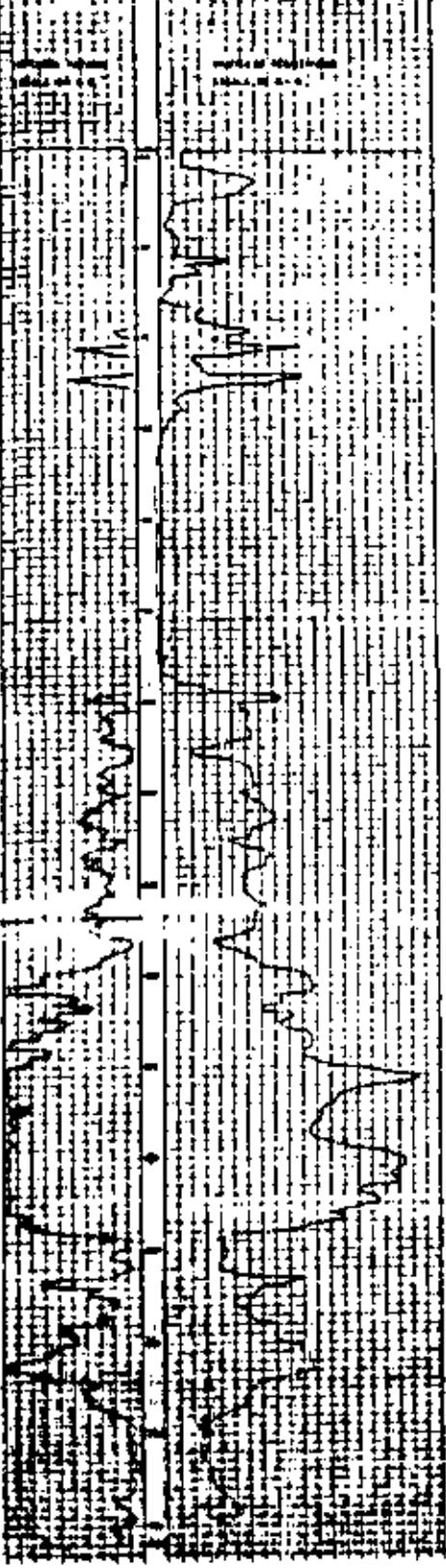
Fig. 4.19. - Ejemplo de un perfil de potencial natural, mostrando las escalas de potencial y resistividad, en un terreno petrolífero, mostrando la presencia de petróleo. México.



SECRETARIA DE RECURSOS HUMANOS  
DIRECCION DE GEODESIA  
DEPARTAMENTO DE GEODESIA

PROYECTO DE LEY DE REFORMA

LEY DE REFORMA



SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS

DIRECCION DE GEOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

Registro Geofisico del Pais No. 2

Registro de Datos, E.S. de G. L.

Cota = 333.00 M.S.N.M.

Profundidad Anotada = 023.00 M.

Profundidad Real = 023.00 M.

Diámetro de Pozo = 200 cm (12")

Profundidad del Pozo = 0.00 M.S.N.M.

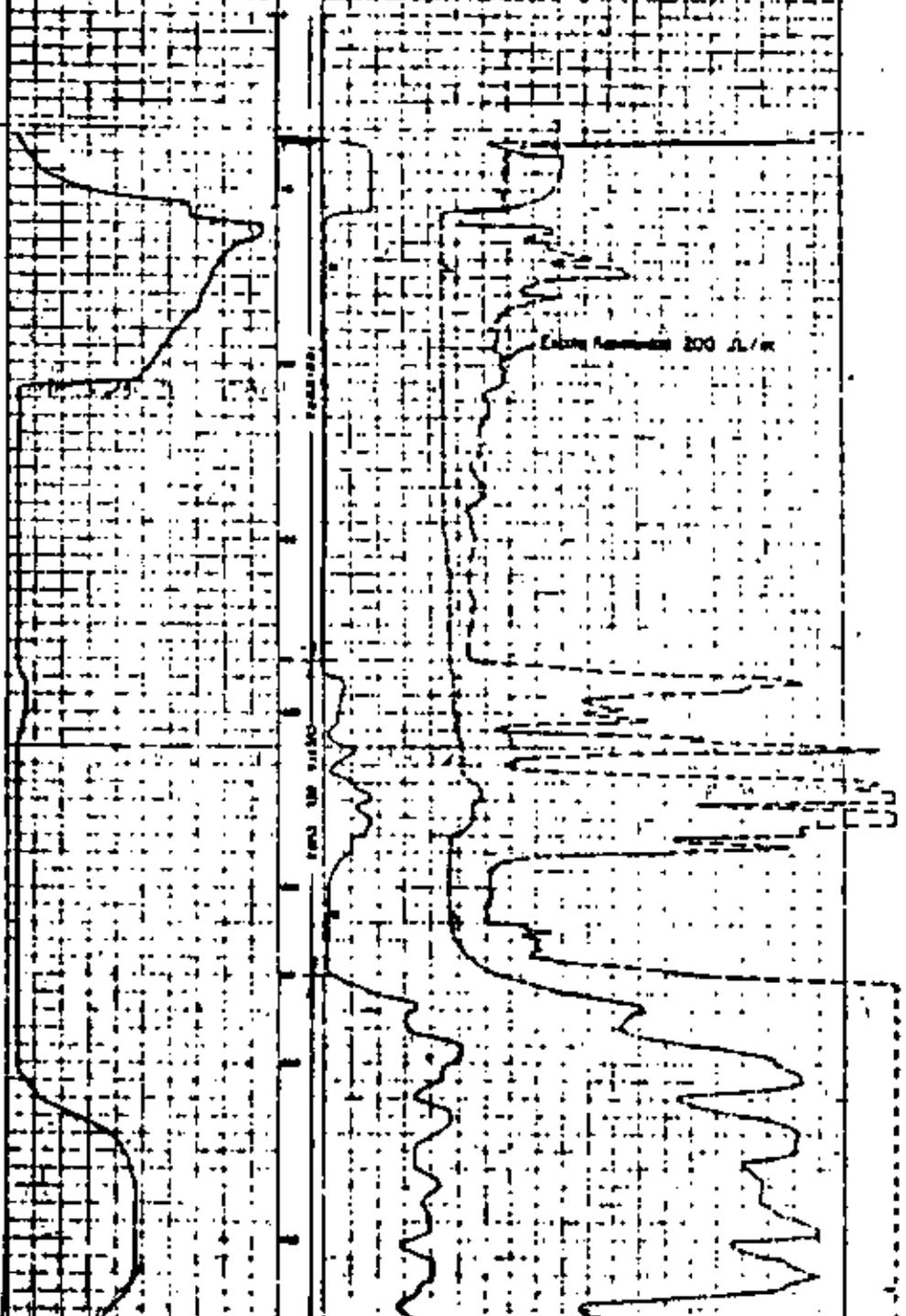
Elaborado en 1972

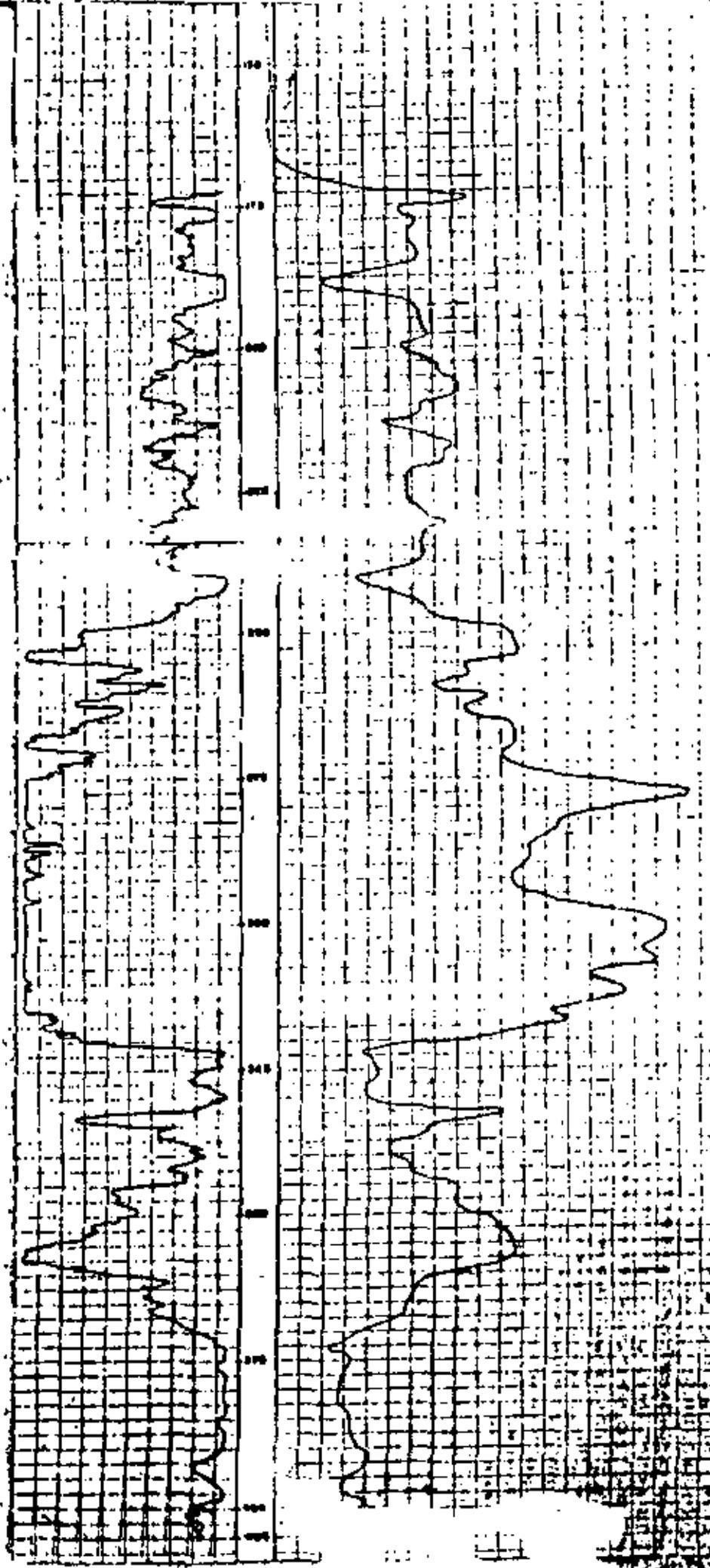
POTENCIAL

ESTACION REGISTRADA

Estación No. 1

Estación = 2000 A.M. (Normal y Local)

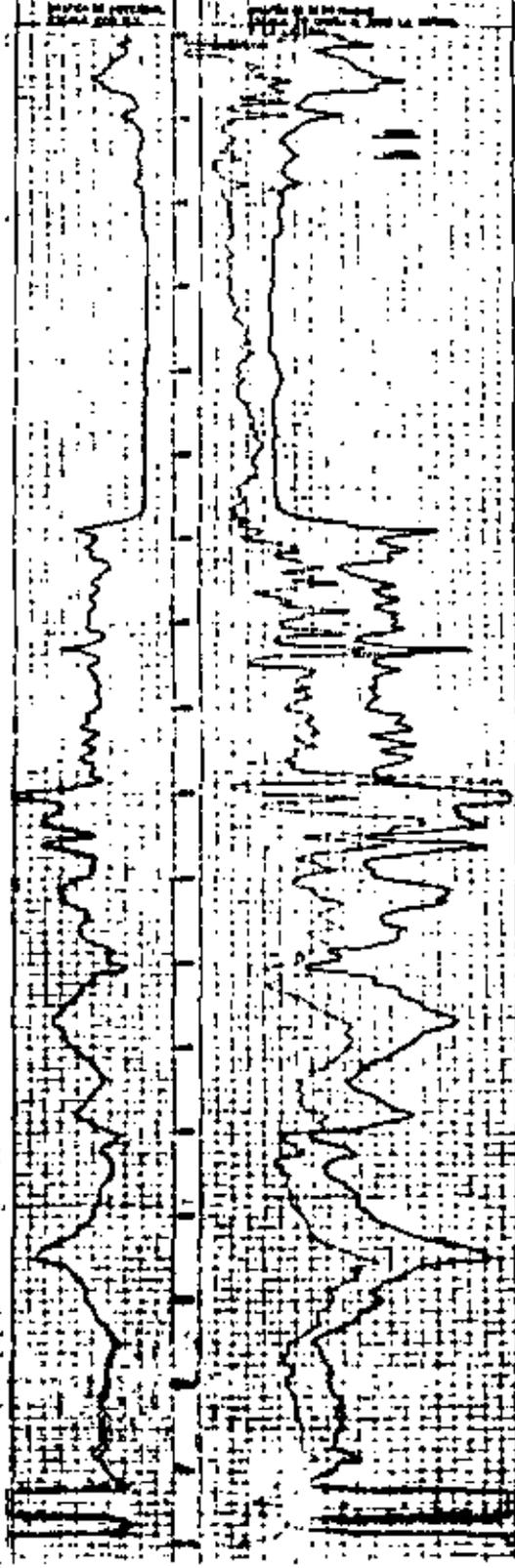




1/21/62

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS  
DIRECCION DE GEOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

REPTO 1-62-1000 del 20 de Julio de 1962  
En la ciudad de La Paz, Baja California Sur  
del Estado Libre Asociado de Puerto Rico  
del 20 de Julio de 1962  
del 20 de Julio de 1962  
del 20 de Julio de 1962  
del 20 de Julio de 1962



SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS  
DIRECCION DE GEOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

16

REGISTRO ELECTRICO DEL POZO PL - 4 PERFORADO

EN LA CIUDAD DE LEON, EDO DE GUANAJUATO

Antepondo Cables e Cables

Profundidad de Perforación = 368 m

Profundidad de Registro = 377.5 m

Diámetro del Pozo 66.04 cms (26")

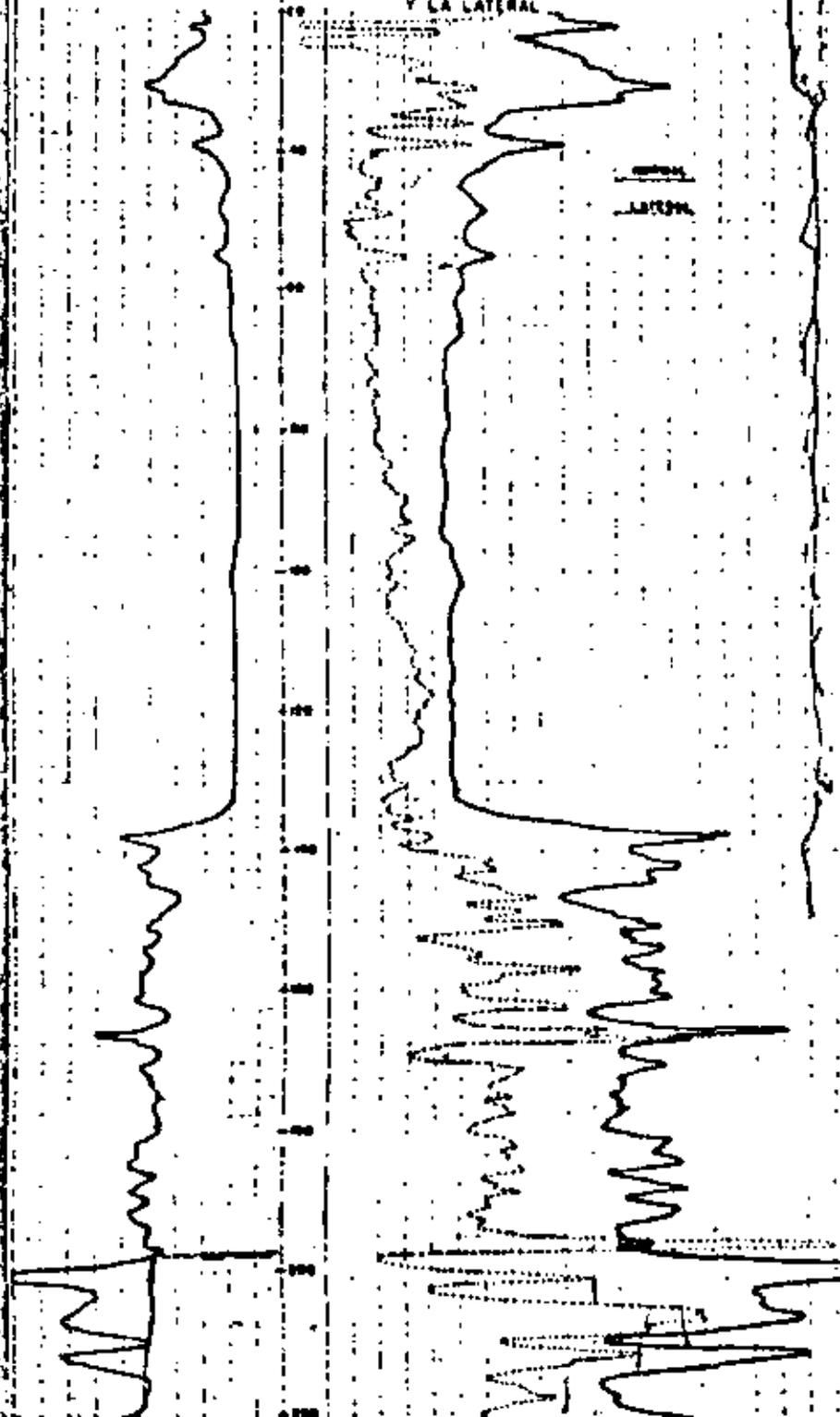
Equipos utilizados

Geófono H. Sigsbee L y H. Alford P

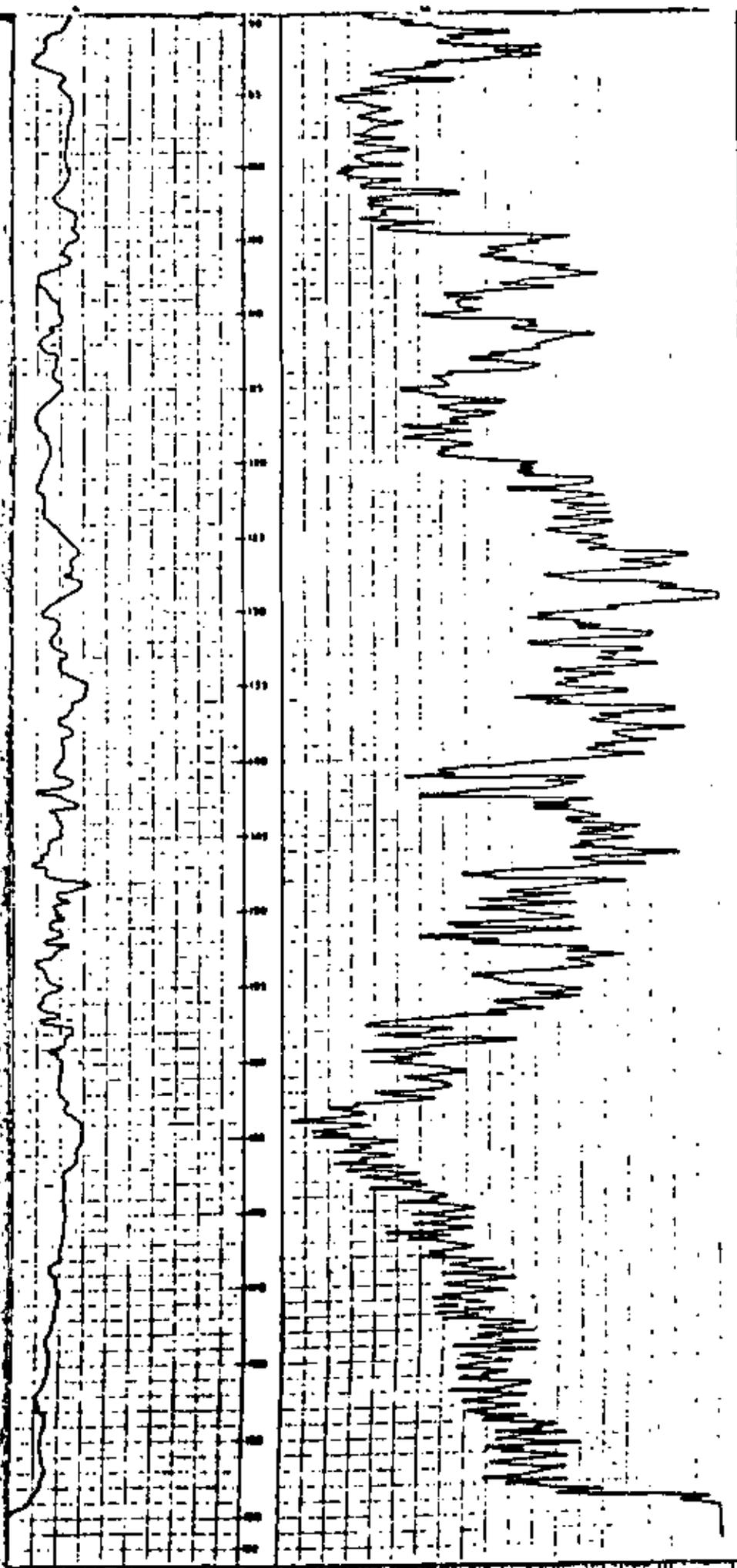
Entre el 10 de 1962

GRAFICA DE POTENCIAL  
ESCALA 200 M.V.

GRAFICA DE RESISTIVIDAD  
ESCALA 20 OHMS-M PARA LA NORMAL  
Y LA LATERAL



105



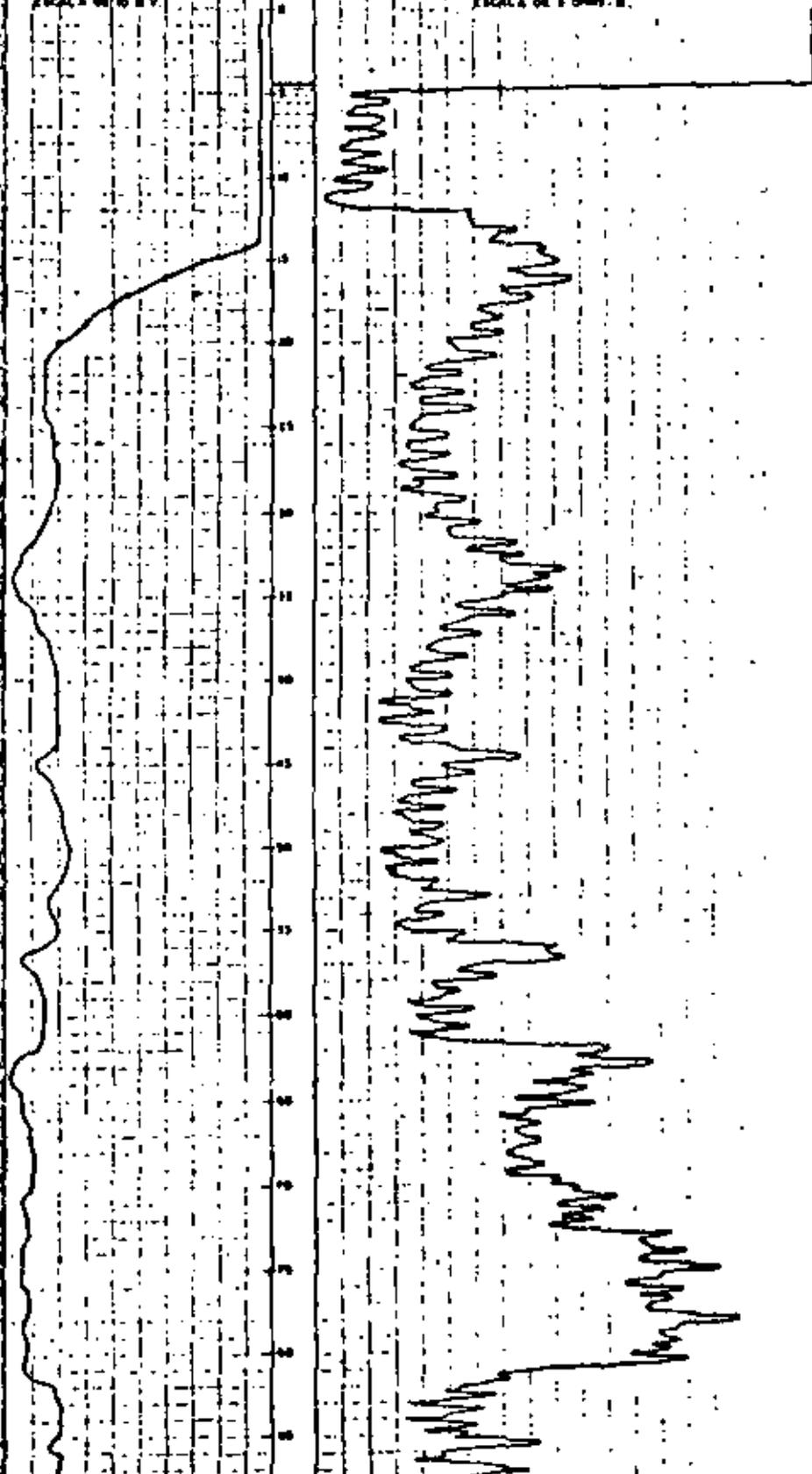
REGISTRO ELECTRICO AL POZO Nº 2 CHALCO, MEX.

Profundidad del terreno ..... 1120 m  
Profundidad del registro ..... 100 m  
Profundidad de perforación ..... 100 m  
Número del .....  
Cuerpo de M. S. Jorge Luis

18

GRAFICA DE POTENCIAL ELECTRICO  
ESCALA DE 100 M.V.

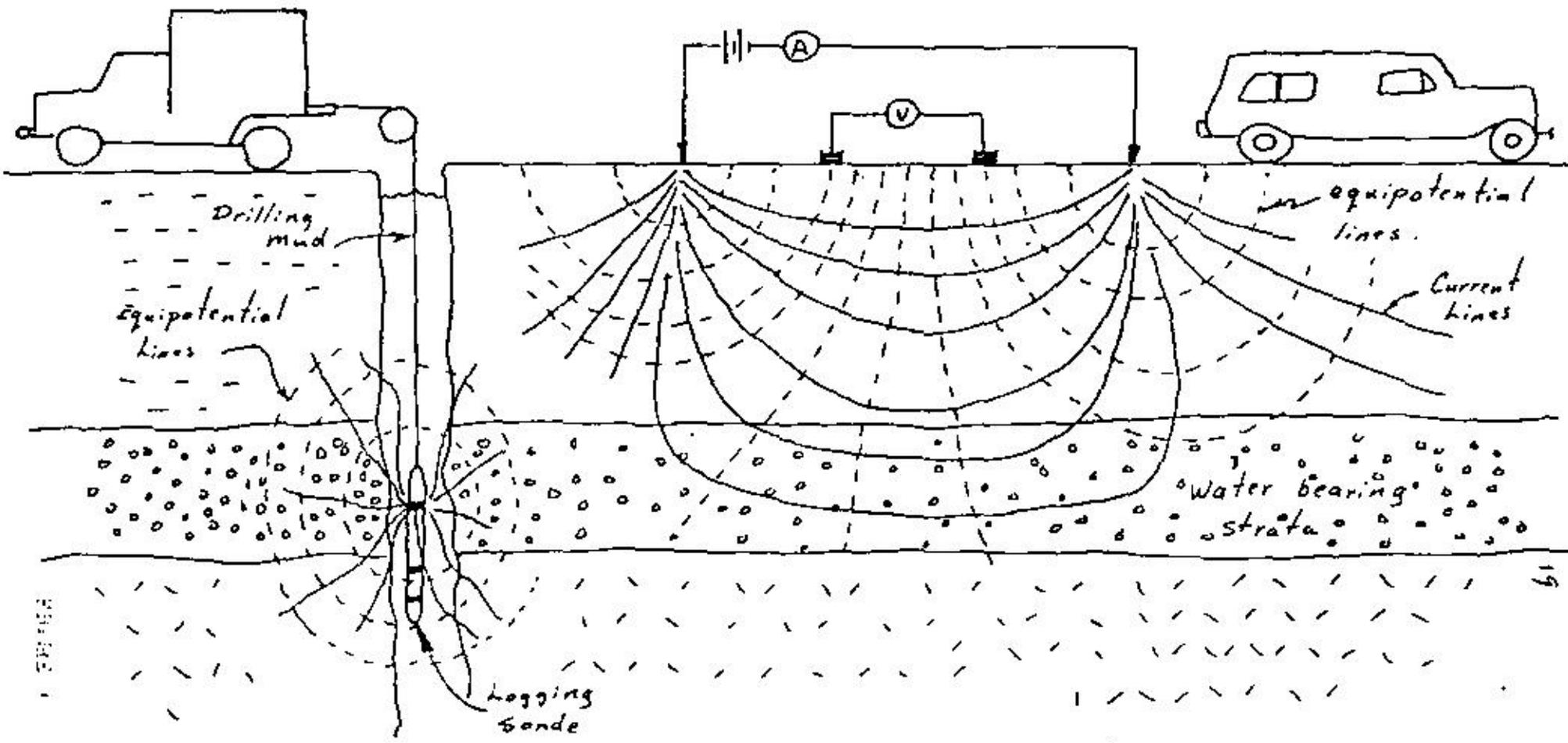
GRAFICA DE RESISTIVIDAD  
ESCALA DE 5 OHM.-M.



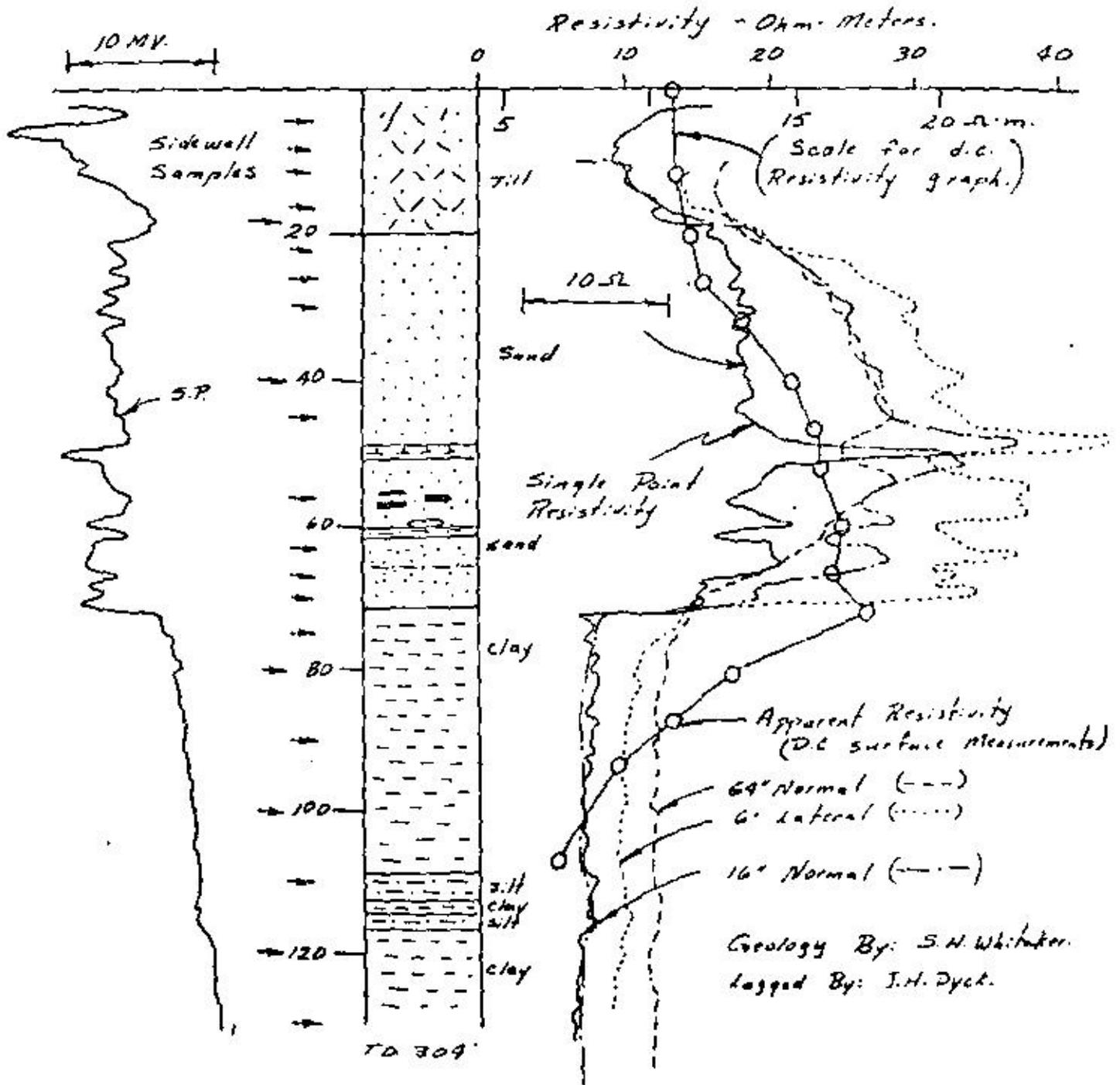
TWO ASPECTS OF GEOPHYSICAL EXPLORATION  
FOR GROUNDWATER  
IN  
SASKATCHEWAN

WELL LOGGING

DIRECT CURRENT RESISTIVITY



SHAUNAVON  
66-31



RESPONSE OF ELECTRIC LOG AND  
SURFACE D.C. RESISTIVITY TO SAND.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

SISTEMAS DE PERCUSION Y PESCA

ING. RAFAEL JIMÉNEZ GRANADOS

ABRIL, 1984

## PERCUSION SIMPLE

La perforación es una de las técnicas más antiguas y la historia consigna obras de este tipo anteriores a la Era Cristiana; por ejemplo, el "Pozo de Jacob", que fué excavado hasta una profundidad de 50 metros hace aproximadamente 3,500 años y el de José en el Cairo, que alcanzó la profundidad de 90 metros y fué perforado empleando como herramienta una gufa - en forma de espiral.

Se dice que los egipcios 500 años A. de C. empleaban una especie de corona de perforación para cortar la roca y que sus dientes estaban formados por piedras preciosas y cuarzo; pero es a los chinos a quienes se atribuye el haber construído el primer equipo de perforación aprovechando el principio de la caída libre

En el año 1600 A. de C. idearon el "mástil con pértiga de resorte", sentando con éste los principios básicos de la perforación de tipo percusión, ya que... "subían y bajaban una herramienta metálica suspendida de un cable de rota, (calamus rudentum, palmácea común en Asia) y que... "de cuando en cuando vaciaban algunos cubos de agua al pozo para ablandar la roca y reducirla a pulpa... " y ... " a ciertos intervalos bajaban al pozo un recipiente tubular para extraer la rezaga..."

Es importante consignar que en Artols, provincia del Norte de Francia, en 1126 fué perforado un pozo que resultó brotante y ha estado fluyendo desde entonces,

Con este motivo los pozos que al perforarse, sus aguas fluyen, re--

ciben el nombre de "Pozos Artesianos".

También fueron los chinos quienes aunque en forma elemental idearon varios tipos de herramientas usadas en los equipos actuales y construyeron mástiles, juntas de tuberías y llegaron a cementar sus ademes. Pero no fué sino hasta el Siglo XIX en el que aprovechando el principio de los chinos se desarrollaron nuevas técnicas en la perforación.

En sus inicios fué el hombre quien utilizó su fuerza para impulsar las herramientas dentro del pozo; posteriormente utilizó acémilas, pero siempre empleando mástiles con pértiga de resorte.

Alrededor del primer tercio de ese Siglo, hubo algunos cambios notables en la perforación: se patentaron las tijeras de perforación de dos eslabones, que incrementaron la profundidad de corte; se dió a conocer el uso del agua a presión para levantar la rezaga, que fundó las bases del sistema de perforación en inversa, y se empleó la máquina de vapor, que transformó el panorama: se inventaron máquinas, torres, herramientas, etc.

Fué hasta pasada la mitad de: Siglo cuando las ideas y experimentos iniciados 20 o más años atrás, empezaron a dar sus frutos. Se patentó la perforadora de circulación inversa y por este método se perforó un pozo de 2,197 pies de profundidad.

También se patentaron y pusieron en práctica las primeras perforadoras de tipo rotatorio, aplicándolas a la minería y paralelamente se inició el empleo de las barrenas de perforación. Pero a la terminación de ese período se tuvieron los mayores logros respecto a la perforación rotatoria y

ciben el nombre de "Pozos Artesianos".

También fueron los chinos quienes aunque en forma elemental idearon varios tipos de herramientas usadas en los equipos actuales y construyeron mástiles, juntas de tuberías y llegaron a cementar sus ademes. Pero no fué sino hasta el Siglo XIX en el que aprovechando el principio de los chinos se desarrollaron nuevas técnicas en la perforación.

En sus inicios fué el hombre quien utilizó su fuerza para impulsar las herramientas dentro del pozo; posteriormente utilizó acémilas, pero siempre empleando mástiles con pértiga de resorte.

Alrededor del primer tercio de ese Siglo, hubo algunos cambios notables en la perforación: se patentaron las tijeras de perforación de dos eslabones, que incrementaron la profundidad de corte; se dió a conocer el uso del agua a presión para levantar la rezaga, que fundó las bases del sistema de perforación en inversa, y se empleó la máquina de vapor, que transformó el panorama; se inventaron máquinas, torres, herramientas, etc.

Fué hasta pasada la mitad de: Siglo cuando las ideas y experimentos iniciados 20 o más años atrás, empezaron a dar sus frutos. Se patentó la perforadora de circulación inversa y por este método se perforó un pozo de 2,197 pies de profundidad.

También se patentaron y pusieron en práctica las primeras perforadoras de tipo rotatorio, aplicándolas a la minería y paralelamente se inició el empleo de las barrenas de perforación. Pero a la terminación de ese período se tuvieron los mayores logros respecto a la perforación rotatoria y

las experiencias cobradas por colapsos, dieron origen al empleo de los lodos como fluidos de perforación.

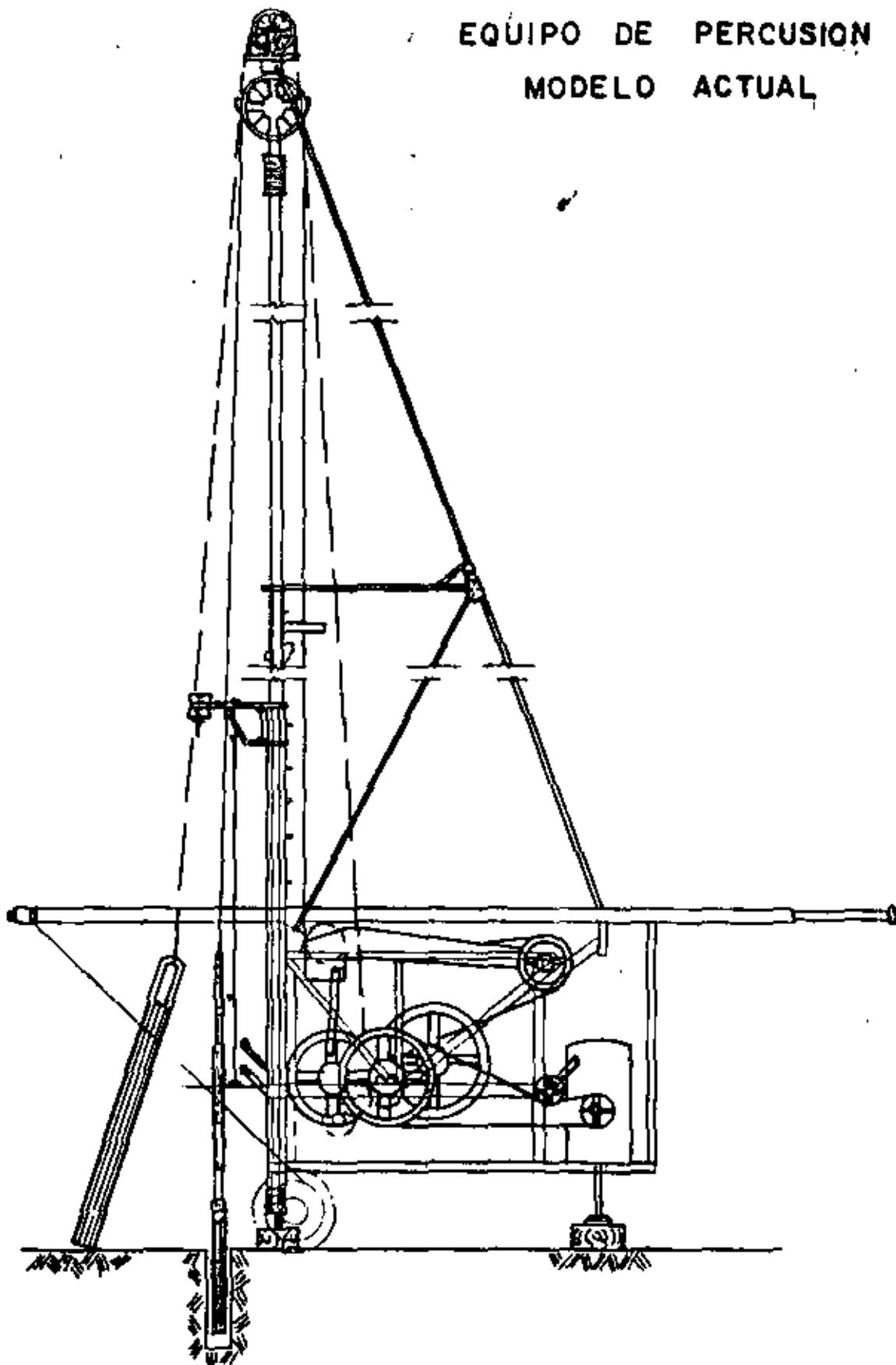
Todos los fracasos, desvelos y experiencias anteriores tuvieron su recompensa al alcanzarse el éxito deseado en el campo Spindletop de Beaumont, Tex. donde a la profundidad de 1,040 pies brotó el petróleo en tal abundancia que la producción de ese pozo fué de 100,000 barriles diarios.

Esta fecha, 10 de Enero de 1901, marcó el inicio de la curva ascendente de los equipos rotatorios a tal grado que 50 años después, los pozos de petróleo perforados en los Estados Unidos por el sistema de percusión, sumaban únicamente el 17 1/2 por ciento y actualmente el hablar de ese tipo de máquinas en la perforación de pozos de petróleo es casi como referirse a las primeras locomotoras de vapor.

El método de la "pertiga de resorte" con algunas variaciones fué aplicado en diversas partes del mundo a la perforación de pozos con varios propósitos; inicialmente a la extracción de salmuera.

Los americanos lo emplearon en sus primeras perforaciones en la forma más simple. Sobre una horqueta encajada en el suelo, se montaba el extremo mas grueso y corto de una rama de mas o menos 40 pies, flexible, recta y resistente que se anclaba en el piso. Al extremo libre, se ataban el cable de perforación y a éste la herramienta de corte. Otros cables con estribos eran atados a esa misma parte de la rama para producir el impulso necesario para bajar la herramienta al pozo. Este principio, con sus modificaciones fué utilizado en la construcción de equipos con los que se perfora

EQUIPO DE PERCUSION  
MODELO ACTUAL





ron los primeros pozos en Estados Unidos, recibiendo el nombre de técnica de perforación americana. Utilizando este método el Coronel Drake perforó el Titusville, Pa. en 1859, el primer pozo petrolero, perforándose muchos pozos someros en la misma área.

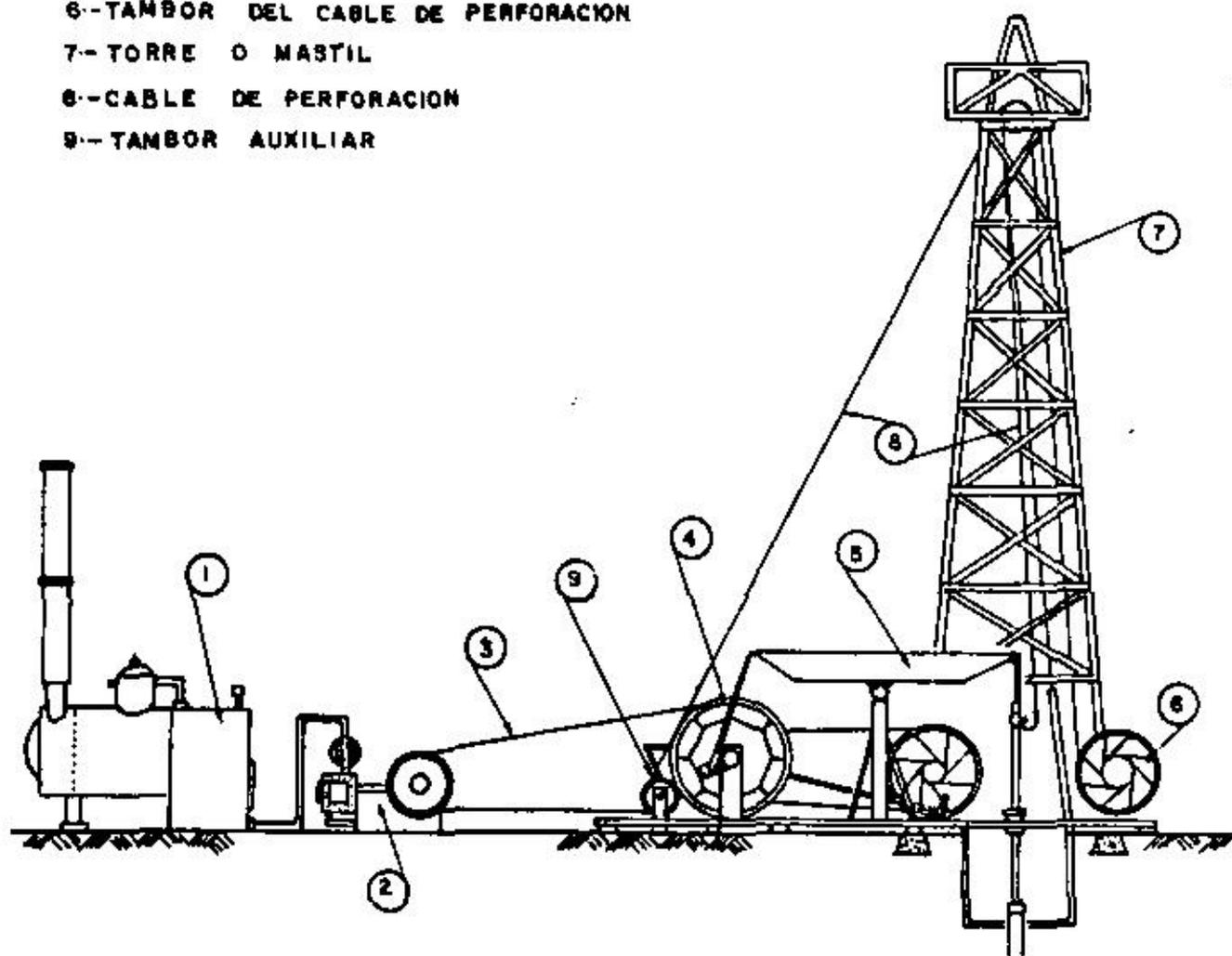
La máquina de vapor fué aplicada a esta clase de trabajos, utilizándose en su forma más simple: una máquina reversible común de un pistón - controlado por una simple válvula de corredera, se utilizaba para producir un movimiento recíprocante al cable de perforación desde una gran polea - llamada "polea de transmisión", la flecha metálica se conectaba al extremo del balancín de la biela por medio de una manivela. El cable de perforación se ataba al extremo opuesto al balancín, de tal manera que se accionara con cada revolución de la polea de transmisión. Figura I.

Los primeros equipos fueron pequeños y ligeros; para izar la herramienta se empleaba un simple trípode hecho de tres tiras de madera unidas por un extremo que soportaba una polea de madera o fierro. El cable de perforación pasaba sobre la polea y la energía era aplicada en el extremo libre por un malacate de operación manual o mecánico.

Con equipos semejantes se perforaron pozos en zonas donde las condiciones geológicas fueron favorables, pero hubo necesidad de hacerles algunos cambios, agregar nuevas partes que imponían los nuevos trabajos, - hasta que finalmente se llegó al equipo de perforación a cable o de percusión al que se llamó "Equipo Estandar Americano".

# EQUIPO DE PERCUSION MODELO ANTIGUO

- 1-- CALDERA
- 2-- PISTON
- 3-- BANDA DE TRANSMISION
- 4-- VOLANTE
- 5-- BALANCIN
- 6-- TAMBOR DEL CABLE DE PERFORACION
- 7-- TORRE O MASTIL
- 8-- CABLE DE PERFORACION
- 9-- TAMBOR AUXILIAR





Los equipos que conocemos actualmente, constan principalmente de un bastidor de acero estructural soldado eléctricamente en el que se instalan: la unidad de potencia, sistemas de transmisión, malacates para perforación, cuchareo y entubado, el balancín y la biela; el mástil o torre telescópica, compuesto de dos secciones fácilmente izables, que descansan sobre la estructura al ser transportado; polea y cables para los trabajos y maniobras. Figura 2.

La máquina se opera a través de controles localizados generalmente en la parte posterior derecha de la unidad. Para su transporte rápido se monta sobre un chasis de camión o remolque. Figura 3.

Al conjunto de herramientas para realizar los trabajos de perforación y/o pesca o rescate se le llama sarta y se compone de trépano o herramienta de corte, barretón o barra de peso, tijeras de perforación y portacable giratorio, al cual se conecta el cable de perforación. Cuando se trata de una sarta de pesca, en lugar de la herramienta de corte se coloca el pescador diseñado para ese trabajo específico, y en vez de las tijeras de perforación se utilizan las de pesca cuya carrera o desplazamiento es aproximadamente 8 veces mayor que la de perforación; además el portacable es fijo, para poder asegurar el "pescado" o herramienta que se encuentra dentro del agujero. La unión de las herramientas que forman la sarta se realiza mediante el enroscado de un piñón y una caja, empleando llaves especiales con boca de sección cuadrada. FIGURA 4

Antes de la fundación del Instituto Americano del Petróleo (American

### TARIMA DE OPERACIONES

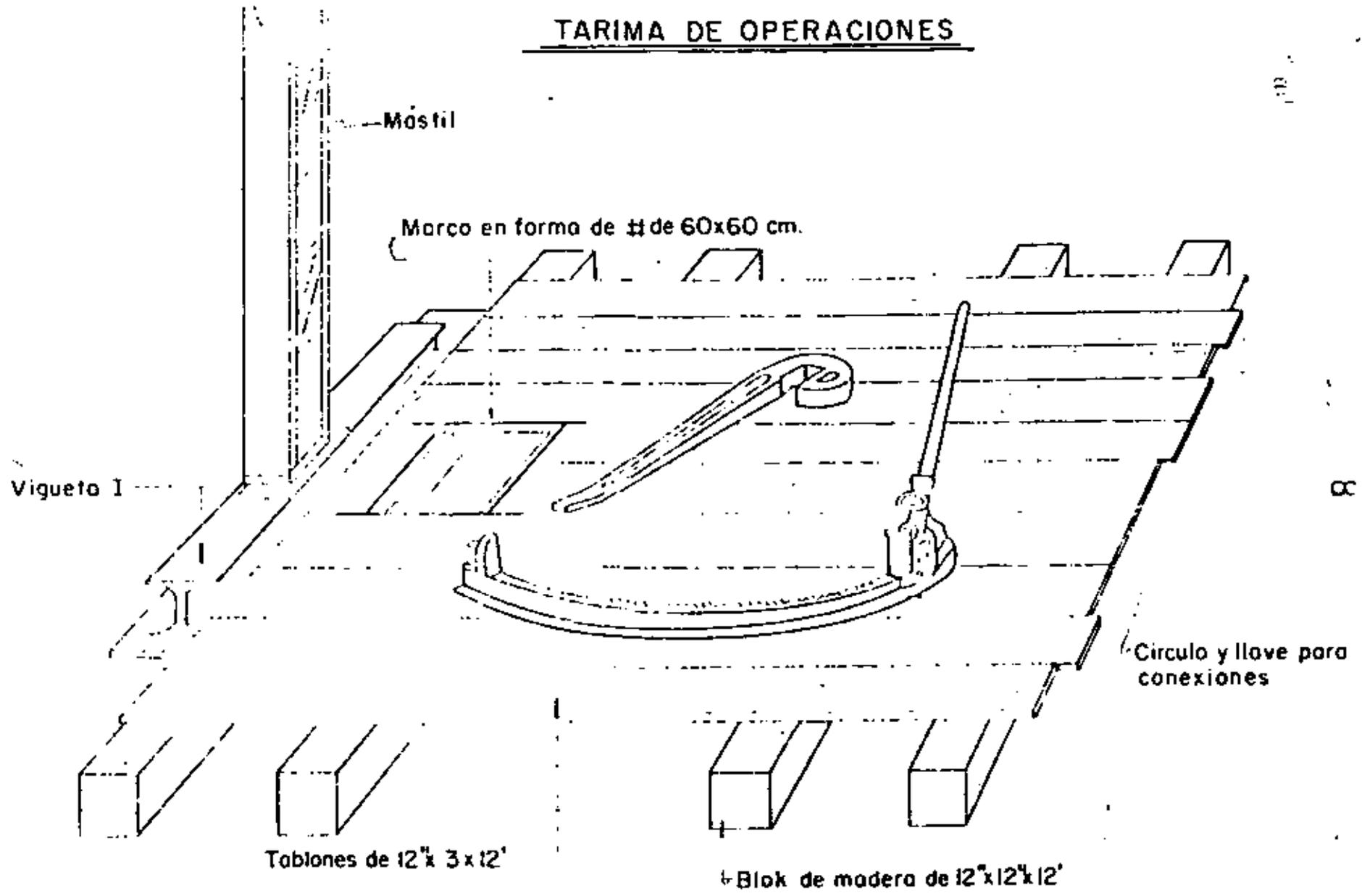


FIGURA 4

### CONTROLES DE OPERACION



- Interruptor de encendido.
- Interruptor del arrancador - eléctrico.
- Volante manual para embobinar el cable.
- Acelerador del motor.
- Control de embrague de marcha adelante.
- Palanca de embrague de perforación.
- Palanca de embrague de contra marcha.
- Palanca del tambor de cucharreo y freno.
- Cambio de tambores de herramientas y ademado.
- Freno del tambor de ademado.
- Freno del tambor de perforación.
- Embrague del guinche del mástil.
- Pedal del acelerador del motor.

FIGURA 3

Petroleum Institute) A. P. I., cada fabricante de herramientas diseñaba sus propias cuerdas o roscas, generalmente rectas; con filetes rectangulares, angulares etc. y con un número arbitrario de hilos por pulgada. Las cuerdas rectas propiciaron frecuentes pescas y abandono de pozos. Actualmente, las uniones, piñón y caja, son cónicas - en forma de conos truncados - y en el caso de herramientas de perforación de percusión, tienen una diferencia de una pulgada de la base menor a la base mayor. Las mas comunes son  $2\frac{3}{4}'' \times 3\frac{3}{4}''$ ;  $3\frac{1}{4}'' \times 4\frac{1}{4}''$ ;  $4'' \times 5''$  todas seguidas del número "7" que indica el número de hilos por pulgada. Las medidas anteriores se correlacionan con los espesores, longitudes y pesos de las sarta y éstas a su vez con la capacidad de los equipos.

Una de las partes complementarias de la sarta de perforación es el cable. Inicialmente se utilizó el de "manila", tanto para los trabajos de perforación como de cuchareo y maniobras con las pescas inherentes.

Una de sus funciones era la de absorber y amortiguar el impacto de la herramienta. Después se utilizó también con desventaja el de acero, por su poca flexibilidad. Para lograrlo se intercalaba un tramo de cable de manila entre las herramientas y el cable de acero, con lo cual se absorbían los impactos y las vibraciones de la sarta sobre la roca.

Actualmente se emplea ventajosamente el de acero con alma de fibra, que tiene mayor durabilidad y resistencia.

Los cables y su uso datan de la mas remota antigüedad. Se sabe que los egipcios hace 3500 años tejían cables a base de cuero, papiro y fibras

de algunas palmas.

Ya se mencionó que los chinos también lo usaron hace muchísimos años.

Con mucha frecuencia se hace mención a los "cables de manila" como si procedieran de ese lugar. En efecto, la fibra con la que se fabricaba el cable de manila es del "abacá", planta perteneciente a la familia de las musáceas, parecida a la palma, y que crece casi exclusivamente en las Is las Filipinas y ya transformada en cables se exportaba principalmente por el puerto de Manila. Por su resistencia y durabilidad siempre ocupó el primer lugar y el segundo le fué cedido al henequén, que como se sabe procede del Estado de Yucatán.

Se define como cable a una serie de hilos o alambres que al agrupar se mediante un torcido determinado forman un torón y al grupo de torones ordenados en cierta forma o "construcción" permiten una combinación ópti ma de resistencia, flexibilidad y seguridad para determinado servicio.

Los cables se surten bajo Especificaciones API. Deben ser de acero arado mejorado, preformado con alma de fibra.

El "acero arado mejorado" es el de mayor resistencia y durabilidad y posee grandes cualidades para resistir la abrasión. Su resistencia es aproximadamente de 15% mayor al de acero arado.

Un cable "preformado" es aquel cuyos alambres y torones tienen un terminado helicoidal, de manera que al cortarse o romperse los alambres permanecen en su lugar.

El "alma" del cable sirve como soporte a los torones que están en-

rollados a su alrededor y se fabrica de diversos materiales dependiendo del trabajo al cual se va a destinar el cable; es decir, el alma del cable está formada por un torón que puede ser de acero o de fibra, vegetal o sintética.

Los cables, generalmente se fabrican en torcido "regular" o torcido "lang". En el torcido regular los alambres del torón están torcidos en dirección opuesta a la de los torones del cable; y en torcido lang están torcidos en la misma dirección. Figuras 5 y 6.

Los cables con torcido regular son mas fáciles de manejar, menos susceptibles a la formación de cocas y mas resistentes al aplastamiento y distorsión.

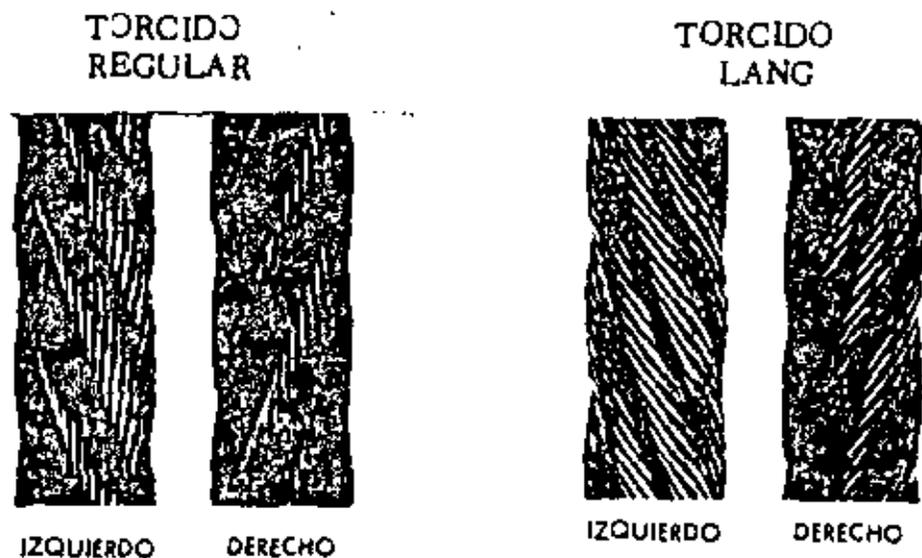
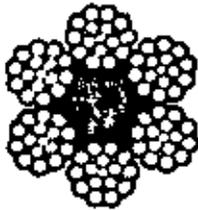


FIGURA 5

FIGURA 6

Además de los torcidos mencionados los cables se fabrican en torcido "derecho" y torcido "izquierdo".

## "CONSTRUCCIONES DE CABLE"



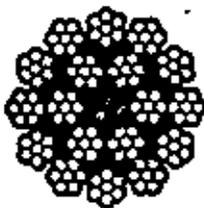
CONSTRUCCION 6 x 21- ALMA DE FIBRA.  
TORCIDO IZQUIERDO, PARA PERFORACION.

FIGURA 7

CONSTRUCCION 6 x 7-ALMA DE FIBRA  
TORCIDO DERECHO PARA CUCHAREO.



FIGURA 8



CONSTRUCCION 18 x 7 ALMA DE FIBRA.  
NO ROTATORIO PARA ADEMADO.

FIGURA 9

Para los trabajos de perforación de "percusión simple" se utiliza el torcido izquierdo para la perforación; el torcido derecho para la cuchara y el llamado "no rotatorio" para los trabajos de ademado. En este caso los torones interiores tienen un torcido largo izquierdo y los exteriores, regular derecho; con lo cual se evita que el cable gire en cualquier sentido.

## AMORTIGUADOR DE DISCOS



FIGURA 10

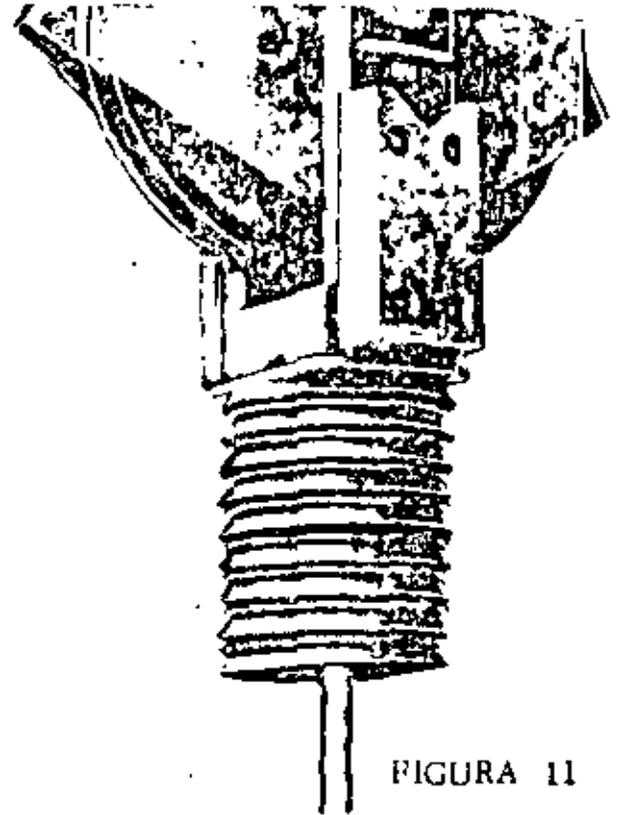


FIGURA 11

FIGURA 12 DISCOS DE HULE Y  
PLATO DE LAMINA DE ACERO.



Las construcciones usuales para estos trabajos son: 6 x 21 para perforación; 6 x 7 para cuchareo y 18 x 7 para el ademado; todos con alma de fibra, con las fatigas de ruptura correspondientes. Figuras 7, 8 y 9.

Cabe repetir que al intercalar un tramo de cable de manila en la línea de perforación, tenía como finalidad la de absorber los impactos de la herramienta sobre el material por atravesar, sobre todo cuando éste era roca.

Para ello, actualmente los equipos cuentan con un dispositivo de coloca

do en el extremo superior del mástil, formado generalmente por discos de hule compacto que descansan o se apoyan sobre platos de lámina de acero, los que a su vez, también lo hacen sobre un resorte lo suficientemente resistente para amortiguar dichos impactos. Figuras 10, 11 y 12.

Además en el cuerpo de la sarta se haya intercalada una herramienta que recibe el nombre de "percutor" o tijeras. Figura 13



Su uso evita pegaduras de la sarta cuando se perforan materiales plásticos. Se colocan siempre entre el portacable y el barretón, excepto cuando se trata de operaciones de pesca, en las que se conectan después del barretón. Se construyen de acero de aleación forjadas de una pieza y los eslabones son unidos por soldadura a forja y posteriormente sometidos a un tratamiento térmico para uniformizar su estructura molecular. La longitud de la carrera de las tijeras varía de 114.3 mm a 203.2 mm (4 1/2 a 8") y su peso y diámetro están correlacionados con el de la sarta y capacidad del equipo.

FIGURA 13

## BALANCIN Y ENGRANE DE PERCUSION

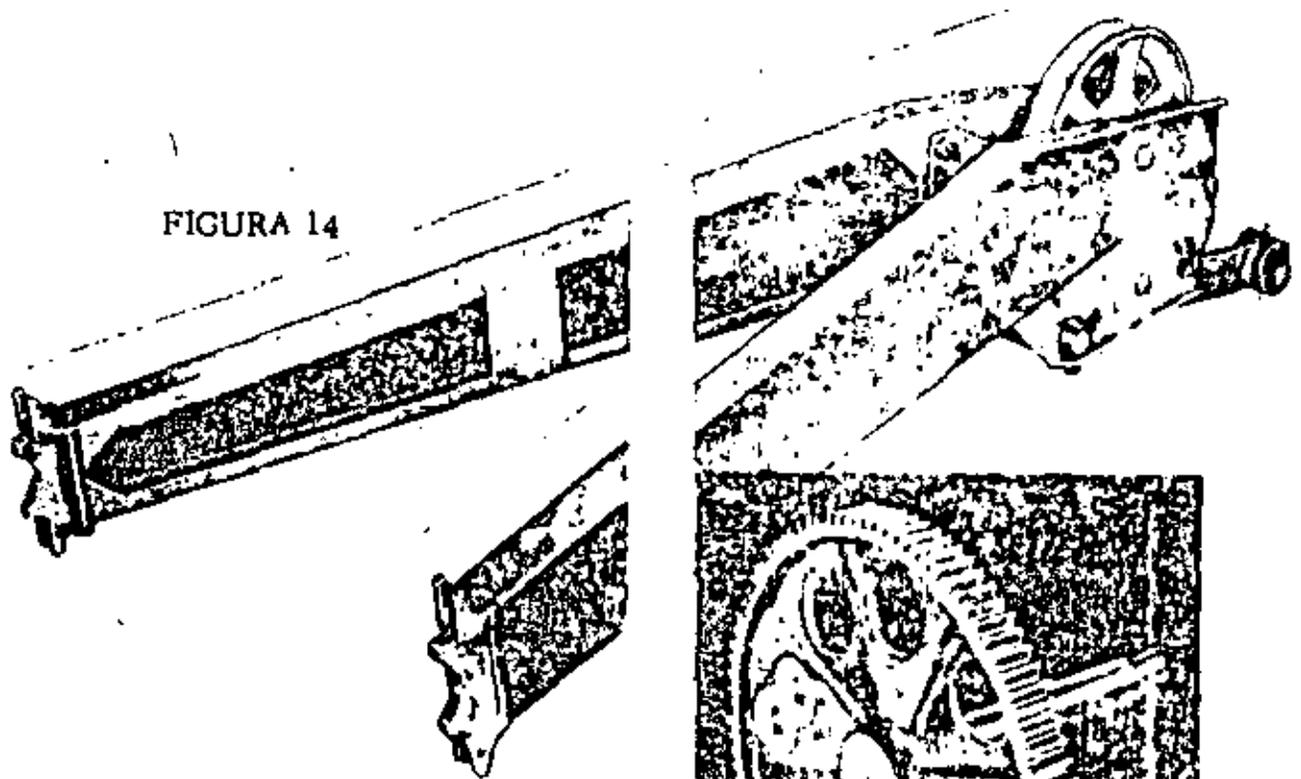


FIGURA 14

El cable de perforación además de so  
 tener la sarta, mediante el empleo del  
 portacable hace que ésta gire, logrando  
 que la superficie cortada por los impac  
 tos del trépano, sea la de un círculo.

Para ello es necesario combinar la acción que imparte el engrane de percu  
 sión a través de la biela con cada movimiento del balancín y producir el la  
 tigazo o coscorroneo equivalente al producido con la pértiga de resorte. Fi  
 gura. 14.

## NOMBRES Y FUNCIONES DE LAS PARTES DE UN TREPANO

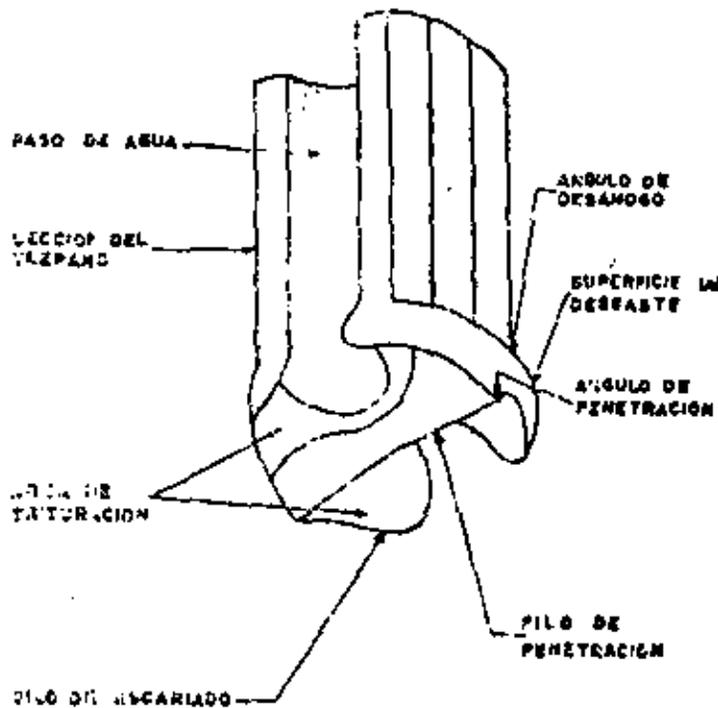


FIGURA 15

Pasos o Vías de Agua. - Son las partes huecas del trépano por las que el agua y el material triturado pasa cuando se está perforando.

Sección del Trépano. - Es la parte inferior del trépano - mostrada en la figura.

Areas de Trituración. - También llamadas de batido son las del fondo del trépano y

se encargan de desmenuzar el material cortado.

Filos de Escariado. - Son las aristas exteriores y forman parte de la circunferencia del extremo del trépano. Se localizan a los lados de las vías de agua.

Angulo de Desahogo. - Es la concidad en las superficies de desgaste.

Superficie de Desgaste. - Es la parte que no tiene ángulo de desahogo y está en contacto con las paredes del pozo.

Angulo de Penetración. - Es el extremo de la superficie de corte que rompe el material.

Filo de Penetración. - Es el encargado de penetrar y romper el material en el fondo del pozo. Puede ser cóncavo, recto o convexo.

Para lograr un buen avance en los trabajos de perforación, se hace necesario que la herramienta de corte tenga el afilado correcto; para ello se dan las siguientes sugerencias. Figura 15. BIS

### SUGERENCIAS PARA EL AFILADO DE TREPANOS.

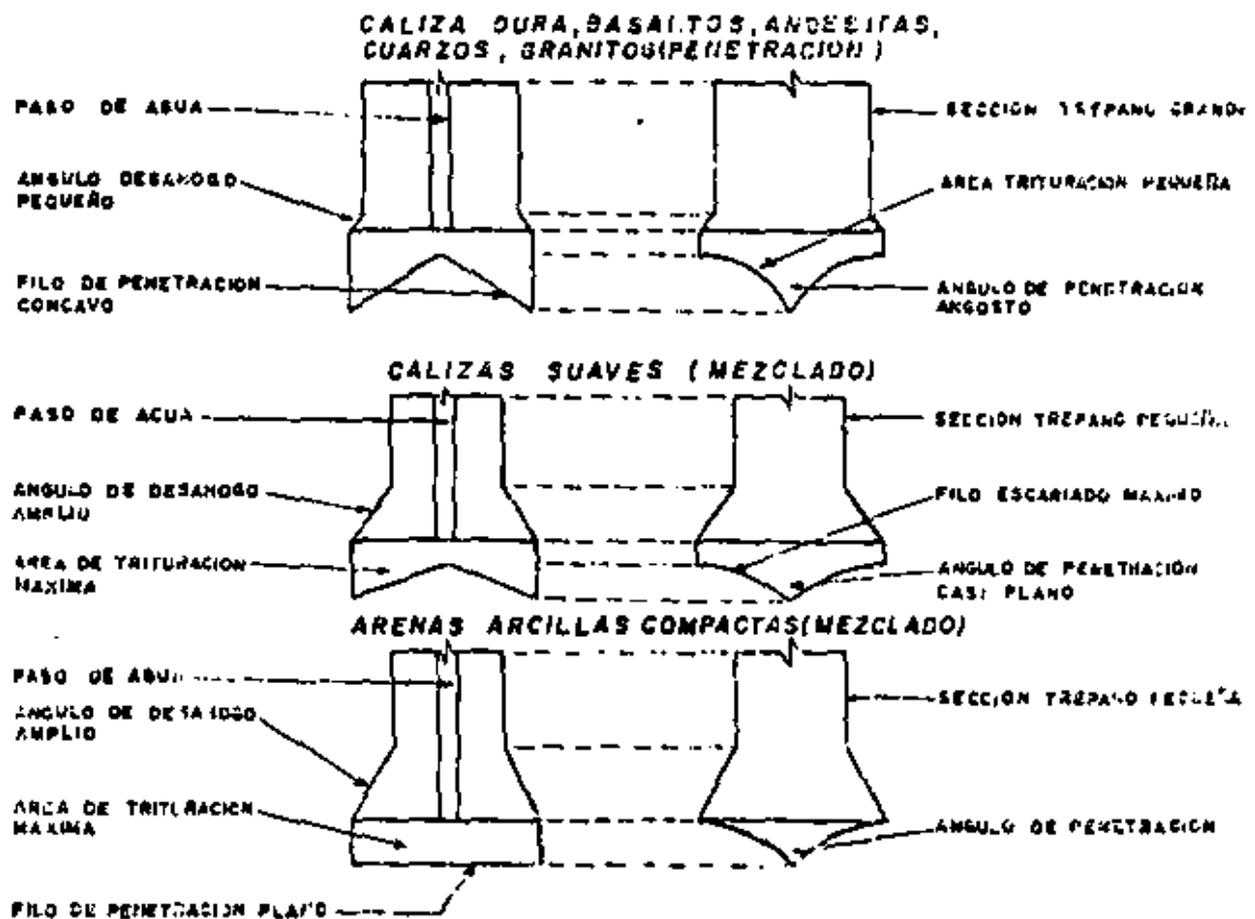


FIGURA 15 BIS

## MALACATES PRINCIPAL Y AUXILIARES.

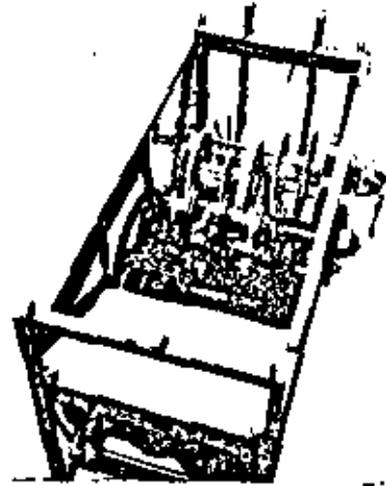


FIGURA 16

Malacate principal con tambor y repartidor para cable de herramientas. Es operado desde la parte posterior derecha del equipo a través de los controles correspondientes con avance y retroceso según se requiera el freno de fricción.

Malacate auxiliar con tambor para ademado. Es impulsado por el mismo engrane que mueve el malacate principal.

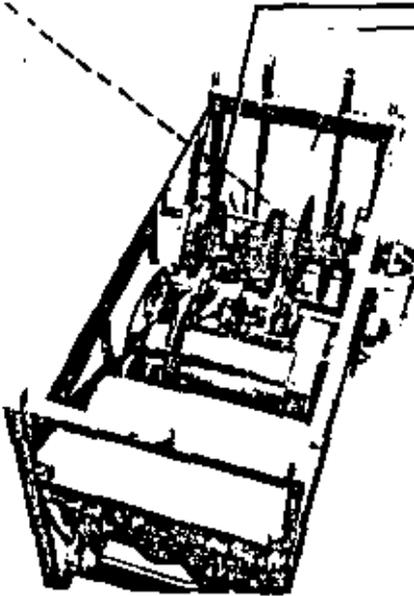


FIGURA 17

Malacate auxiliar con tambor diseñado para cuchareo y limpieza a velocidades relativamente altas. Tiene control de embrague y freno independientes.

BARRETON O BARRA MAESTRA FIGURA 18. -

Es una barra redonda de acero, con un piñón en su parte superior y una caja en la inferior. Su función es proporcionar el peso necesario a las herramientas de perforación y guiar éstas en forma vertical dentro del agujero. Generalmente son lingotes forjados de una pieza; pero hay casos en que sus extremos, el piñón y la caja, son forjados de acero al alto carbón, soldados y tratados térmicamente.

Las longitudes, diámetros y pesos de los barretones o barras maestras deben guardar una relación entre las herramientas que forman la sarta y la capacidad del equipo para lograr un trabajo rápido y eficiente.

GRAPAS GOLPEADORAS FIGURA 19 . - Cuando se sigue la práctica, no recomendable de hincar las tuberías de ademe, se instalan las grapas golpeadoras en el cuadrado para llaves superior y por cada

acción de la biela, la tubería recibirá un golpe con la herramienta.

FIGURA 18

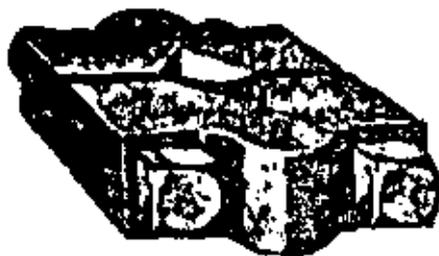
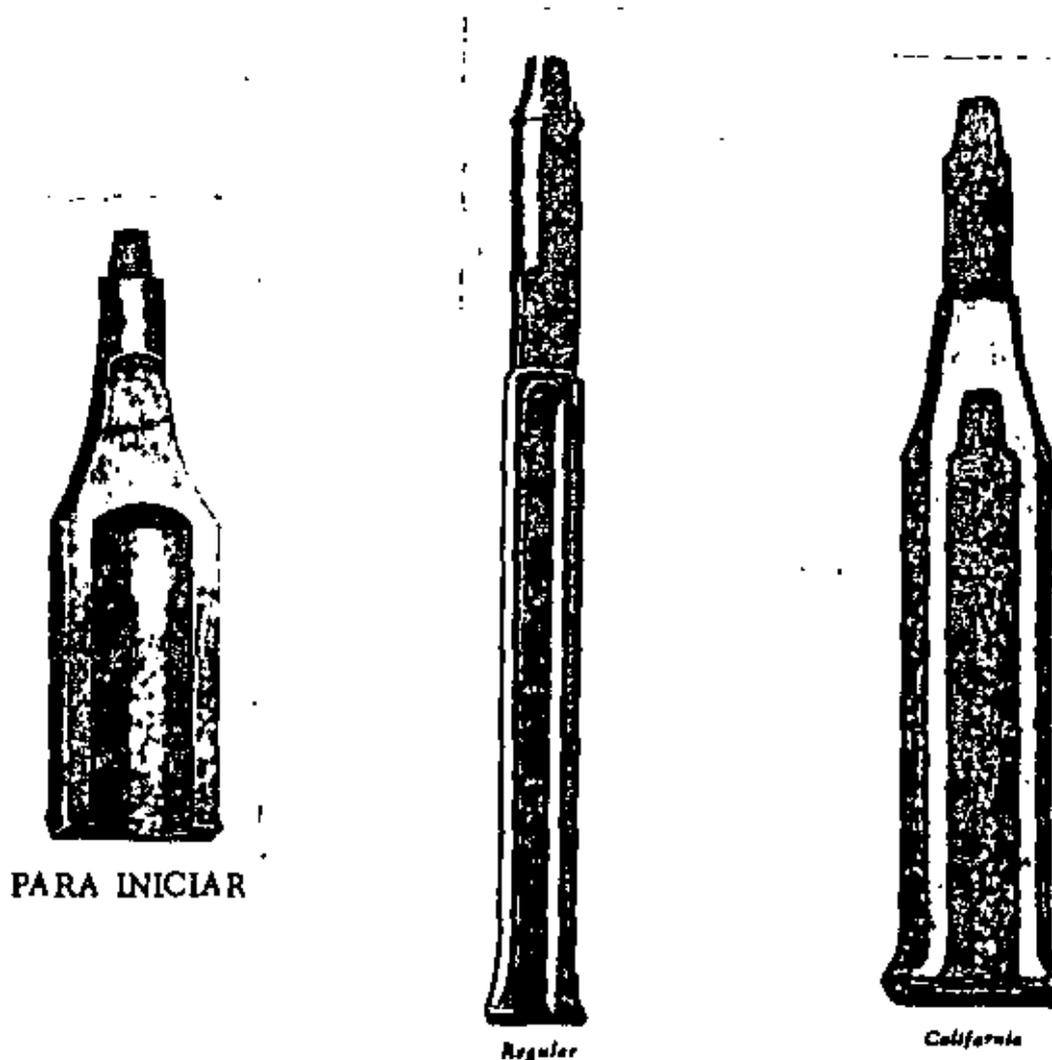


FIGURA 19

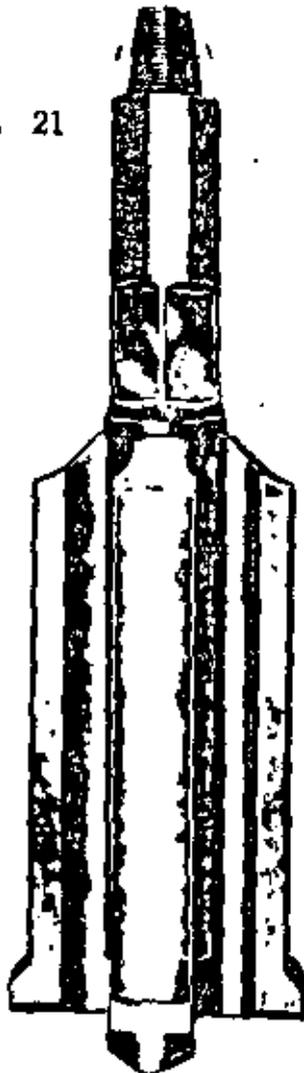
## TREPANO O HERRAMIENTA DE CORTE

FIGURA 20



TREPANO, - Es la herramienta destinada a ejecutar la perforación y se considera la parte más importante de la sarta. Se compone de las siguientes partes: piñón, cuello, cuadrado para llaves, hombros, cuerpo, pasos de agua o canales de evacuación y filo cortante.

FIGURA 21



TREPANO CRUZ O ESTRELLA

De acuerdo con los materiales por atravesar se emplean varios tipos de trépanos: estandar, regular o california, de cruz, torcido, etc.

Estandar, regular o california, son los de uso más común ya que se emplean para cortar formaciones suaves o duras variando el tipo de afilado de acuerdo con las mismas.

Recibe el nombre de california cuando su diámetro es mayor de 203 mm (8") y regular o estandar cuando es menor.

#### TREPANO TIPO CRUZ O ESTRELLA FIGURA

21 .- Se usa para perforar formaciones fisuradas o inclinadas que tienden a desviar las herramientas de la vertical. El cuerpo

de este trépano tiene 4 pasos de agua y su diámetro es ligeramente menor que el del área de corte.

TREPANO TORCIDO. - Es un trépano california con cuerpo en forma de espiral; sus características le permiten producir un batido mayor y agujeros más derechos.

PROTECTOR DE CABLE FIGURA 22. - Es una herramienta complementaria; su forma se ajusta al cuello del portacable y tiene una sección de un cuarto de círculo por donde se desliza el cable; evita que éste se quiebre cuando las herramientas se levantan de la posición horizontal hasta la vertical o viceversa.

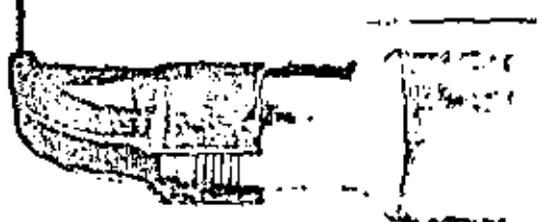


FIGURA 22

GUARDACABO FIGURA 23. - Cuando el cable se flexiona al extremo, se emplea el guardacabo para evitar que se quiebre.



FIGURA 23

PORTACABLE GIRATORIO FIGURA 24. - Tiene por objeto permitir que la sarta gire después de cada golpe. Es de sección cilíndrica, con una perforación concéntrica de diámetro tal, que permite el alojamiento de una bala o mandril que sirve de unión al cable de perforación con el resto de la sarta. En su extremo inferior tiene una caja para enroscar con el plñón de las tijeras de perforación. Cuenta además con varias perforaciones en su cuerpo para evitar atascamientos y facilitar la rotación.



Fig. 24

CUCHARAS O CUBETAS Y BOMBAS ARENERAS. - FIGURAS.  
NUMEROS 25 y 26.

En los trabajos de perforación con equipo de percusión, el material triturado se extrae del pozo con una cuchara o cubeta. Están formadas por un tubo de lámina de acero de una sola pieza; en su parte superior lleva soldada o remachada un asa que se une al cable de la línea de cuchareo. Cuando es de válvula plana, en su extremo inferior tiene una válvula de charnela con movimiento de bisagra, que al ser sumergida en el material se abre dejando que éste penetre, para cerrarse al ser elevada. Cuando la válvula es de dardo, ésta se levanta al entrar en contacto con el fondo del pozo permitiendo el paso de los materiales cortados, cerrándose automáticamente al levantar la cuchara.

También existen cucharas denominadas bombas de arena o areneras que se usan para extraer o limpiar el pozo de arenas o gravas. Se emplean cuando estos materiales son abundantes y las cucharas propiamente dichas no dan resultado.

Están formadas por un tubo con una válvula de gozne en su extremo inferior y un émbolo que trabaja como pistón dentro del cuerpo del tubo al ser levantado, succionando los cortes. Para vaciarla se desconecta la válvula. Esta puede ser de Dardo para los desazolves simples y de Tipo Trepano, cuando la formación está muy compacta.

HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS DE PERFORACION

BOMBAS ARENERAS



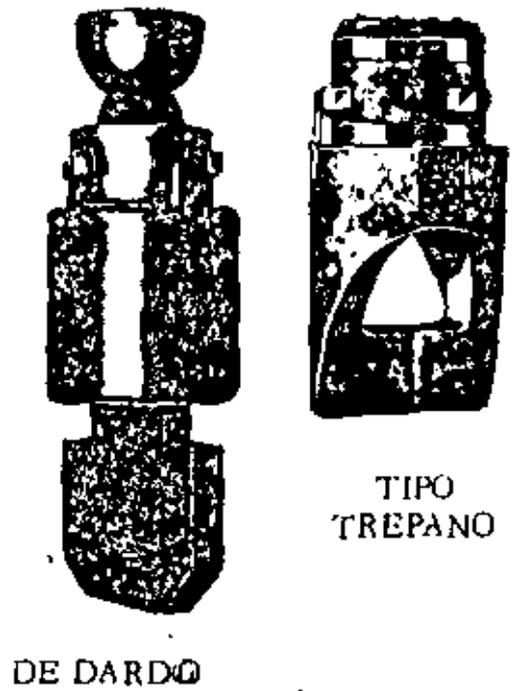
FIGURA 25

CUCHARA



Fig. 26

VALVULAS



DE DABDO

TIPO TREPANO

## ESPATULA Y GANCHO DE PARED

ESPATULA



Fig. 27

GANCHO DE  
PARED



Fig. 28

Además de las herramientas de perforación mencionadas, existen de fábrica, (sin contar con las llamadas "hechizas", es decir a aquellas que los perforadores improvisan en el campo pero que dan muy buenos resultados) tantos como trabajos extraordinarios son necesarios realizar para llevar a feliz término la perforación de un pozo.

Entre ellos se pueden mencionar las espátulas y los ganchos de pared que se emplean para desbastar salientes del agujero, o bien para enderezarlo. Figuras

PESCAS. - También en la perforación de un pozo se presentan accidentes, tales como la caída o pérdida de herramienta dentro del agujero. A ésta se le nombra "pescado" y la acción de rescatarla, "pesca". Para llevar a cabo estos trabajos existen herramientas especiales, empezando por la sarta: el portacable no es giratorio sino fijo; el barretón es corto, de 3 m aproximadamente, la carrera de las tijeras es de mas o menos 8 veces las de perforación; y en lugar de llevar en el extre-

mo una herramienta de corte, aunque hay ocasiones que es necesario emplearla, se conecta un pescador.



PESCADOR  
DE  
RIENDILLAS  
Fig. 29



PESCADOR  
DE  
CIRCULO  
COMPLETO  
Fig. 30



PESCADOR  
DE  
COMBINACION  
Fig. 31

HERRAMIENTAS PARA PESCA

PARA CABLE



DE UNO O DOS  
ARPONES

FIGURA 32

FIGURA 33  
DE FRICCION



CUERNO

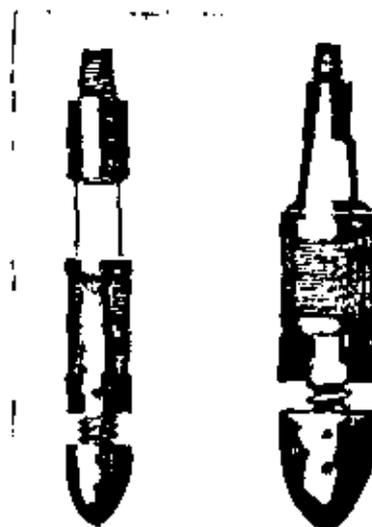
CORRUGADO

HERRAMIENTAS PARA PESCA



FIGURA 34

DE CUCHARAS



DE TUBERIA  
FIGURA 35

TROMPO



TROMPO. - Hay ocasiones en que las tuberías de -  
ademe se colapsan es decir cambian de forma por -  
impactos producidos dentro del pozo. Para devolver  
les su forma original se utilizan los trompos.

FIGURA 36

## UNION DEL CABLE A LA BALA O MANDRIL

Para evitar que el cable, que es quien soporta la sarta, se salga de la bala o mandril, los perforadores acostumbran seguir los pasos ilustrados en la figura inferior.



Se emplea como metal, el zinc o el babbitt fundidos. Cuidando que tanto el cable y la bala estén perfectamente limpios para lograr una perfecta adherencia.

Para poder realizar con eficiencia y rapidez la perforación de un pozo, los operadores cuentan con varios trépanos de una sola medida previamente afilados, sustituyendolos a medida que se van desafilando; pero de -- tal manera que el diámetro del agujero sea el mismo, ya que cuando este -- se reduce al conectar un trépano con la medida correcta, tenderá a atorarse.

El trabajo de afilado inicialmente se realizó utilizando una forja, -- misma que en algunos casos formaba parte del equipo y el afilado se realizaba a base de golpes de marro.

Esta situación cambio al aparecer la soldadura autógena ya que el -- resultado fué el mismo con menor esfuerzo. A la fecha con el empleo de -- las soldaduras a base de carburo de tungateno los resultados son los requeridos para llevar a cabo los trabajos a bajo costo.

## BIBLIOGRAFIA

- Grown Water and Wells. E. Johnson.
- Water Well Drilling with cable. R. W. Gordon.
- Grown Water. Tolman.
- Mud Especifications. Barold.
- Drilling and Fishing Tools. Bucyrus Erie Catalog.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PERFORACION DE POZOS PARA AGUA**

**TECNICAS MODERNAS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS  
(DEL SISTEMA DE PERCUSION)**

**ABRIL, 1984**

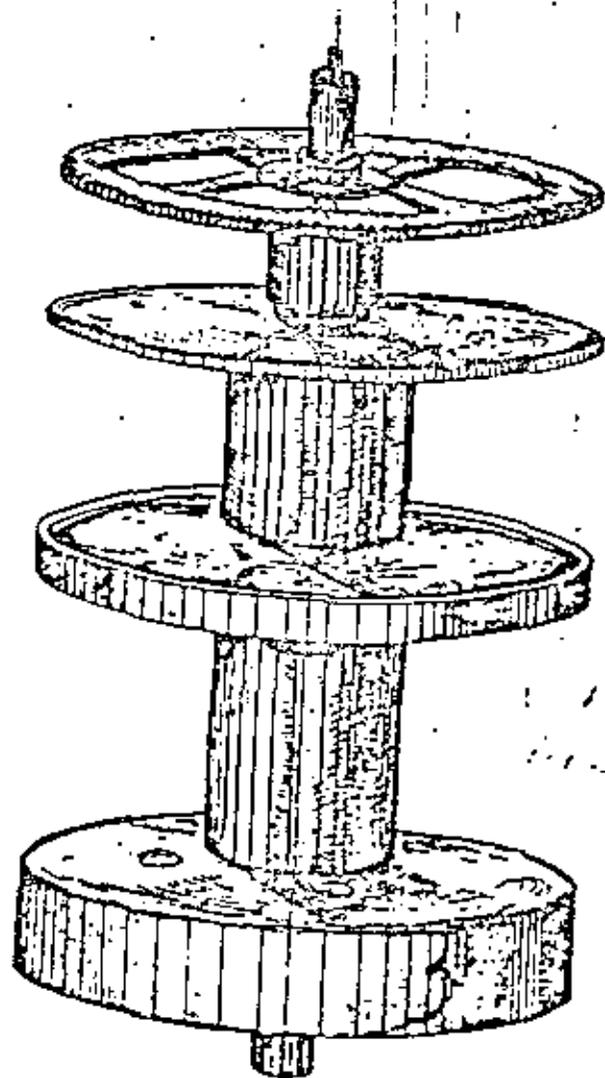


Fig 3

5

una rueda dentada que lleva en su eje dos brazos o manivelas, las cuales, por medio de unas bielas, dan movimiento oscilante al balancín. Se comprende fácilmente que si el tambor de perforar está frenado, este movimiento oscilante del balancín produce el movimiento alternativo de subida y bajada de la herramienta, que es el que se utiliza para perforar.

Las manivelas llevan distintos orificios en los que se pueden atajar los muñones de las bielas para obtener así un golpe más largo o más corto, según las condiciones del terreno que se perfora.

Este dispositivo de balancín movido por bielas, es el más empleado para conseguir el movimiento de percusión por la facilidad con que se regula la carrera de la herramienta. Hay otros sistemas que se valen de una polea montada excéntricamente en un eje, pero su uso es poco frecuente.

La polea del mástil lleva un dispositivo amortiguador (figura 2) formada por discos de goma con una base de acero estampado. El objeto del amortiguador es suavizar la reacción del movimiento de percusión sobre la máquina.

El tambor en que se enrolla el cable de perforar (figura 3), como se ve, lleva un separador que divide el tambor en dos partes. En la mayor se almacena el cable en varias capas, y en la pequeña se enrolla solamente la cantidad de cable que se emplea según la profundidad que se esté perforando. Con esto se consigue que, cuando está el trépano en el fondo del sondeo, no haya más que una capa de cable enrollada, con lo cual sufre menos.

El tambor lleva un freno para dejar salir la cantidad de cable que se desea.

Los tambores de entubación y de cucharas reciben el movimiento a partir del eje central por medio de cadenas. Ambos tienen su freno y embrague. Los cables correspondientes suben desde los tambores a poleas que hay en la parte superior del mástil y desde allí bajan el sondeo.

El mástil tiene por objeto permitir que la serie de herramientas salga completamente del sondeo.

Generalmente es de celosía y de estructura telescópica y para el traseado se retrae la parte superior y se dobla sobre la máquina.

Suele llevar un sistema de tirantes y viemos para darle mayor solidez.

El conjunto de la máquina puede ir montado sobre un remolque o bien sobre un camión, con lo que se consigue mayor movilidad.

### III. HERRAMIENTAS

La parte de herramientas está formada, normalmente, de abajo a arriba por las siguientes herramientas: trépano, barrón, tijera o desbarrador y monera. Veamos las características y función de cada una de ellas.

a) **Trépano** (figura 4). - Es la herramienta de perforar propiamente dicha y, por tanto, la más importante de todas. Hay muchos tipos de trépanos, como después enumeraremos, pero para su descripción nos referiremos al tipo llamado regular. Sus distintas partes se aprecian en la figura 4.

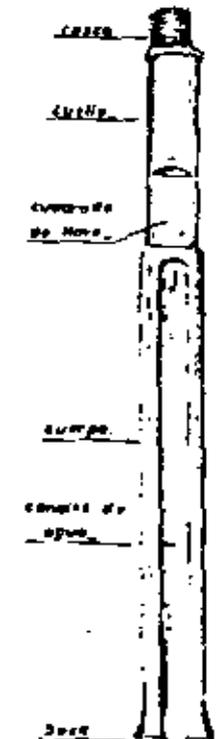


FIG. 4.  
TRÉPANO

Se describen a continuación algunas características geométricas del trépano, varias de las cuales hay que modificar según las características del terreno que se perfora.

— **Angulo de escape o de despeje** (figura 5). - Conicidad por encima del filo escariador. Se representa un trépano con gran ángulo de escape y sin superficie de desgaste.

— **Angulo de penetración** (figura 6). - Es el bisel de filo de corte que penetra o parte el material en el fondo de la perforación.

— **Superficie de desgaste** (figura 7). - Es el afea que no tiene ángulo de escape y está en contacto directo con la pared de la perforación.



FIG. 5.



FIG. 6.



FIG. 7.



FIG. 8.



FIG. 9.



FIG. 10.



FIG. 11.



FIG. 12.

— **Borde de ensanche** (figura 8). - Es el filo exterior del trépano y se mide en % de la circunferencia total.

— **Superficie inferior** (figura 9). - Es la superficie inferior del trépano. Se mide en % de sección del sondazo. Los pasos de agua se indican en blanco.

— **Pasos de agua** (figura 10). - Es la porción de la perforación no ocupada por el cuerpo del trépano. A su través pasa el agua y detritus cuando el trépano sube y baja.

— **Perfil del borde de penetración** (figura 11). - Puede ser recto, cóncavo o convexo.

— **Sección recta del trépano** (figura 12). - Es la sección del cuerpo por encima del ensanchamiento que forma la boca.

Además del trépano llamado regular, existen otros tipos:

— **California** (figura 13). - De hombros en bisel, que le permite pasar fácilmente por la boca de la tubería.

— **De hombros rectos** (figura 14). - Que actúan como escariadores hacia arriba cuando se forma "cuello" en la perforación por encima del trépano.

— **Salomónico** (figura 15). - Muy útil para perforar vertical en terrenos inclinados o para prevenir desprendimientos, pues sus estrías actúan una especie de anclaje en las paredes de la perforación.

— **Estralla** (figura 16). - De cuatro hojas, que forman cruz, y es útil para perforar formaciones fibrosas que tienen tendencia a desviar la perforación.

*Californiano* *T. de P.* *P. de P.*

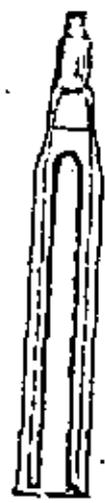


Fig. 13



Fig. 14

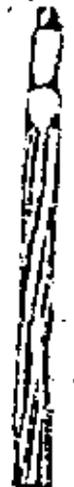


Fig. 15

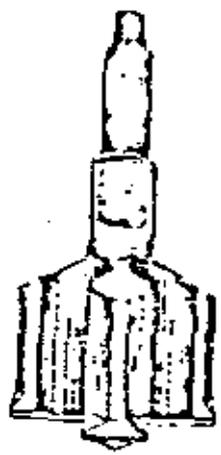


Fig. 16

Funciones que cumple el trépano.

Las cuatro más importantes son:

- 1.- Penetrar.
- 2.- Triturar.
- 3.- Escariar.
- 4.- Mezclar.

El carácter de la formación que se perfora determina cuál de estas misiones es más importante; así:

Terreno caliza dura.- La misión más importante es penetrar. Si la caliza tiene contenido en sílice resultará también abrasiva y entonces se ha que considerar también la función de escariar.

La piedra caliza sólida y dura que no tenga hendijas verticales o fisuras abiertas, que puedan desviar la perforación, puede perforarse con un trépano que tenga un ángulo de penetración  $45^\circ$ . El contorno o perfil del filo penetrante debe estar ligeramente cóncavo y, si el

terreno es abrasivo, debe usarse un amplio ángulo de escape. Si se encontraran grietas o fisuras, deberá aumentarse el ángulo de penetración, haciendo la herramienta muy roma y así las esquinas y los bordes escariadores quedarán más cerca del filo de penetración, permitiendo que los bordes escariadores puedan cortar en el lado inclinado de la grieta y perforar sin ningún desvío. Si el trépano se gastará rápidamente y el tamaño del agujero se redujera hasta dificultar el uso de un trépano nuevo, será necesario disminuir el ángulo de escape y permitir a la superficie de desgaste del trépano que resista el desgaste.

Terreno caliza blanda.- La caliza blanda requiere el que se preste una especial atención a la función de triturar, y si la caliza tiene una cantidad notable de arcilla mezclada, debe también atenderse a la función de mezclar.

La piedra caliza blanda con grietas abiertas, fisuras y lugares duros, precisa un trépano con el máximo filo escariador, un amplio ángulo de escape y un área en la cara de trituración grande. El filo del ángulo de penetración debe ser muy plano, pero el contorno o perfil del filo penetrante debe hacerse ligeramente cóncavo (1 centímetro de flecha).

Cuarzo o granito.- El cuarzo y el granito comúnmente son duros y abrasivos y, por tanto, las funciones más importantes del trépano son penetrar y escariar. En este caso no es necesario prestar atención a la función de triturar y mezclar. Escariar es lo más importante. El granito o cuarzo con grietas y fisuras verticales requieren un trépano con un amplio ángulo de penetración (véase figura 6), que formará un fuerte y grueso filo cortante para resistir el impacto de las pesadas herramientas sobre la dura roca.

Los filos escariadores deben mantenerse al tamaño de la medida total y no más atrás de  $1/2"$  (12 mm.) del filo penetrante o cortante. El contorno o perfil del filo cortante debe hacerse ligeramente cóncavo. Más importante es la superficie de desgaste, que debe ser tan recta como sea posible, y permitiendo un pequeñísimo o ningún ángulo de escape. El corte seccional o tamaño del cuerpo del trépano debe ser grande, para guiar a las herramientas en el agujero y evitar desvíos cuando se encuentran fisuras.

Terranos blandos.- La pizarra, arcilla o formaciones calizas blandas, requieren una atención especial a la función mezcladora, y en muchos casos es necesario retardar la función perforadora para asegurar resultados máximos al mezclar.

Este carácter de terrenos requiere un trépano con características completamente diferentes para ejecutar la importante función de mezclar. Debe usarse el mayor ángulo de escape posible (véase figura 5) :

el corte seccional o cuerpo del trépano debe ser pequeño.

A la cara trituradora debe dársele gran superficie, al objeto de retardar la penetración y evitar que las herramientas se claven o atasquen en el fondo.

Para analizar cualquier problema de perforación es necesario saber el carácter físico del terreno. La función más importante del trépano se puede así determinar y las cualidades de la misma se preparan para que dé los mejores resultados.

Para afilar el trépano, o sea, darle la forma conveniente a su boca y conseguir la dureza necesaria, se usa el procedimiento de forja y temple. Generalmente se usan forjas portátiles e las que se les da aire con un ventilador movido por el mismo motor de la máquina. El combustible más conveniente empleado hoy día es el gas-oil.

Algunas normas sencillas ayudan a obtener los mejores resultados en el afilado de trépanos.

Lo primero que se necesita es disponer de una forja adecuada con válvulas reguladoras de la proporción de combustible y de aire. También es necesario disponer de barriles a distintas temperaturas (Templstick) para comprobar la temperatura del trépano en las sucesivas fases del forjado y templado.

Las fases son las siguientes:

**Precalentado.** - Sobre todo importante en trépanos que ya han sido previamente templados. Se deja el trépano en la boca de la forja hasta que alcance la temperatura de 220° C. (comprobar con Templstick). Si no se dispone de Templstick, precalentar hasta que comience a tomar color. Calentar entonces lentamente hasta 750° (cerezos oscuros) moviendo el trépano para conseguir un reparto de temperatura uniforme. Se incrementa entonces la inyección de mezcla combustible/aire (rica en combustible) y pobra por tanto en oxígeno para evitar la descarburización, subiendo más rápidamente la temperatura hasta 1.100° (amarillo brillante). A esta temperatura ya se puede forjar la boca, dándole la forma deseada según el terreno a perforar. Durante la forja no debe descender a temperatura de 850° (rojo brillante). Si es necesario, recalentar hasta 1.100° en la forja. Dejar enfriar el trépano hasta una temperatura de 500° C. antes de normalizar o endurecer.

**Normalización.** - Recalentar muy lentamente hasta 900° C. (rojo). Mantener esta temperatura 20 minutos y dejar enfriar al aire hasta 450° C. (negro). La normalización elimina las tensiones internas y normaliza el acero en una estructura homogénea lista para endurecer

disminuyendo la posibilidad de grietas al hacerlo.

**Endurecido.** - Recalentar de nuevo muy lentamente hasta 850° C. (rojo brillante), girando el trépano con la frecuencia. Mantener a esta temperatura unos 10 minutos para permitir que el calor penetre en el interior. Templar entonces rápidamente sumergiéndolo en agua lo suficiente para mojar la cara trituradora. Se debe añadir agua fría para impedir la ebullición, pero asegurando un desagüe en el tanque que se temple para que no suba el nivel.

**Racocido.** - Este proceso elimina las tensiones inducidas al temple, le da tenacidad al acero y elimina el estado. En seguida que el acero, en los "pasos de agua", ha puesto negro, sacar el trépano del agua. El calor del cuerpo se comunica entonces a la boca y vuelve a calentarse. Cuando alcanza la temperatura de 230° C., sumergirla de nuevo en el agua.

No cabe duda que el procedimiento de afilado y endurecido mediante la forja es el mejor, pero ofrece grandes dificultades para ser practicado en el campo, sobre todo con trépanos de gran tamaño y muy pesados; por consiguiente, que presentan problemas de manejo. Por eso se ha ido extendiendo cada vez más el uso de la soldadura eléctrica, de la que hoy día se dispone en todos los equipos de perforación para soldar la tubería de revelamiento.

Se usa un electrodo "blendo", forjable, para formar un remohadillado que dé la forma conveniente a la boca del trépano y después se hace un recubrimiento superficial con electrodo "duro", que generalmente lleva como componente carbono de tungstenom con lo que se consigue extraordinaria dureza superficial.

**Barrón (figura 17).** - Es una barra cilíndrica de acero forjado que lleva en su parte inferior una rosca hembra para recibir la rosca macho del trépano, y en su parte superior una rosca macho que conecta con la tijera o motor en su caso.

Cerca de sus dos extremidades lleva dos cuadrantes de llave, necesarios para roscar y desroscar.

La misión del barrón es proveer a la serie de herramientas con el peso necesario para la perforación y también como guía para el movimiento alternativo de la serie.



Tijera o desahador (figura 18).

Cuando se usa, pues no es una herramienta imprescindible, va inmediatamente encima del barrón. Lo mismo que éste, tiene rosca hembra abajo y macho arriba, y los correspondientes cuadrados de llave.

Está formada por dos eslabones que permiten un cierto juego longitudinal del orden de 10 a 20 centímetros.

No tiene una función perforadora, sino que se utiliza para desatascar la herramienta cuando ésta queda atascada en la perforación. Cuando esto ocurre, la tijera permite golpear hacia arriba y, a menos que las condiciones sean difíciles, se consigue desatascar la herramienta.

Desde el punto de vista de la perforación, su uso es más bien perjudicial pues disminuye el rendimiento de la perforación. Por eso no deben usarse más que cuando haya peligro de atasco.

Montera (figura 19).- Remata la sarta de herramientas y sirve para hacer la unión con el cable.

El cable se une a un bulón cilíndrico alojado en el interior de la montera, permitiendo así el giro de la sarta de herramientas alrededor de su eje longitudinal, con lo que se consigue que la perforación sea cilíndrica y no aplastada.

La unión del cable con el bulón puede hacerse de forma directa o bien con el uso de zinc fundido (o metal antirricción).

La figura 20 muestra el primer método.

Como se ve, se pasa el cable a través de la montera y el bulón y se le da una ligadura con alambre a unos 15 centímetros del extremo para impedir que se destuerce por debajo.

Amarrando una cuerda bien apretada



Fig. 18

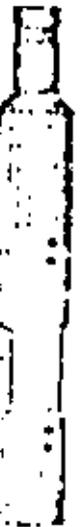


Fig. 19

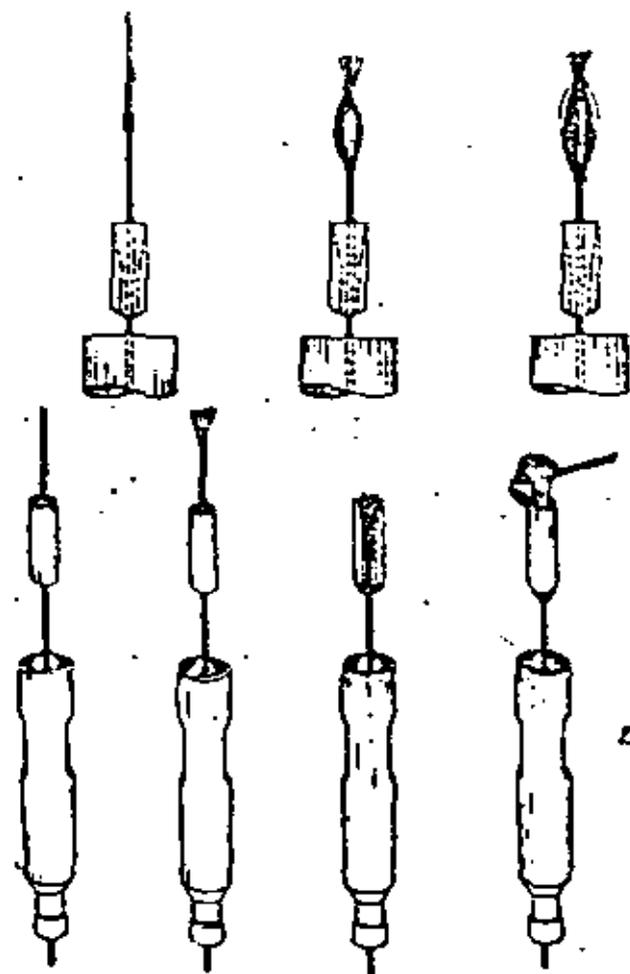


Fig. 20

Fig. 21

por debajo de esta ligadura, se forma una especie de nudo en forma de huso de unos 4 centímetros de diámetro máximo y 15 centímetros de longitud. Se destuerce los cordones por encima del huso y se vuelven hacia abajo, dándoles otra ligadura por debajo del huso. Se corta el alma de cáñamo sobrante y entonces se introduce en el bulón valiéndose de un taco de madera y un martillo.

Este método se puede usar cuando el peso de las herramientas no es superior a 1.000 kg., pues tiene el inconveniente de que todos los cordones del cable no trabajan por igual.

Se usa zinc fundido (o metal antifricción) cuando el peso de las herramientas es mayor. El método puede verse en la figura 21. Se limpia con cuidado el interior del bulón y después de pasar el cable a través de montera y bulón, se le dan dos ligaduras de alambre, una en el extremo y otra unos 10 centímetros más abajo. Se quita la ligadura superior y se descolchan los cordones. Se corta el alma sobrante. Se deshacen los cordones y se limpian perfectamente los alambres, abriéndolos sin enderezarlos. Se introduce entonces el extremo del cable en el bulón y se vierte el zinc fundido.

La unión del cable con el bulón es un punto débil que hay que vigilar constantemente y se debe renovar la unión, aproximadamente, a las 50 horas de trabajo.

Cuchara o válvula.- Se usa para extraer del sondeo los detritus mezclados con agua. Su forma general es un tubo con asa en la

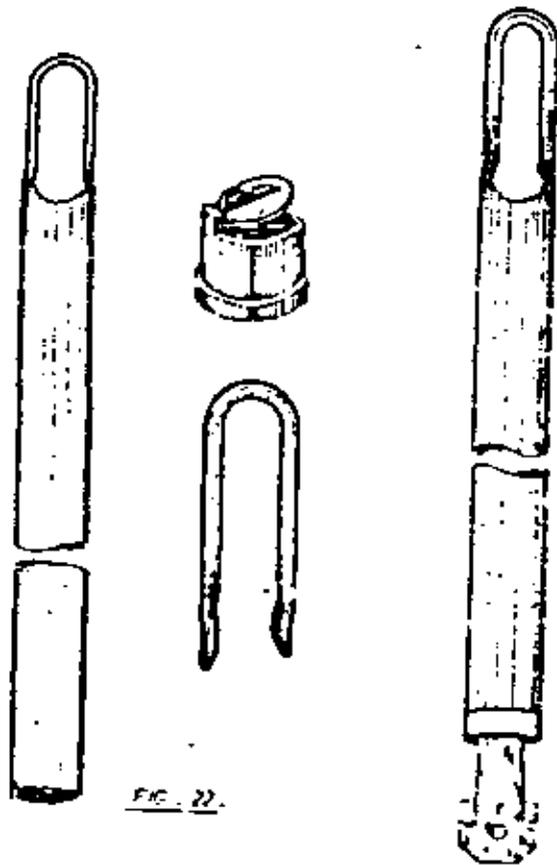


FIG. 22.

FIG. 23.

parte superior y una válvula en la inferior. Esta válvula se abre al descender la cuchara y se cierra en el movimiento ascendente. Según el tipo de válvula, la cuchara puede ser de válvula plana (figura 22) o de dardo (figura 23). La de válvula plana ~~aproximadamente~~ más la limpieza del sondeo y la de dardo es preferible para el caso de sondeos con poco caudal.

Roscas.- La unión de las distintas herramientas entre sí se hace mediante una rosca cónica, con lo que se consigue que desenroscando solamente unas cuantas vueltas se puedan separar las herramientas.

Estas roscas cónicas están normalizadas según las normas conocidas como A.P.I., que son las iniciales de American Petroleum Institute. A causa de su origen, vienen expresadas en pulgadas.

En la figura 24 se muestra un esquema de dichas roscas y en el cuadro siguiente las dimensiones en pulgadas según los distintos tamaños.

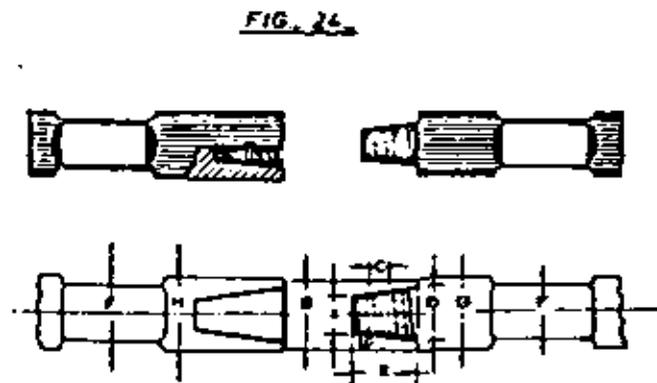


FIG. 24.

DIAMETRO DE LA RES- TORCIDA	TAMANO NOM- INAL DE LA JUNTA	N. DE HI- LOS RES- CA/FILO	TIPO DE ROSCA	LONGITUD DEL NACRO	TAMANO DE LEVANT- AMIENTO	DIAMETRO DEL CILIN- DRO FUERA	DIAMETRO DEL CILIN- DRO DENT-
2 x 2 1/2	2-3/4 2-3/4	8	API	2 1/2	2-3/4	2 1/2	2-3/8
4 x 4 3/4	3-1/2 3-1/2	8	API	3	3-1/4	3-1/2	3-1/4
4 x 5	3-3/8 3-3/8	7	API	3-1/2	3-3/4	3-3/8	3-3/4
6-3/16 x 6	3 x 3	7	API	4	3-1/4	4-1/4	4-3/8
8 x 8 5/8	3-3/4 3-3/4	7	API	4	3-1/2	4-1/2	4-3/4
8-5/8	3 1/2	7	API	4-1/4	4	5	4-1/4
8-5/8 x 8	3-3/4 x 3-3/4	7	API	4-1/2	4	5-1/4	5-1/2
8-1/4 x mayor	3 x 4	7	API	4-3/4	6-1/2	6	6-1/4
9 o mayor	3-1/4 x 4-1/4	7	API	5	5	6-1/4	6-1/2
10 o más	3 1/2 x 4	7	API	5-1/2	5	6-1/2	6-3/4
10 o más	4 x 5	7	API	5-1/2	5-1/2	7	7-3/8
10 o más	4 1/2-1/2	7	API	6-1/2	5-1/2	7-1/2	7-7/8
12 o más	4-1/2 x 6	7	API	7	6	8-1/4	8-3/4

**Claves.** Para apretar y aflojar las herramientas se usan unas llaves cuadradas; cuyo manejo se puede hacer bien con barra y cadena (figura 25) o con cremallera circular (figura 26). El primer procedimiento es recomendable casi siempre, pues con la cremallera pueden apretarse las roscas demasiado. Su uso está indicado en roscas de gran tamaño.

**Cables.** El cable más importante que usa la máquina es el de perforar. A causa del gran desgaste debido a la abrasión y a la fatiga de situación que tiene que soportar, se usa cable de composición es-

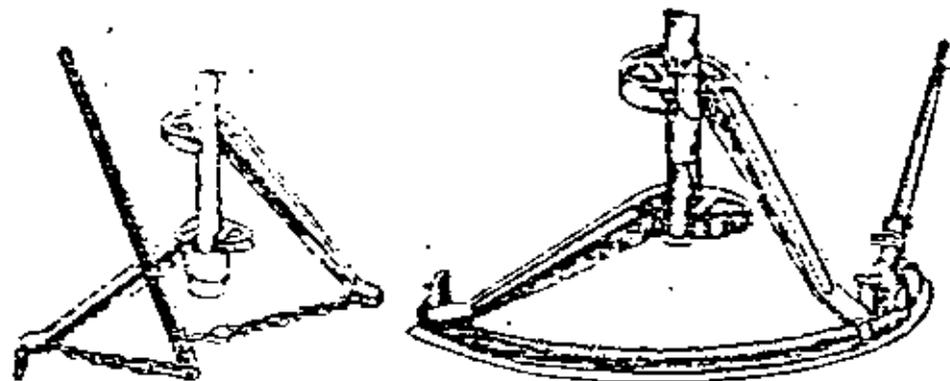


FIG. 25

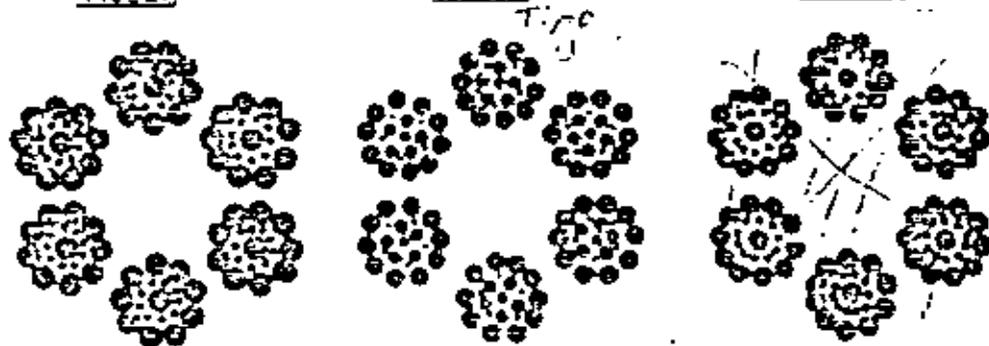
FIG. 26

pecial. Los más usados son el tipo SEALE 6x19 (figura 27) y el tipo U.S. 21 (figura 28). Como se ve en las figuras, estas composiciones llevan alambres gruesos al exterior para resistir mejor la abrasión. El alma, generalmente, es de cáñamo, pero recientemente se ha introducido el alma de polipilillo, que es menos afectada por la humedad y mantiene mejor la estructura del cable.

FIG. 27

FIG. 28

FIG. 29



La torsión del cable siempre es a la izquierda para que actúe siempre en el sentido de apretar las uniones roscadas de la sarta o herramientas.

Para el cable de limpieza se usa generalmente cable corriente de composición 6 x 7, y para la entubación un cable antigiratorio, por ejemplo, el tipo 15 x 7.

#### IV.—TUBERIA

Para la entubación de sondeos se usa tuberías de muy diver-

de tipos y calidades. Refiriéndonos a España, la más usada es tubería de chapa soldada. No hay normas sobre grueso de chapa y diámetro.

Diámetro interior en m/m.	Espesor en m/m
450	7
400	6
300	5
200	4

La tubería soldada tiene la ventaja de su precio y además, al tener el exterior liso la hace más fácilmente hincable cuando eso es necesario.

En el extranjero se usan quizá más las tuberías con manguito roscado, según normas muy diversas (API, DIN, etc.), que no vale la pena indicar. Solamente se debe insistir en que los extremos de los tubos deben hacer tope dentro del manguito para que al hincar la tubería el golpe se transmite directamente de un tubo a otro y no a través del hilo de rosca.

Cuando hay que hincar la tubería, se le coloca en su extremo inferior una zapata de acero de borde afilado para facilitar la penetración.

Cuando se usa tubería con manguitos, el diámetro exterior de la zapata debe ser, al menos, igual o mayor algunos milímetros superior al diámetro exterior del manguito con objeto de abrir paso a éste.

V.- METODO DE PERFORACION .

Comienzo de la perforación.- Durante este período las herramientas no han penetrado todavía en el terreno y están sobre la superficie, por lo que su movimiento puede ser peligroso y se deben tomar precauciones. Es conveniente usar una guía en el metal.

Si al comienzo el terreno es blando conviene cavar con pala un agujero inicial de un metro aproximadamente de profundidad. Se llena el agujero de agua y se baja la herramienta comenzando la perforación.

Para comenzar en terrenos duros conviene colocar un trazo de tubo como guía

Al comenzar la perforación debe llevarse la percusión a una velocidad pequeña hasta que se hayan obtenido un par de metros de per-

foración, y entonces se puede aumentar la velocidad.

Hay un medio sencillo de comprobar que se perfora a la velocidad correcta y es el movimiento de giro de la polea del balancín. Al ir aumentando la velocidad de éste llega un momento en que el balancín asciende algo más rápido que la caída libre de la herramienta y empujará al quedar la polea libre de la presión del cable, gira como se ve en la figura 30. Se consigue así que la caída de la herramienta sea libre y no frenada por el balancín, y se obtiene de este modo el mayor rendimiento de perforación. Se ha comprobado que perforando 1 ó 2 golpes por minuto más lento se reduce grandemente el avance (hasta un 20%). No se debe sobrepasar esta velocidad pues el cable tendrá demasiadas sacudidas.

La velocidad puede cambiar a lo largo del sondeo. Por ejemplo, al comenzar el sondeo con agujero superficial y sin agua, puede perforarse a 56 golpes por minuto, porque la caída de la herramienta es libre y no está frenada. Al ir aumentando la profundidad y espesándose

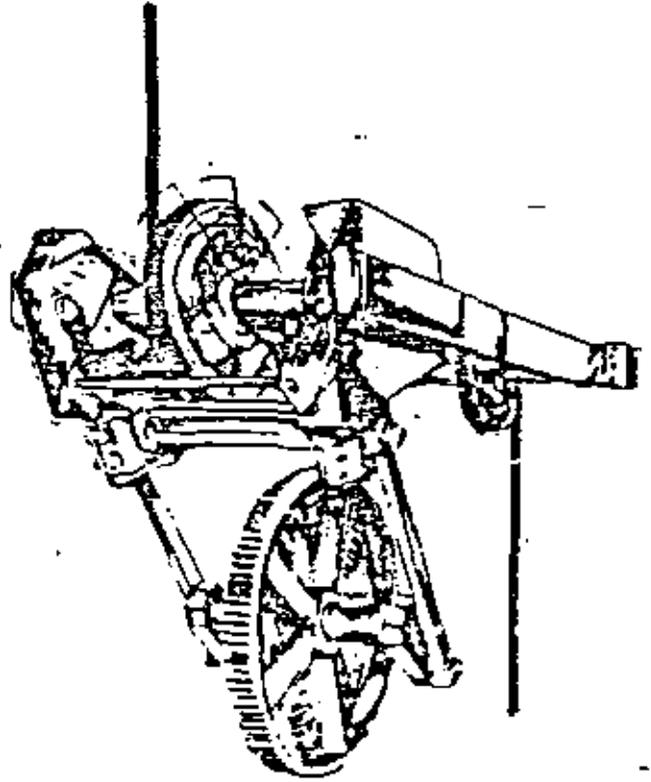


FIG. 30.

el lodo, la velocidad de caída libre de la herramienta disminuye y habrá que disminuir el número de golpes por minuto, por ejemplo, a 40.

La velocidad de golpeo está también condicionada por la intensidad del mismo que, como se sabe, se puede cambiar conociendo los momentos de las bielas en los distintos orificios de las manivelas.

Empleo de la válvula. - Ya dijimos que una de las funciones del trépano era mezclar los detritus con el agua y después hay que arrastrarlos de cuando en cuando con la válvula.

Con la válvula solamente, no se perfora ningún sondeo; no obstante, es un elemento necesario y pocos sondeos pueden perforarse sin su uso.

El tiempo que se toma en utilizar este instrumento es improductivo y debe vigilarse muy de cerca a fin de convertir una parte de ese tiempo en producción; es decir, reducir los raras de funcionar la válvula y aumentar el tiempo de perforación.

No se debe parar el movimiento de perforación hasta que la válvula esté lista para funcionar.

Tres o cuatro minutos antes de parar el movimiento de perforación, se vierte un cubo de agua para aclarar el lodo y de esta manera la válvula se hundirá hasta el fondo y recogerá una carga completa. El no hacer esto debe el tiempo para la limpieza del sondeo. Tres veces de la válvula limpian el pozo, si la válvula es de tamaño apropiado y el lodo está en condiciones.

Cantidad de agua. - La cantidad de agua, la cantidad de agua vertida en el pozo y el período de tiempo entre cada vez que se echa el agua, tienen bastante efecto sobre los metros perforados en cada turno. Cuando se echa demasiada agua al pozo, éste tiende a acortar demasiado el barro y los trozos gruesos de material bajan al fondo, donde el trépano debe pulverizarlos antes de continuar la perforación. La falta de agua produce una consistencia al lodo, perjudicial para el progreso de la perforación, pues retarda la caída de las herramientas.

Se debe vigilar cuidadosamente el movimiento de las herramientas perforadoras y cuando se observe algún arrastre o pérdida de las herramientas, se que echar agua.

Después de limpiar el pozo, puede quedar unos 50 centímetros de lodo, que podría aclararse con 1/2 balde de agua, sin arrastrar al fondo materias gruesas.

Se echa agua en pequeñas cantidades cuando el lodo está bajo en el pozo y se mide que éste se profundiza y se produce más lodo, se aumenta la cantidad de agua vertida. En otras palabras se comienza a perforar en un agujero limpio con solo unos pocos litros de agua y gradualmente se aumenta la cantidad de agua, a medida que aumenta la profundidad del lodo, pues el objeto es mantener constantemente la consistencia del barro, a un punto que los materiales gruesos no se arrastren al fondo y al mismo tiempo, que la herramienta no se retarde en su caída por gravedad.

El buen empleo del agua depende enteramente de la destreza del operador y del interés que demuestre en mantener un eficaz funcionamiento.

Un pequeño estudio y atención que se dé al empleo del agua, producirá más perforaciones con el menor esfuerzo.

Toma de muestras. - Con la válvula, manejada convenientemente, se pueden tomar muestras representativas del terreno que se está perforando. Para conseguir que la muestra sea del terreno que se está perforando, sin mezcla de los terrenos superiores, y sobre todo en zonas de arena y grava, se debe hacer bajar la tubería hasta el fondo de la perforación y se usa el trépano para mezclar completamente el material que hay por debajo de la zapala de la tubería. Durante este proceso de mezcla, las partes más finas ocupan la parte superior y las gruesas la inferior; por consiguiente, no hay que limitarse a tomar una "cucharada", sino varias y mezclarlas, cuarteando después las veces que sea necesario.

En sondeos de pequeño diámetro se puede manejar la válvula a mano para conseguir un efecto de succión en el fondo del sondeo. Para eso se epoya la válvula en el fondo y se deja salir 10 ó 20 centímetros más del cable, aplicando entonces el freno. Se coge el cable con la mano y se le desvía lateralmente con rapidez varias veces, con lo cual la válvula sube y baja sobre los detritus que hay en el fondo, recogiendo así una muestra nuevamente.

Perforación en roca. - Se usa siempre la carrera más corta de golpeo y es conveniente usar la tierra o estrabador y no porque con ello se consigue mayor efecto, sino por razones de seguridad pues se pueden encontrar zonas que se desprendan o fisuras que hacen que la herramienta se acuda. Golpeando con la tierra hacia arriba es casi seguro desalojar la herramienta.

Las principales dificultades que se suelen encontrar al perforar roca son las cavernas y los estratos inclinados. Si las cavernas son grandes el trépano "halla" dentro de ellas y no se puede perforar. El remedio suele ser cerrar la caverna y reperfilar después de ha-

per fraguado o bien entubar para proporcionar así una guía al trépano.

Los estratos inclinados producen desviación del sondeo, lo que se comienza a detectar porque la herramienta no gira. Cuando ocurre esto hay que recuperar la verticalidad. Para eso se suele rellenar la parte inclinada con trozos de hierro fundido y se reperfora. Si no se dispone de hierro fundido se puede rellenar con trozos de roca dura, intercalando a intervalos de un metro algunos trozos de cable usado el que previamente se ha calentado para quitarle el temple. Es posible que esta operación de rellenar y reperforar haya que repetirla varias veces.

Se consigue a veces buen resultado al perforar en estratos inclinados entubando hasta donde comienza la inclinación apreciada con una tubería de pequeño diámetro, por ejemplo 200 m/m, y perforando por el interior de ella con un trépano muy ajustado a su diámetro y colocando además en la montera unos suplementos ajustados también al diámetro de la tubería. Se consigue así una guía muy eficaz para el trépano y se pueden perforar unos cuantos metros de sondeo vertical. Después se extrae la tubería pequeña y se ensancha la parte perforada a diámetro normal, valiéndose para ello de un trépano con guía que sigue la perforación pequeña.

Perforando en roca es conveniente recargar el trépano con frecuencia para mantener el diámetro. Lo mejor es usar dos trépanos y recargar uno mientras se perfora con el otro.

La entubación de los sondeos en roca no suele ofrecer dificultad pues se perfora con diámetro suficiente para permitir la colocación de la tubería.

Perforación en formaciones no consolidadas. - El trabajo suele ser principalmente de mezcla. El golpeo se ajusta a la carrera más larga. El mejor terreno para perforar es el que tiene una textura no homogénea, es decir, que es una mezcla de arcilla, arena y grava. Cuando la textura es homogénea, se pueden producir dificultades y conviene en lo posible corregirla. Por ejemplo, si se perfora en arcilla, que puede ser muy pegajosa y retener el trépano, se consiguen buenos avances arrojando de cuando en cuando algo de arena o también, si no se dispone de ella, trozos de cable de perforar usado que se destreñan previamente. En cambio si es arena lo que se perfora, conviene arrojar arcilla. Se consigue así una mezcla más fácil de extraer con la cuchara.

En estas formaciones no consolidadas, sobre todo cuando predomina la grava o la arena, no se mantienen las paredes de la perforación y es necesario ir entubando a medida que se perfora. Las presiones laterales retienen la tubería y es necesario golpearla para que avance. Para ello se usa una cabeza de golpeo [figura 31] puesta sobre la tubería y las bridas de golpeo [figura 32], que se stormillan abrazando el cue-

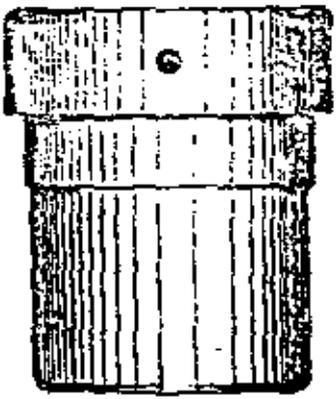


FIG. 31.

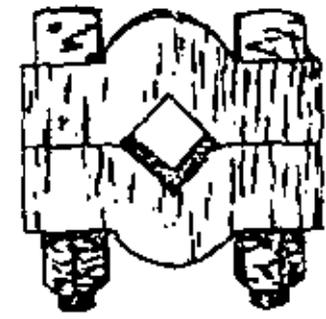


FIG. 32.



drado de llave superior del barrón. Con movimiento lento se va golpeando la tubería que se llega al fondo de la perforación y entonces se continúa perforando.

Nunca se deben usar las tijeras cuando se está entubando.

En las formaciones no consolidadas la mayor dificultad que se encuentra es cuando se perfora en arena muy fina, a la que vulgarmente se llama arena de playa o arena valorada. Esta arena penetra en la perforación y hay que sacarla con la cuchara en grandes cantidades antes de que permita avanzar la tubería. Además, como está saturada de agua, sube por el interior de la tubería comportándose casi como fluido. Hay que tener mucho cuidado pues al proceder así pueden quedar las herramientas enterradas en la arena análogamente a como quedan sumergidas en agua al encontrar un acuífero.

Es una práctica mantener el sondeo completamente lleno de agua para que la presión hidrostática impida la salida de arena por el interior de la tubería.

Si la capa de arena fina es de un espesor grande la presión lateral que ejerce sobre la tubería puede impedir el avance de ésta, obligando a sucesivas disminuciones de diámetro.

V.- FAENAS DE PESCA

El mayor éxito que puede tener una faena de pesca es evitarlo. "Es mejor evitar que curar". Todas las precauciones y previsiones que se tomen se tengan serán pocas; estado del cable, junta del bulón, uniones roscadas, etc., son puntos que se deben revisar cuidadosamente.

Hay que tener en cuenta que la pesca es una faena en la que se mezclan la habilidad y la casualidad. Por eso hay que usar, sobre todo, la cabeza y no impacientarse jamás.

Todas las faenas de pesca son inicialmente sencillas, pero cualquier error cometido puede hacerlas muy difíciles o imposibles. La posibilidad de complicaciones es tan grande, que es preferible no hacer nada antes que proceder en forma inadecuada.

Para poder pescar cualquier herramienta es necesario conocer sus dimensiones. Por eso es indispensable que el Capataz tenga siempre anotadas todas las dimensiones de todas las herramientas que está usando (rosca, cuellos, cuadrados de llave, longitudes, peso etc.). También deberá saber exactamente la profundidad a que está perforando.

Además de las dimensiones, es muy conveniente saber la "postura" en que ha quedado la herramienta perdida dentro del sondeo (derecha, contrada, apoyada en la pared, metida en una cavidad, etc.). Esto se consigue con el "bloque de impresión (figura 33).

La sarta de herramientas de pesca debe estar formada siempre (salvo circunstancias muy especiales) por las herramientas siguientes:

- Montera rígida.
- Barrón de pesca.
- Tijeras de pesca (golpe largo)
- Pescador.

Hay que colocar el barrón de pesca encima de las tijeras de pesca para disponer así de fuerza cuando se golpee hacia arriba.

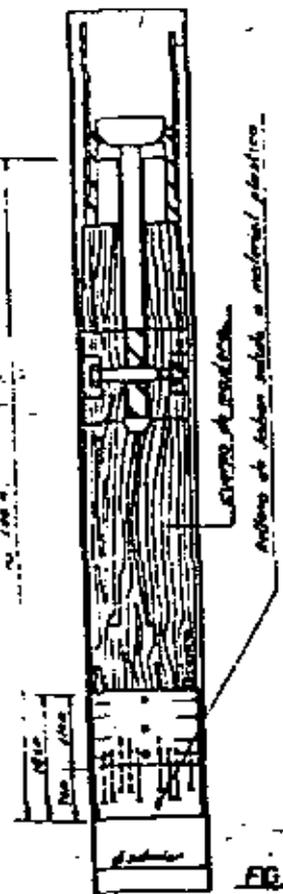
Al principio de la faena de pesca debe mantenerse siempre la máquina con el golpe más corto que tenga. Después, si es conveniente, se utiliza un golpe más largo.

Todas las campanas de pesca que tengan cuñas se meterán, la primera vez, siempre sin las cuñas para comprobar que pueden llegar hasta el sitio de la pesca y que la herramienta entre ellas.

Aparte de las herramientas que se describen a continuación, pueda ser necesario, en ocasiones, el uso de otras de "fabricación casera", con dispositivos que el ingenio del perforador encuentre adecuados en cada caso particular.

Bloque de impresión (figura 33). - Las

FIG. 33



herramientas perdidas se pescan mucho más fácilmente si se conoce la posición exacta dentro del sondeo. La herramienta puede estar apoyada en la pared o metida en una cavidad, de modo que no pueda entrar en la campana de pesca. También puede estar recubierta con desprendimientos. El cuello de la montera y las rosca de las herramientas pueden haber cambiado de forma a consecuencia de golpes recibidos antes de la faena de pesca o durante la misma. Todas estas condiciones se pueden determinar sacando un molde de la herramienta perdida con el bloque de impresión.

Para hacer el bloque de impresión se parte de un taco cilíndrico de madera de longitud aproximada de 1 metro y de diámetro 1 centímetro inferior al diámetro interior de la tubería. Si la tubería tiene abolladuras o no es perfectamente cilíndrica, conviene aumentar prudentemente este hueco de 1 centímetro para evitar atropellos. A un extremo del taco se le da forma cónica para igualar con el diámetro de la cuchara y además, se le hace una ranura para que entre la lengüeta de la válvula de dardo. Un taladro diametral coincidente con el taladro de la lengüeta sirve para pasar un tornillo que fija el taco a la cuchara.

El otro extremo del taco se rodea con una chapa fina de unos 20 centímetros de ancho y de longitud suficiente para que envuelva el taco por completo. Esta chapa se clava al taco de modo que sobresalga unos 10 centímetros de su extremo. En el interior de la cavidad se clavan, aproximadamente hasta la mitad, algunas puntas, que servirán para ayudar a mantener dentro de esta cavidad la sustancia plástica con que se ha de rellenar y que ha de servir para sacar la impresión o molde de la herramienta perdida. Esta sustancia plástica puede ser parafina, cera, jabón blanco o alguna otra de propiedades similares. En ocasiones, hasta se podrá usar barro de alfarero.

Para usar el bloque de impresión se baja primero la cuchara y el taco para determinar la profundidad, y se marca el cable exactamente. Se coloca el taco con su extremo inferior relleno de sustancia plástica y se baja hasta tomar contacto con la herramienta. La marca hecha en el cable servirá para saber cuándo ocurre esto. Claro que habrá que tener en cuenta ahora la longitud del taco. Conviene que la cuchara con el taco se asiente bien sobre la herramienta, pero sin presionar demasiado. Subir entonces la cuchara con cuidado y despacio, y retirar el bloque, en el que habrá quedado marcado el molde o impresión de la herramienta.

Montera rígida.- Para las faenas de pesca se usa la montera rígida en lugar de la giratoria, pues con la rígida no hay variación ninguna en la longitud del cable, como ocurre con la giratoria, a causa del juego del bulón. Caso necesario, se puede usar la montera giratoria introduciéndole un taco de madera que acufie el bulón. Un error de 2 ó 3 centímetros en la longitud del cable puede estropear una faena de pesca.

**Barrón de pesca.** - Es más corto y, por consiguiente, menos pesado que el barrón ordinario de perforar. Se usa inmediatamente debajo de la montera rígida y encima, por tanto de las tijeras de pesca.

**Tijeras de pesca.** - Su sitio en la sarta de herramientas de pesca es entre el barrón y el pescador. Así, todo el impulso del barrón hacia el transmite al pescador. Son análogas a las tijeras corrientes de perforar, pero su carrera es mucho más larga. El objeto de éstas es que se pueda obtener golpeo hacia arriba sin que se golpee hacia abajo al mismo tiempo. Golpear en ambos sentidos es el medio más seguro para que se escape una herramienta que se tiene ya enganchada. Como algunas veces cuesta varios días conseguir el enganche, no será prudente arriesgarse a usar tijeras de carrera corta. Cuando hay que golpear hacia abajo es imposible hacerlo eficazmente con tijeras de carrera corta pues la caída del barrón es, como mucho, igual a la carrera de la tijera.

**Golpeador (Fig. 34).** - Se usa para soltar herramientas que se han acufado en el sondeo. Esto suele ocurrir cuando se perfora sin tijeras. El golpeador se usa con el cable de cuchara y el cable de perforar sirva como guía. Se suelta la cuchara de su cable y se pone el golpeador. Se le quitan a éste los dos pesadores que lleva y se introduce el cable de perforar por la ranura, reponiendo entonces los pesadores. Para impedir que se enreden los cables de cuchara y de perforar, se debe tensar este último antes de descender el golpeador. Para quitar las vueltas que pueda tener el cable de cuchara, no conviene descender el golpeador de una vez, sino por ensayos sucesivos. Por ejemplo: la primera vez se desciende hasta la cuarta parte de la profundidad, se saca hasta arriba y se vuelve a meter la mitad, luego hasta las tres cuartas partes y, por fin, hasta el final. En todos intentos hay que obrar despacio y con cuidado. Al llegar al final, es decir, a que el golpeador haga contacto con el cuello de la montera, se marca el cable de cuchara. Se mantiene la tensión del cable de perforar y se levanta el golpeador de 3 a 5 metros, dejándolo caer libremente. Generalmente, algunos golpes bastan, excepto cuando las herramientas están muy enterradas por desprendimientos.

Cuando, a causa de desprendimientos, se quedan atrancadas las tijeras (sin juego), se pueden soltar por un procedimiento análogo, pero aplicando menos tensión al cable de perforar y dejando el freno del tambor de perforar apretado ligeramente. Al golpear así, desciende el eslabón superior de la tijera hasta que ésta se cierra. Tensando el cable de perforar se abren otra vez las tijeras y repitiendo la operación de golpeo varias veces, se consigue, generalmente, dejar las tijeras libres y con éstas se puede sacar casi siempre la herramienta.



FIG. 34

Hay que tener en cuenta que al golpear repetidas veces el cuello de la montera, ésta se puede resquebrajar y dificultar posteriores faenas de pesca.

El golpeador puede servir también cuando no se dispone de cortacable y se quiere cortar el cable por la montera, en caso de que las herramientas hayan quedado atrancadas. Se hace ascender como se ha indicado y una vez abajo se afloja el cable de perforar 0'50 metros aproximadamente. Se deja caer entonces el golpeador unas 10 ó 12 veces desde una altura de 3 metros, después se pone en marcha la máquina de modo que dé tirones repetidos del cable y éste, que ya está machacado por el golpeador, terminará rompiendo.

**Campana de fricción (Fig. 35).** - Cuando se desenrosca o rompe la rosca de un trépano, lo primero que se usa para pescarlo, si se dispone de ello, es una campana de fricción. No se debe tratar de pescarlo a la primera vez, sino golpear un poco hacia abajo y después sacar la campana para vez las señales que el trépano deja en ella. Si se nota que el trépano ha entrado, entonces se baja otra vez y se golpea más fuerte para que agarre y sacar así el trépano. A causa de que el agarre es sólo por fricción, no resiste mucho golpeo hacia arriba.



FIG. 35

Si las señales que quedan en la campana indican que el trépano no entre dentro de ella, sino que la golpea lateralmente, hay que dejar de usarla pues lo único que se conseguiría sería clavar más el trépano en la pared. Se debe usar entonces una espadilla para enderezar el trépano en el sondeo. El trabajo alternado de la espadilla y la campana de fricción consigue a menudo pescar el trépano.

**Campana de combinación (Figura 36).** - La campana de combinación se usa para pescar el cuello de una montera una vez que se ha cortado el cable. También se pescan con ella las roscas macho de las herramientas que se desroscan y quedan en el sondeo. Se puede usar además para pescar cualquier objeto cilíndrico, como barril de perforar o tubería, que quede en posición vertical en el pozo, siempre que su diámetro sea, por lo menos, 5 mm. menor que el interior de la campana. Cuando se pescan roscas, las uñas son cónicas, y para cuellos de montera y objetos cilíndricos se usan cuñas cilíndricas. En cada caso, es muy importante que las cuñas sean del tamaño a la pieza que se quiere pescar.



Es una de las herramientas de pesca más eficaces y una vez que se ha conseguido enganchar la herramienta perdida, es muy difícil romper el enganche. Por eso, no se debe usar sino cuando se sepa casi con certeza que las herramientas no estén acuchadas de tal forma que sea imposible sacarlas.

Como siempre, se usan tijeras de pesca (recorrido largo) entre el berrón y la campana de combinación. Se emplea el golpe más corto de la máquina. Conviene desarmar la campana y hacer un primer ensayo bajándola al sondeo sin las cuñas ni el cuello para ver si la herramientas que se quiere pescar entra en su interior. Para conocer esto es útil atravesar un palito en la boca de la campana de modo que quede bien encajado. Si la herramientas entra en la campana, el palito se romperá. Una vez que se tenga certeza de que la herramienta entra en la campana, se arma ésta.

Se desciende lentamente la campana hasta que se establezca contacto con la herramienta y entonces se dan unos cuantos golpes hacia abajo para hacer el enganche. Una vez hecho el enganche, si la herramienta no está acuchada, no hay más que sacarla. Si no sale, hay que golpear hacia arriba. Es conveniente golpear corto y rápido. La paciencia es el mejor ayudante. No se puede decir cuanto tiempo será necesario, pero pueden hacer falta varias horas. Si la herramienta no ha quedado libre después de varias horas, hay que dar un golpe más largo y fuerte, aunque esto puede hacer que se suelte la herramienta de la campana. Cuando ya es seguro que la herramienta no se puede sacar, hay que romper el enganche y sacar la herramienta de pesca. Esto se puede conseguir, aunque no es seguro, golpeando en los dos sentidos simultáneamente (para esto hay que poner en la máquina un golpe más largo que el recorrido de la tijera). Algunas veces se conseguirá soltar la herramienta en pocos minutos sin que sufra ella ni la campana, y otras veces pasarán varias horas antes que se suelte, con daño para la campana y la herramienta.

Después de terminar con éxito una faena de pesca, se suelta la herramienta pescada de la campana desarmando ésta.

Campana del círculo completo (Fig. 37).- Se usa para pescar cuellos (de berrón, tijeras o trépanos) y objetos cilíndricos en posición vertical. Su uso es completamente análogo al de la campana de combinación y hay que tomar con ella las mismas precauciones. Es esencial, como siem-

pre, usar las cuñas que correspondan al diámetro de la pieza que se quiere pescar.

En el cuerpo de la campana hay dos orificios por los que se puede meter un pesador que limita la entrada de la herramienta que se pesca dentro de la campana. Se impide así que la herramienta golpee el muelle o el tornillo que mantiene unidas las cuñas.

Espadilla (Fig. 38).- Es una herramienta eficaz para enderezar en el sondeo trépanos o herramientas que estén sobre la pared de modo que no pueden ser cogidas con una campana. Sirve también para desacuchar un trépano. La manera correcta de usar esta herramienta es bajarla hasta que esté al lado de la herramienta perdida y entonces golpear con la máquina simultáneamente arriba y abajo. Después de 20 ó 30 minutos de trabajo, se quita la espadilla y se hace un intento con la campana. Si este método no da resultado, hay que intentar colocar la espadilla encima de ella. Esto se puede conseguir con mucha paciencia. Entonces se desciende la espadilla toda la longitud entre la pared y la herramienta y se pone en marcha la máquina, golpeando arriba y abajo. Esto tiende a abrir un hueco entre la herramienta perdida y la pared del sondeo, y aumenta las posibilidades de coger la herramienta con la campana.

Para soltar una herramienta acuchada no es esencial que la espadilla gire en el sondeo. Se le debe dar forma en caliente con un macho al extremo de modo que sea más grueso que el cuerpo y templarlo. Así abrirá su propio camino.

Gancho centrador (Fig. 39).- Se usa para poner en pie herramientas que estén apoyadas en la pared y no se puedan enderezar con la espadilla. Muchos perforadores prefieren usar con esta herramienta la montura giratoria y buscar su posición. También se pueden manejar con tubería en vez de cable.

La mayoría de las veces se consigue éxito bajando el gancho hasta que esté al lado de la herramienta y subiéndolo muy despacio hasta llegar a la parte superior de la herramienta perdida. Así se permite al gancho, se debe arrojar carbón vegetal

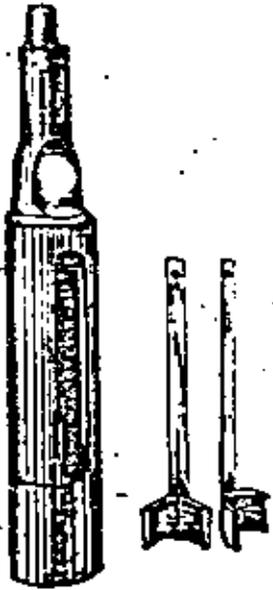


FIG. 37.-



FIG. 38.-

o otro material blando para que la herramienta no vuelva a tumbarse. Después se hace la pesca con la herramienta adecuada.

**Arpón pesca-cable con pestillo (Fig. 40).**— Se usa esta herramienta cuando se rompe el cable de perforar y quedan la herramienta dentro del sondeo, con un trozo de cable encima. También se usa si se rompe el cable de cucharas.

Se mide el cable desde el punto que corresponde al nivel del suelo hasta el extremo y, teniendo en cuenta la profundidad del sondeo y la longitud de la herramienta, se determina la cantidad de cable que queda en el interior.

En el caso de una cuchara que haya quedado con poco cable, puede ser pescada por el asa con el pestillo de la parte inferior de este pescador.

Es importante que el pescador no descienda tanto que el extremo del cable roto quede por encima de él y pueda enredarse en las tijeras complicando la faena de pesca. Para evitar esto, conviene que el pescador lleve un disco de madera de diámetro aproximado al del sondeo.

Una vez enchanchadas las herramientas, si éstas están sueltas en el sondeo, conviene proceder prudentemente. Si levantan las herramientas 5 ó 6 metros y entonces se deja resbalar ligeramente el freno del tambor de perforar. Si el cable no estaba bien enganchado, las herramientas caerán al fondo, pero será preferible esto a que caigan desde una altura superior.

Al salir el pescador del sondeo, hay que tener cuidado de que no se suelte el extremo del cable y por eso hay que parar y atar dicho extremo al pescador.

Si las herramientas están atascadas, habrá que ir sacando el cable a pequeños trozos.

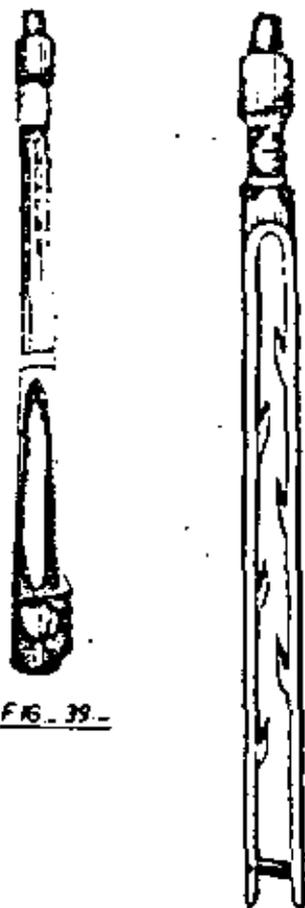


FIG. 39.

FIG. 40.



FIG. 41.



**Corta-cable (Fig. 41).**— Cuando las herramientas están tan atascadas en el sondeo que no se pueden soltar con el golpeador, hay que cortar el cable lo más cerca posible de la monera como operación previa a una faena de pesca.

El cortador de cable completo comprende: monera rígida, barrón tijera de golpe largo y cortador propiamente dicho, y se maneja con el cable de cucharas.

Se quitan del cortador la tapa, las cuchillas y los dos pasadores y se arma alrededor del cable, pero sin poner las cuchillas. Antes de intentar bajar el cortador hay que tensar el cable que se ha de cortar. Como regla, se puede decir que la tensión debe ser poco más de un centímetro por cada 100 metros de cable. Si el cable está muy tirante o muy flojo, se puede enredar con el cable de la cuchara.

Se hacen varios intentos de la misma forma que con el golpeador hasta que se consigue descender el cortador hasta la monera. Cuando se ha conseguido esto, se saca el cortador y se le colocan las cuchillas bien limpias y engrasadas y se baja de nuevo hasta la monera. La acción de corte se consigue golpeando hacia arriba con las tijeras.

**Importante.**— Una vez que se han colocado las cuchillas no se debe intentar tensar el cable más ni sacar el cortador hasta que éste ha llegado a tomar contacto con la monera; de otro modo, si se puede cortar el cable más arriba de lo conveniente y ser precisa una faena de pesca más complicada. Una vez cortado el cable de perforar, se puede sacar éste casi siempre antes de sacar al pescador, pero si los cables de perforar y cucharas se han enredado, hay que irlos sacando al mismo tiempo. Puede ser conveniente atravesar un palo en la boca del sondeo entre ambos cables para que los vaya separando a medida que salen.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PERFORACION DE POZOS PARA AGUA**

**PERFORACION A PERCUSION**

**ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR**

**ABRIL, 1984**

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

Tijera o Percutor. Es la herramienta conectada a la parte superior del barrenón que tiene dos funciones esenciales, en forma similar a los estabones de cadenas, permite el juego entre la herramienta de perforación y el cable reduciendo el chicotazo del mismo, y además nos sirve como un elemento de seguridad, puesto que en un caso de derrumbe de la formación o de haberse atrapado la herramienta permitirá el golpeteo hacia arriba para desatascarla.

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

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

Cable. Un elemento de la mayor importancia es el cable de perforación, del-

que depende la sarta de perforación y es el que le transmite la fuerza torsora que permite elevar y soltar la herramienta para lograr el impacto necesario, está sometido por lo tanto a un esfuerzo continuo y violentas sacudidas al tensar la herramienta, sufre un desgaste continuo por la fricción con las partículas que contiene el lodo, así como la producida por el roce con las paredes de la perforación al chicotear el cable, el rozamiento al enrollarlo y subir y bajar la sarta y las cubetas de limpieza, a la torsión que se produce en los cambios de dirección, en los contactos con las poleas, etc.

Para poder soportar todos estos esfuerzos, el cable debe reunir varias características, como son la suficiente capacidad a la tensión adecuada a las herramientas que moverá, flexibilidad y resistencia al desgaste por fricción.

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

Debe existir además una relación adecuada entre el diámetro del cable y el de las poleas de la máquina así como debe tenerse el cuidado para que-

el cable suelta debidamente. Los fabricantes de cables nos dan las siguientes tolerancias.

TOLERANCIAS EN EL DIAMETRO DE LA RAMURA EN RELACION AL DIAMETRO DEL CABLE.			
DIAMETRO DEL CABLE		DIAMETRO DE LA RAMURA	
5.5 R mm.	(1/4 — 5/16")	+0.4-0.8 mm.	+(1/64—1/32)
9.5 19	(3/8 — 3/4 )	+0.8-1.6	+(1/32—1/16)
20 28	(13/16—1 1/8 )	+1.2-2.4	+(3/64—3/32)
30 38	(1 3/16—1 1/2 )	+1.6-3.2	+(1/16—1/8 )
40 50	(1 19/32—2)	+2.4-4.8	+(3/32—3/16)

35

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

Cable	Diámetro del Tambor o Polea
6 x 7	42 d
6 x 19	30 d
6 x 37	18 d
8 x 19	21 d
8 x 7	34 d

Otra regla general puede ser la siguiente:

Diámetro de Tambores	D	400 d	(diámetro de los alambres más gruesos del cable)
Diámetro de Poleas	D	450 d	

### VARIACION DEL METODO DE PERCUSION UTILIZANDO UN POZO GUIA DINAMITADO.

La perforación de rocas de gran dureza como basalto, riolitas y andesitas sanas, suele en algunos casos, ser muy lenta y presentar gran dificultad y en estos casos cuando se cuenta con equipo puede utilizarse esta variación que reduce los tiempos de construcción.

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

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

Como cabo se utiliza una gelatina que se coloca en el fondo y como detonador un estopin eléctrico, a partir del cabo se rellena el pozo de 6 1/2" de diámetro, con un explosivo a base de nitrato de amonio hasta llegar a los estratos suaves donde se rellena con arena gruesa para evitar un puenteo. En caso de alternancia de estratos importantes se hace repetitivo este sistema de carga, teniendo la precaución de usar un iniciador de cada sec.

ción separada de voladura.

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

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

No es necesario perforar el pozo guía a un diámetro mayor de 8 1/2", el hacerlo conduce únicamente a una reducción en el rendimiento de perforación y a un aumento en el costo no solo de la perforación sino del explosivo por utilizar, así mismo no se deberá reducir el diámetro de perforación a menos de 6".

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

No deberán ponerse varios cabos a lo largo de una misma carga, en lugar

de reforzar la explosión en esos lugares como es rónicamente se cree, únicamente provocará el mismo efecto del cordón explosivo reduciendo la velocidad de la onda y un aumento del costo de los explosivos usados.

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

Siguiendo estas precauciones se puede asegurar el mejor resultado con el método del pozo guía.





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PERFORACION A ROTACION CON AIRE

ING. ANDRÉS BENTON CUELLAR

ABRIL, 1984

## 1

## PERFORACION A ROTACION CON AIRE.

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

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

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



## 3

Se puede observar que con el uso del aire se dejan de efectuar funciones que se consideran esenciales en la utilización de lodos. Se pierden las características de prevención de derrumbes y control de presiones de flujos existentes en la formación, por lo que es evidente que no debe utilizarse en formaciones sueltas o fácilmente desmenuzables que no presenten una compactación suficiente, solo es posible hacerlo en formaciones compactas, lo anterior independientemente de su dureza.

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

La pérdida de la capacidad de soporte, nos obliga a una limpieza total del pozo antes de suspender la inyección del fluido, por lo que antes de cualquier paro se deberá circular hasta dejar de tener producción de corte en la superficie.

## 4

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

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

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

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

Presenta como una gran ventaja la de que; entre menos densidad y viscosidad presenta el fluido de perforación, se tiene una mayor velocidad de circulación mayor rapidez en la limpieza y por lo tanto un mayor rango de penetración de la formación, es decir, se perfora más rápidamente con aire que con - -

agua y mas rápidamente con agua que con lodo; por lo anterior siempre que sea posible y aún en lugares donde existan pequeñas pérdidas de circulación, este método puede ser usado con ventaja, por el gran incremento en la velocidad de extracción del corte.

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

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

(S. O. K. pag. 77, 78 y 99)

#### Perforación con Martillo Neumático (Sistema Down The Hole)

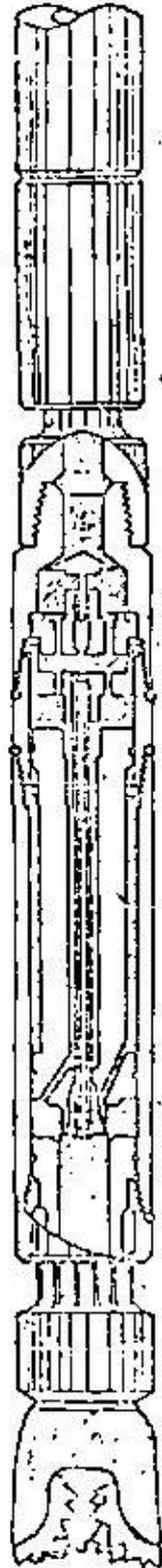
Antecedentes.

La perforadora de roca fue probablemente la primera herramienta neumática

## 6

ca. Originalmente fue diseñada para ser operada por vapor de agua, pero su aplicación en el tuncleo y la minería bajo la superficie forzó al uso de aire comprimido y consecuentemente al desarrollo de compresores. En 1861 se usó por primera vez en Europa la perforadora neumática para el tuncleo y en la construcción del primer túnel en los Estados Unidos en el año de 1868 se utilizaron perforadoras neumáticas. Desde entonces su uso ha hecho posible muchas cosas, industrias enteras dependen de la excavación de bancos de materiales rocosos o yacimientos mineralógicos, las vías ferreas, caminos y supercarreteras, han podido construirse con mayor facilidad, grandes presas y plantas hidroeléctricas, canales, tuncleos, sistemas de abastecimiento y de drenaje y muchas otras obras, existen en la actualidad debido a las facilidades que ha otorgado el uso de esta herramienta tan importante.

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



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

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

#### El Martillo Neumático "DOWN HOLE"

Este es el martillo más eficiente de todos, y el pistón golpea directamente sobre la broca y prácticamente la sigue dentro de la perforación.

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

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

## 9

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

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

Quando se utiliza el martillo, se trabaja a bajas revoluciones de la rotaria (entre 10 y 20 RPM) y se debe transmitir a través de la herramienta un peso que va únicamente de 1,000 a 3,000 lbs., no debiendo aplicar una carga mayor porque se impide su golpeteo. Lo anterior es una gran ventaja cuando se atraviesan formaciones que pueden dar lugar a desviaciones, porque la mejor práctica para evitarlas es la de aplicar poco peso a través de la columna de perforación. Debido al uso de poca velocidad en la rotaria y la aplicación de poco peso, es muy pequeño el esfuerzo que se transmite al equipo, aún cuando se perforen materiales de alta dureza, lo que redundan en un menor deterioro de éste.

El método exige la utilización de aire a una presión de cuando menos 250—

lbs/pulg<sup>2</sup> y solo podrá utilizarse un compresor de 100 lbs/pulg<sup>2</sup>, usando --  
martillos que operen a baja presión y solo en aquellos casos en los que el --  
pozo al perforarse no proporcione agua. Con un compresor de 100 lbs/pulg<sup>2</sup>  
solo podrá llegarse al nivel freático, en algunos casos de pozos para proce--  
sos constructivos se puede utilizar el martillo; con suministro de aire a baja  
presión.

De acuerdo al diámetro de perforación se utilizan volúmenes de aire entre --  
450 y 2100 PCM resultando la velocidad de penetración en relación directa al  
volumen de aire utilizado que en el caso de los martillos influye no solo en --  
la velocidad de extracción de los cortes sino en el número de golpes que --  
transmite a la formación.

Con una buena operación y supervisión de los trabajos de perforación, pode--  
mos considerar que la realizada con martillo neumático es la mas rápida, --  
tratándose de formaciones compactas o duras, sin embargo obliga a la utiliza--  
ción de herramientas de alto valor y de maquinaria auxiliar como son los --  
compresores y bombas de alta presión, así como al uso de espumantes adecua--  
dos, por lo que el método incrementa el rendimiento, pero también los cos--  
tos de perforación en una forma notable, su mayor ventaja es por lo tanto la--  
reducción del tiempo de construcción de un pozo y la posibilidad de constru--  
ir lo lo mas vertical posible.

Durante la perforación con martillo pueden encontrarse estratificaciones de --

## 11

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

El efecto del volumen de aire utilizado.

En el caso de perforación directa con broca tricónica, entre mayor volumen de aire se utilice, se tendrá una mayor velocidad de retorno y de transporte de los sólidos y se mantendrá mas limpio el agujero, lo que nos permitirá un avance mayor por no tener que remolar los cortes, obteniendo además, un tamaño mayor de esquila.

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

El martillo, es un motor reciprocante y tiene una cámara donde admite y ex-



con problemas dentro del pozo.

Así podemos programar, hasta dónde llegaremos a perforar con el martillo, que generalmente alcanza las profundidades de diseño de las cámaras de bombeo.

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

Quando disponemos de un "Booster" o multicompresor se integra al sistema y se podrán alcanzar mayores profundidades dependiendo de su capacidad.

Se puede observar la gran versatilidad que se obtiene con la combinación del sistema de perforación con martillo neumático y posteriormente con el uso de broca tricónica y aire. Con el martillo se logra perforar la parte correspondiente a la cámara de bombeo con la mayor verticalidad posible en esa zona, el ritmo de perforación tratándose de una misma formación es práctica-



Se puede observar que con el uso del aire se dejan de efectuar funciones que se consideran esenciales en la utilización de lodos. Se pierden las características de prevención de derrumbes y control de presiones de fluido existentes en la formación, por lo que es evidente que no debe utilizarse en formaciones sueltas o fácilmente desmenuzables que no presenten una compactación suficiente, solo es posible hacerlo en formaciones compactas, lo anterior independientemente de su dureza.

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

La pérdida de la capacidad de soporte, nos obliga a una limpieza total del pozo antes de suspender la inyección del fluido, por lo que antes de cualquier paro se deberá circular hasta dejar de tener producción de corte en la superficie.



gos en la superficie que dan mal olor cuando han estado almacenados por un tiempo largo, es necesario agitar nuevamente la solución pues suelen precipitarse algunas de las sustancias en solución, y en esta forma se obtiene la recuperación total de sus funciones.

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

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

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

En la práctica la cantidad adecuada de espumante que debe incluirse al aire es aquella que nos produce las menores pulsaciones en



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

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

Cuando se utiliza el martillo, se trabaja a bajas revoluciones de la rotaria- (entre 10 y 20 RPM) y se debe transmitir a través de la herramienta un peso que va únicamente de 1,000 a 3,000 lbs., no debiendo aplicar una carga mayor porque se impide su golpeteo. Lo anterior es una gran ventaja cuando se atraviesan formaciones que pueden dar lugar a desviaciones, porque la mejor práctica para evitarlas es la de aplicar poco peso a través de la columna de perforación. Debido al uso de poca velocidad en la rotaria y la aplicación de poco peso, es muy pequeño el esfuerzo que se transmite al equipo, aún cuando se perforen materiales de alta dureza, lo que repercute en un menor deterioro de éste.

El método exige la utilización de aire a una presión de cuando menos 250—

lbs/pulg<sup>2</sup> y solo podrá utilizarse un compresor de 100 lbs/pulg<sup>2</sup>, usando martillos que operen a baja presión y solo en aquellos casos en los que el pozo al perforarse no proporciona agua. Con un compresor de 100 lbs/pulg<sup>2</sup> solo podrá llegarse al nivel freático, en algunos casos de pozos para procesos constructivos se puede utilizar el martillo; con suministro de aire a baja presión.

De acuerdo al diámetro de perforación se utilizan volúmenes de aire entre 450 y 2100 FCM resultando la velocidad de penetración en relación directa al volumen de aire utilizado que en el caso de los martillos influye no solo en la velocidad de extracción de los cortes sino en el número de golpes que transmite a la formación.

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

Durante la perforación con martillo pueden encontrarse estentaciones de

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

#### El efecto del volumen de aire utilizado

En el caso de perforación directa con broca tricónica, entre mayor volumen de aire se utilice, se tendrá una mayor velocidad de retorno y de transporte de los sólidos y se mantendrá más limpio el agujero, lo que nos permitirá un avance mayor por no tener que remoler los cortes, obteniendo además, un tamaño mayor de esquina.

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

El martillo, es un motor recíproco y tiene una cámara donde admite y ex-

pulsa el aire proporcionando la energía necesaria al pistón, entre mayor sea el volumen de la cámara, mayor será la potencia del golpe transmitido y mayor será el avance en materiales que necesiten de este impacto para hacerlo fallar, en el caso de perforación de materiales un poco mas suaves será conveniente utilizar el martillo con menor cámara de admisión porque dará un mayor número de golpes por minuto, aunque de menor impacto.

Es evidente que si utilizamos un compresor de determinado volumen para mover el martillo nos dará un número de golpes por minuto y si ponemos 2 compresores en paralelo, la velocidad de retorno se duplicará y así mismo para fines prácticos el número de golpes, así sucesivamente podrá ser incrementado en función del volumen de aire comprimido disponible. Lo ideal según gráficas americanas de perforación con aire es utilizar en un agujero de 1 1/4" de  $\phi$  cuando menos 1900 PCM, para lograr el máximo rendimiento.

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

Practicamente hemos perforado a diámetros de 12 1/4" y a 17 1/2" de diámetro con volúmenes entre 1500 CFM y 2100 CFM, con la correspondiente reducción en los rendimientos de perforación, comparados con las normas americanas.

En forma por demás eficiente se realizan perforaciones exploratorias de 6 1/2" de diámetro y tubería de 3 1/2" con 450 PCM, lo que nos da una velocidad de retorno de 2750 piés/mín., aún la perforación de 8 5/8" de diámetro con tubería de 4 1/2" nos dá 2540 piés/mín. con 750 PCM y al perforar en 12 1/4" de  $\phi$  con tubería de 5 1/2" de  $\phi$  y 1500 PCM tenemos velocidades de retorno de 2300 piés/mín., el rendimiento óptimo en este último caso se obtendrá al utilizar 2100 PCM con una velocidad de retorno de 3200 piés/mín.

#### Presiones Necesarias.

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

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

En la práctica, las profundidades que se pueden alcanzar con la presión del aire disponible pueden verificarse fácilmente durante la perforación llevando una gráfica de presiones-profundidades con las lecturas en nuestros manómetros, por ejemplo; en el caso del uso del martillo, la presión inicial que nos marcará será la suma de las pérdidas de carga en el sistema, mas la presión de operación del martillo, conforme vamos profundizando van aumentando las pérdidas de carga y la pendiente que se observa es la causada por las pérdidas por conducción, la pendiente proseguirá hasta donde se manifieste el nivel piezoométrico, que podrá mostrarse con un incremento violento de la presión de trabajo en nuestros manómetros y en forma evidente en el volumen de agua que retorna del pozo, esto en el caso de acuíferos confinados, o podrá observarse únicamente un cambio de pendiente que corresponde a la carga adicional producida por el agua que penetra el acuífero y el incremento del volumen de agua que retorna del pozo, en el caso de acuíferos libres.

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

con problemas dentro del pozo.

Así podemos programar, hasta dónde llegaremos a perforar con el martillo, que generalmente alcanza las profundidades de diseño de las cámaras de bombeo.

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

Quando disponemos de un "Booster" o multicompresor se integra al sistema y se podrán alcanzar mayores profundidades dependiendo de su capacidad.

Se puede observar la gran versatilidad que se obtiene con la combinación del sistema de perforación con martillo neumático y posteriormente con el uso de broca tricónica y aire. Con el martillo se logra perforar la parte correspondiente a la cámara de bomba con la mayor verticalidad posible en esa zona, el ritmo de perforación tratándose de una misma formación es practica-

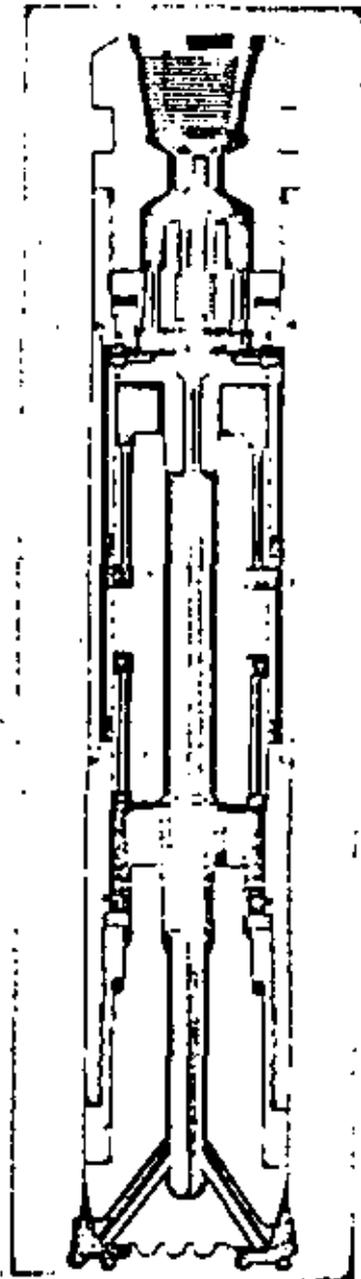
mente el mismo desde el inicio del pozo, a pesar de que no se puede aplicar el peso de lastrabarrenas, además se transmite el menor esfuerzo a la perforadora, logrando así que se tenga el menor deterioro posible del equipo. - Cuando ya no es posible utilizar el martillo ya se tiene la posibilidad de - - usar el peso de los lastrabarrenas para proseguir con buen ritmo de avance. Es necesario aclarar que aún utilizando martillos es indispensable el uso de lastrabarrenas, ya no para proporcionar peso sino para rigidizar la sarta e impedir la desviación de la perforación por la acción pendular al encontrar el martillo plano de contacto entre materiales duros y suaves.

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

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

TABLE D. TOTAL WEIGHT ON BIT

	400	1000
	600	1500
	900	2300
	1500	3600
	1900	4700
	5100	7600

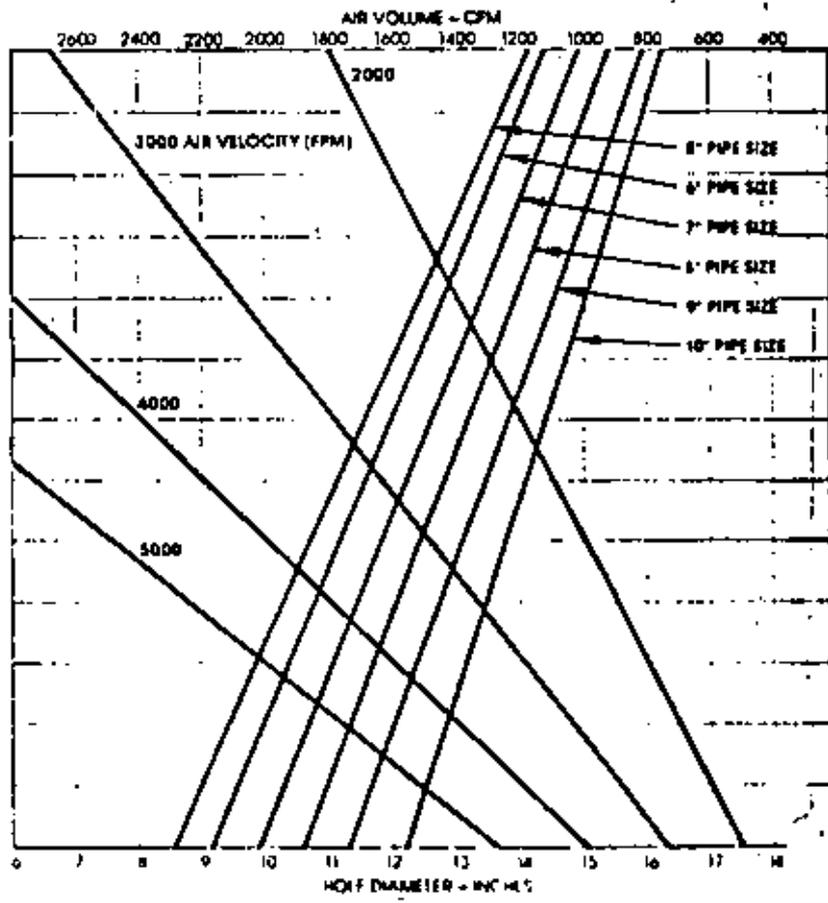
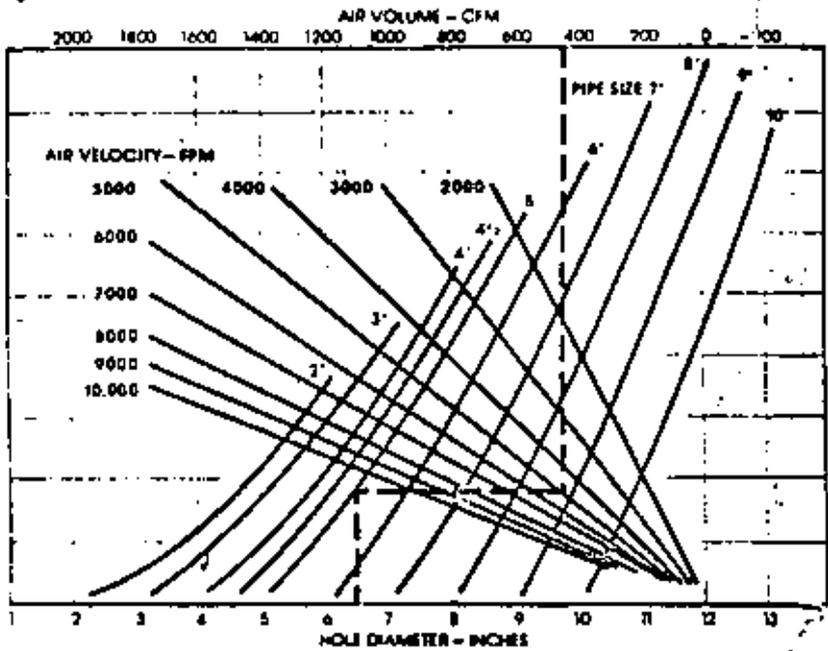


	105	-	170	-	220	-	290	-	3	36-1/2	39-1/4
	140	-	205	-	260	-	330	-	3-17/32	41-3/4	45-3/8
	190	295	285	410	400	570	570	805	4-3/8	43-7/8	47-1/2
	365	510	460	660	620	885	760	1085	5-3/8	51	55-3/8
	180	325	300	500	430	695	565	890	5-7/16	46-5/16	51-5/16
	475	725	575	965	790	1260	1090	1670	6-3/8	55	60-3/16
	660	920	800	1160	NO RECOMENDADO ARRIBA DE 150 LPCI				10	62-3/4	71

To determine air velocity in annulus when pipe size, hole diameter and air volume are known, follow vertical Hole Diameter line upward to its intersection with Pipe Size line. Move horizontally to intersect Air Volume line. Read Air Velocity on diagonal Air Velocity line.

EXAMPLE: Drilling a 5 1/2-inch hole using 5-inch drill pipe and with 450 cfm air volume passing through the annulus, follow the Hole Diameter line to Point A, its intersection with Pipe Size line. Move horizontally to Point B, to intersect Air Volume line. Read annulus Air Velocity at Point B (interpolating between 4000 and 5000 fpm).

Figure 46 Air velocity determination chart



## AIRE COMPRIMIDO

### Definiciones:

#### Capacidad del Compresor.

Se refiere al flujo del aire o gas comprimido, entregado de acuerdo a las condiciones de temperatura, presión atmosférica y composición del aire a la entrada del compresor.

#### Desplazamiento del Compresor.

Es el volumen desplazado por unidad de tiempo y usualmente se expresa en pies cúbicos por minuto, por ejemplo: En un compresor recíproco, es igual al área del pistón multiplicado por el desplazamiento del mismo y por el número de emboladas por minuto.

En el caso de multicompresores (booster) el dato que nos da el fabricante, corresponde al desplazamiento de los cilindros de baja presión únicamente, salvo una indicación contraria.

#### Compresión Adiabática.

Se considera compresión adiabática cuando no se agrega o se quita calor al gas durante el proceso de compresión. La ecuación característica que relaciona la presión y el volumen durante este proceso es:

$$PV^K = C$$

que es la relación entre el calor específico a una presión constante y el calor específico a un volumen constante.

## COMPRESIÓN ISOTERMAL

Se realiza cuando la temperatura del gas permanece constante durante la compresión. Para los gases perfectos su producto presión por volumen permanece constante y su proceso es reversible.

### Relación de Compresión

Es la relación entre la presión absoluta de descarga y la presión absoluta de entrada.

### Eficiencia de Compresión

Es la relación entre los HPs teóricos y los HPs agregados al aire o al gas que entrega el compresor.

La potencia agregada es la potencia al freno menos las pérdidas de carga en el sistema.

### Eficiencia Isotermal

Es la relación entre el trabajo teórico calculado bajo una base isotérmica y el trabajo agregado al gas durante la compresión.

### Eficiencia Mecánica

Es la relación entre los HPs agregados al aire o gas y la potencia al freno.

### Eficiencia Volumétrica

Eficiencia volumétrica, es la relación entre la capacidad del compresor y el desplazamiento del compresor, este término no se aplica a los compresores centrífugos.

## AIRE LIBRE

Se define como aire libre aquel que se encuentra a las condiciones atmosféricas en cualquier lugar, se refiere a desplazamiento o capacidad.

### Potencia al Freno

Es la potencia que recibe el compresor a través de la flecha.

### Potencia Técnica

Son los HPs requeridos para comprimir el aire o el gas entregado por el compresor sin cambios de temperatura del mismo, a través de los rangos de presión especificados.

### Humedad relativa

La humedad específica es el peso del vapor de agua en una mezcla de aire vapor, por unidad de aire seco.

### Presión absoluta

Es la presión total medida desde el cero absoluto, desde el vacío absoluto

Es la suma de la presión barométrica y la presión medida.

## PRESIÓN DE DESCARGA.

Es la presión absoluta total en la descarga del compresor, comúnmente se define como presión medida, pero a menos que se incluya la presión barométrica, no debe considerarse como "presión de descarga"

## Gravedad Específica

Es la relación entre el peso específico del aire o gas y el peso del gas seco a la temperatura y presión ambiente.

## Peso Específico

Peso específico de un gas es el peso del aire por unidad de volumen y a menos que se especifique, se refiere al peso por unidad de volumen en las condiciones de temperatura, presión y composición que prevalece a la succión en el compresor.

## Aire Standard

ASME se define como tal aquel que se encuentra a 68°F, 14.70 y humedad relativa de 35% (Densidad 0.0750) pero en la industria la temperatura del aire Std es de 60°F

## FACTORES QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA NEUMÁTICA.

- 1.- Peso de la Herramienta. Una herramienta ligera es más fácilmente manejable.
- 2.- Velocidad. Entre mayor velocidad se imprima a la herramienta, más pronto se realiza el trabajo.
- 3.- Potencia. Con mayor potencia (cuando se necesita) se logra la estabilización de la velocidad a una carga determinada.
- 4.- Medida. Debe ser tal que pueda realizar el trabajo fácilmente.
- 5.- Calidad. Este es un factor muy importante a tomar en cuenta.
- 6.- Uniformidad
- 7.- Mantenimiento, Costos
- 8.- Eficiencia Relativa. La eficiencia de trabajo comparada con otros métodos para realizar el trabajo.

El escoger la herramienta adecuada hace posible a un operador realizar mejor su trabajo. El costo del uso de la herramienta misma más el costo del aire requerido es en ocasiones pequeño comparado con las consecuencias en el costo de una incorrecta selección del equipo.

Adecuada Presión de Aire.

La importancia de una adecuada selección de mangueras y el valor de una adecuada presión de aire es indiscutible, casi sin excepción las mayores pérdidas de carga en cualquier sistema neumático se encuentran en las mangueras y conexiones, desafortunadamente no siempre se le da la atención adecuada a la selección de mangueras y se llegan a tener pérdidas de carga exageradas, produciendo un efecto negativo en la producción.

Las pérdidas mayores se encuentran en los sistemas que utilizan mangueras muy largas y o muy pequeñas, así mismo el uso de coples, nipples, reducciones y un diseño geométrico inadecuado, provocan reducciones importantes del aire entregado.

La altitud del sitio de operación afectará el volumen de aire libre requerido que depende no solo de la presión a la entrada de la herramienta sino de la presión atmosférica del lugar.

El factor para convertir su volumen de aire comprimido a un volumen de aire libre se obtiene al dividir la presión a la entrada (psiA) entre la presión atmosférica (psiA)

A continuación damos una tabla con los coeficientes para obtener el volumen de aire requerido por una herramienta, cuando conocemos su consumo de aire libre al nivel del mar que es un dato que nos en-

### Coeficiente de Corrección por Altitud

Piés	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Metros	0	305	610	915	1220	1526	1831	2136
Coeficiente	1.0	1.02	1.05	1.08	1.11	1.14	1.18	1.22

Piés	8000	9000	10000	12500	15000
Metros	2441	2746	3050	3813	4577
Coeficiente	1.26	1.30	1.34	1.46	1.58

2) Rotatorios. - En este caso la compresión y desplazamiento es producido por la acción positiva de elementos a rotación.

2a) De Aspas. - En los que aspas radiales se desplazan en un rotor excéntrico montado en un cuerpo cilíndrico. El gas atrapado entre las aspas al rotor, es comprimido y desplazado.

2b) De Pistón. - Aquí se utiliza un líquido como el pistón para comprimir y desplazar el gas manejado.

3b) Impelentes en línea. Dos impelentes de forma tabular confinan gas y lo acarrean desde la entrada hasta la descarga. No hay compresión interna.

4b) Helicoidales. - Dos rotores interconstruidos cada uno con forma helicoidal comprimen y desplazan el gas.

Compresores Dinámicos. Son máquinas rotatorias de flujo continuo en el que la rápida rotación de los elementos acelera el gas, convirtiendo la carga de velocidad en presión, parte en los elementos de rotación y parte en los difusores estacionarios o paletas.

a) Centrífugas. - La aceleración del gas es provocada por uno o mas elementos rotatorios usualmente curvados en los extremos, -

a) Tipo principal es radial.

b) Axiales, - En este caso la aceleración es obtenida por la acción de rotores de aspas (paletas) redondeadas en los extremos, el flujo principal es axial.

e) De tipo mixto. Los impulsores tiene una forma combinada de - ambos tipos axial y centrífugo.

Eyectores, - Son artefactos que mezclan el gas al paso en una cámara de alta velocidad, convirtiéndose posteriormente la velocidad de la mezcla en presión en un difusor.

mayores de cortes y prácticamente el tamaño de gravas o cortos acarreados estará limitado al diámetro interior de la tubería y por los quiebres que -- obligadamente damos en la parte correspondiente al swivel.

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

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

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

sultado que no pueda utilizarse este procedimiento a mucha profundidad.

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

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

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

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

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

## PERFORACION A ROTACION INVERSA

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

Con este procedimiento podemos utilizar como fluido; agua, lodo o una combinación de estos con aire, conforme sea necesario de acuerdo a la formación que se vaya a perforar, y nos lo permita el método usado, utilizando generalmente el agua como fluido de perforación.

El método como su nombre lo indica, consiste en una inversión - del sistema de flujo y tendremos así que el fluido, es alimentado directamente de las fosas al pozo, entre las paredes de la - formación y la tubería, y el retorno se hace a través del interior de la tubería para lo cual se utiliza una bomba de vacío.

Los principales componentes en este sistema son los siguientes:

Bomba.- Se emplea una bomba centrífuga de un solo paso que -- ofrece grandes espacios al paso del fluido y a los cortes de perforación, en ocasiones hasta de 12.70 cm. (5") de diámetro aparente. Es usual una bomba de 15.24 cm. (6") de aspiración por 15.24 cm. (6") de descarga con capacidad de bombeo de 65 l.p.s.

Para iniciar la circulación del fluido, el equipo de perforación cuenta con una bomba recíproca de vacío de pistones conectada a un tanque, a su vez conectado a la tubería de succión de la bomba centrífuga.

Con esta bomba centrífuga, es posible perforar hasta un máximo de 120 m. Puede también optarse por una bomba centrífuga de 20.32 cm. (8"). Figuras Nos. 4 y 5

Tubería de perforación.- Los tubos de perforación que se utilizan son de 15.24 cm. (6") a 20.32 cm. (8") de diámetro nominal, siendo las mas usuales de 15.24 cm. (6").

El límite de aspiración de la bomba, hace que los tubos hayan sido diseñados de 3.05 m. (10') de longitud y su acoplamiento se hace a base de bridas atornilladas. Figura No. 4

Cabeza giratoria (swivel) y flecha de la sarta de perforación (kelly). Con el propósito de no tener que usar una manguera de gran diámetro que vaya siguiendo el movimiento de ascenso y descenso de la cabeza giratoria, se diseñó un swivel fijo con un tubo lavador muy largo, donde se telescopía el "Kelly" para hacer las conexiones de los tubos de perforación. Figura No. 4.

Con el sistema se tiene la gran ventaja de que el área de retorno es bastante pequeña comparada con la perforación, por lo que

la velocidad de retorno es mayor y consecuentemente el acarreo de los cortes y la limpieza mejor y mas rápida.

Este procedimiento permite trabajar con la mayor eficiencia en cuanto a la hidráulica en el retorno y nos permitirá acarrear partículas mucho mayores de cortes y practicamente el tamaño de gravas o cortes acarreados estará limitado por el diámetro interior de la tubería y por los ángulos que obligadamente damos en la parte correspondiente al swivel.

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

Con el fin de dar estabilidad a las paredes del agujero y prevenir socavaciones, debe mantenerse el pozo siempre lleno, durante todo el tiempo que dure la perforación, con el propósito de sostener la mayor presión hidrostática sobre las paredes -- del pozo. La inercia que desarrolla la columna hidrostática -- al descender, ayuda también a mantener estables las paredes -- del pozo. Figuras Nos. 4, 6 y 7.

La erosión que por el fondo de la barrena causa el sistema de circulación directa a lo largo de la perforación de pozo, en el sistema de circulación inversa, prácticamente no existe, y la erosión de las paredes no constituye un problema, ya que la velocidad del fluido en el espacio anular, es baja.

Como consecuencia de la forma de estabilización de las paredes del pozo con el sistema de circulación inversa, el suministro de agua al pozo cobra especial importancia, por lo que es necesario poder contar con un gran volumen de agua desde que se inicia la perforación. Se recomienda que las fosas de lodos puedan almacenar un mínimo de tres veces el volumen de agua que cubique el pozo que se va a perforar, repartido en la fosa de sedimentación y la fosa de abastecimiento. Figuras No. 2 y 3.

En cualquier caso, se pierde cierta cantidad de agua en las formaciones permeables al estarlas perforando; algunas partículas finas que se encuentran en suspensión en el fluido, se filtran a través de las paredes del pozo, cerrando parcialmente los poros y por tanto reduciendo la pérdida de agua. Sin embargo, cuando se están perforando formaciones arenosas o con grava, se necesita disponer de una cierta cantidad de agua considerable en todo momento.

Dependiendo de la permeabilidad de las formaciones que se pene

tren, se requerirá agregar agua en cantidades que pueden variar entre 1.0 y 30 l.p.s.

La pérdida de agua puede ser reducida utilizando lodos bentoníticos como fluidos de perforación, debiendo tener todas las precauciones para mantenerlo en buenas condiciones de viscosidad - de tal forma que aisle la formación sin penetrar mucho a la formación.

La perforación de gravas gruesas y secas es la que presenta mayores problemas y en el caso de boleas grandes, este procedimiento que teóricamente sería el ideal, pierde sus ventajas al no poder avanzar rápidamente por la falta de peso en la herramienta.

Es conveniente recalcar, que una pérdida súbita de fluido que provoque que el nivel de agua descienda bruscamente, puede ocasionar socavaciones en el pozo y en el peor de los casos el - - atrapamiento de la herramienta.

Al inicio de la perforación, es necesario colocar un conductor de 2 a 4 m. de profundidad, para evitar la erosión de la boca - del pozo y pérdidas innecesarias de agua. Sin embargo, no es necesario casi en ningún caso colocar un contrademe formal cementado.

Como en este procedimiento es posible perforar directamente, las barrenas que se emplean, son de gran diámetro y cuentan con una entrada por el fondo con un diámetro similar a los tubos de perforación y las brocas pueden ser del tipo "Cola de Pescado" o "Drag", con dientes intercambiables de carburo tungsteno, aunque también pueden usarse barrenas construídas a base de cortadores o rolles, cuidando que cubran toda el área de corte de la barrena y que reduzcan lo menos posible el espacio anular por donde circula el fluido. Figuras No. 5, 4 y 6, el uso de un tipo de broca o del otro dependerá prácticamente de la dureza del material atravesado.

La velocidad de rotación disponible en la mesa rotaria es de 10 a 40 rpm, la que utilizaremos en función de la formación que se esté perforando.

Gracias a la gran velocidad a que circula el fluido por dentro de la tubería de perforación, los cortes son arrastrados hacia la superficie inmediatamente que son removidos por la barrena, evitándose el tener que remoler el material cortado; lo cual permite muy buenos avances de perforación. Velocidades de penetración de 50 cm./min. son frecuentemente observados y promedios de rendimiento de 10 m./h. son comunes a la terminación de la perforación, esto claro está en materiales arenosos prácticamente sueltos, no consolidados y delgados.

43

Debido a que todo el material, producto de la perforación, es desalojado por el interior de los tubos, cuando se presentan boleos mayores de 13.0 cm., se acumulan en el fondo del agujero hasta que no es posible seguir perforando, en este caso, se recomienda sacar la sarta y sacar los boleos con un cucharón tipo almeja operado con la línea de maniobras.

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

Este procedimiento lo podremos utilizar convenientemente en perforaciones de diámetro grande en las que, al utilizar el método de circulación directa, tendremos velocidades de retorno muy pequeñas e insuficientes para elevar los cortes hasta sacarlos a la superficie.

También es posible en este caso, como ya se dijo anteriormente, utilizar agua o lodos de baja densidad y viscosidad, puesto que la capacidad de arrastre ya no estará en función de éstas

características, sino del área de retorno del interior de la tubería.

La tubería de perforación es de mayor diámetro que la normalmente utilizada en la directa, de tal forma que a la vez que su pequeña área permita una velocidad de retorno grande, sea lo suficientemente amplia para permitir el paso de gravas y hasta boleos grandes, en caso de no ser así, podría ser bloqueada la circulación.

La circulación inversa en su forma mas simple, contempla el uso de una bomba centrífuga conectada a la descarga proveniente del "swivel" de tal manera que se establece el sistema de circulación en función de la succión que pueda realizar la bomba, la alimentación se establece desde las fosas en forma automática al descender el nivel en el pozo.

Lo anterior presenta el inconveniente de que estará limitado a la capacidad de succión de la bomba centrífuga (entre 6 y 7 metros) y otro inconveniente es el fuerte desgaste que se tiene en los elementos impulsores de la bomba, además es necesario utilizar una bomba de cebado cada vez que se suspende la circulación.

Una modificación que mejora el sistema anterior es la de utilizar una bomba para crear un vacío a través de un eyector, colo-

cado en la tubería de descarga, este procedimiento tiene ventajas sobre el anterior procedimiento, primero porque se evita el desgaste de la bomba y en segundo lugar porque se logra un mayor vacío, lo que permite el trabajo con mayor diferencia de niveles.

Debido a la limitación de succión de los métodos anteriores se desarrolló un sistema de inclusión de aire comprimido en el retorno, de tal manera que la columna, en el interior de la tubería, es una mezcla de aire, lodos y corte, con una densidad mucho menor que la del fluido con que se alimenta el pozo, en esta forma se provoca un efecto de sifón, tendiente a equilibrar la columna de lodo existente en el anillo y la columna con aire en el interior de la tubería, iniciándose y manteniéndose así la circulación y extracción de cortes.

Entre mayor sea la diferencia de densidades, mayor será la capacidad de elevación y la velocidad de circulación, estando en función directa del volumen inyectado, aunque limitado por la mezcla que se logre, cuando no se cuenta con suficiente carga, puede no provocarse la acción de sifoneo, recirculando únicamente aire, en estos casos es recomendable incluir la menor cantidad de aire que nos permita el acarreo de lodo hasta la superficie, lo que resultará en una disminución de la velocidad de extracción de cortes y en consecuencia de velocidad de penetración, pero será posible trabajar mientras se tiene suficiente -

carga.

En forma contraria cuando el pozo reciba o aporta grandes cantidades de agua, mantendra una carga hidrostática importante sobre el fondo del pozo, misma que deberá ser vencida con la presión del aire inyectado.

El uso de compresores de baja presión (hasta de 100 lbs/pulg<sup>2</sup>) nos permite vencer cargas totales hasta de 70 mts. incluyendo las pérdidas de carga en el sistema, lo que para fines prácticos nos lleva a unos 50 mts. de profundidad bajo el nivel del agua.

Para proseguir a mayor profundidad lo mas práctico es el uso de los compresores de alta presión, existentes en el mercado que dan entre 250 y 300 lbs/pulg<sup>2</sup>, que permitirán vencer mayores cargas, conforme a su capacidad.

Otra solución para establecer la acción de sifoneo, es mantener la inclusión de aire hasta aquella profundidad en la que aún es posible establecer el sifoneo, pero esto nos lleva a varias maniobras en cada cambio que incrementa grandemente los tiempos perdidos.

Para incluir el aire en la tubería de perforación se utilizan dos tubos exteriores con sus empaques y conexiones integradas a

los tubos de perforación o doble tubería concéntrica que nos -- permite incluir aire a través del anillo que se forma y retorna por el interior de la tubería de perforación, los tubos en el primer caso son acoplados con bridas atornillables y generalmente se utilizan tubos entre 6" u 8" de diámetro, estas conexiones son lentas.

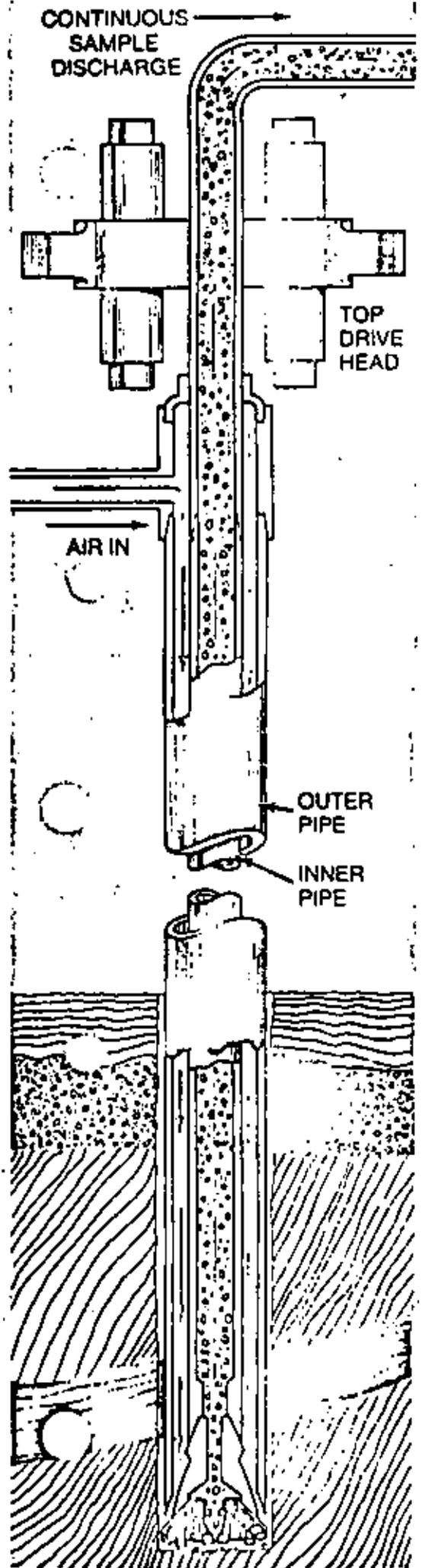
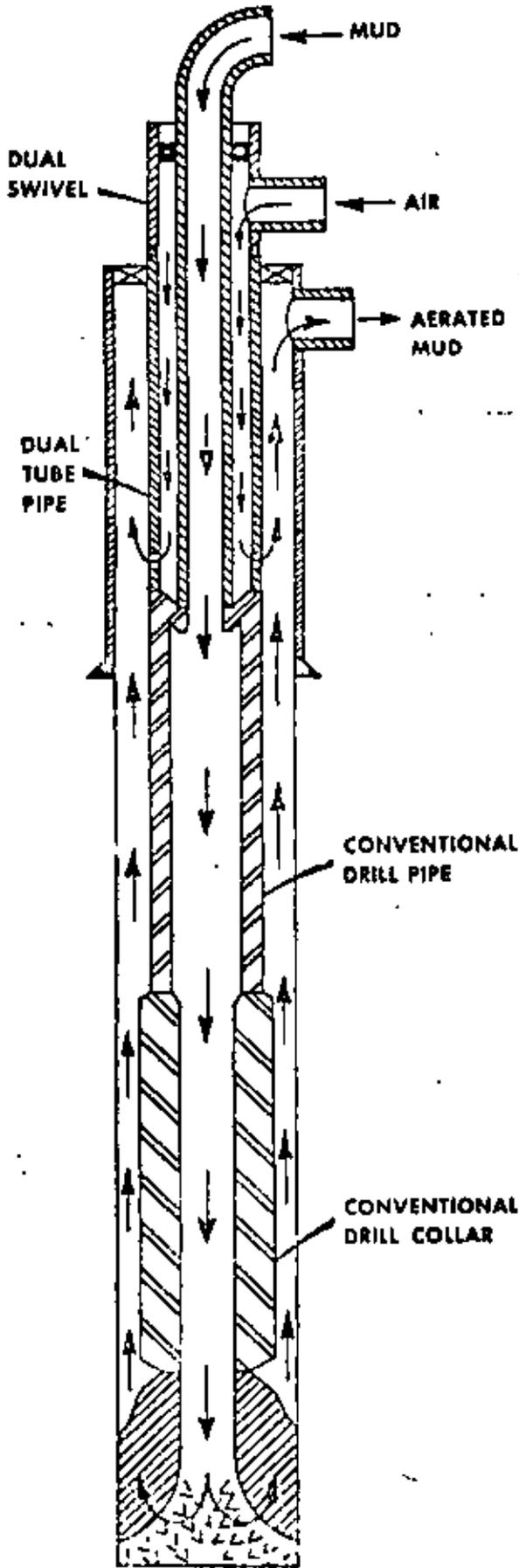
Actualmente se han desarrollado dos sistemas con tubos concéntricos llamados Duo-Tube y Con-Core que presentan la ventaja de poder añadir tubos con conexiones del tipo usual y empaques adecuados que son unidos y desconectados rápidamente, lo que nos permite una mayor eficiencia en los tiempos de conexión.

El sistema Duo-Tube permite el acoplamiento de lastrabarreras, con lo que es posible acelerar los tiempos de perforación donde los materiales son mas grandes y duros, asimilándose este procedimiento en estos casos, al utilizado durante la perforación directa, de hacer un agujero exploratorio que sirve de guía y posteriormente su ampliación.

Este último método no ha sido muy usado y aún presenta dificultades con los sistemas de empaque entre los tubos, lo que no ha permitido su uso a gran escala.

Como conclusión de todo lo anterior podemos hacer notar que este procedimiento es muy efectivo, particularmente en zonas don

de el abatimiento de aguas es problemático y además se presentan grandes pérdidas de circulación en la formación y ésta es de materiales gravo-arenosos y no consolidados.



## VENTAJAS DEL SISTEMA DE CIRCULACION INVERSA

- 1.- CONSTITUYE UN MÉTODO RÁPIDO Y ECONÓMICA DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE AGUA EN MATERIALES ALUVIALES.
- 2.- EL FLUÍDO DE PERFORACIÓN ES AGUA CLARA, SIN EL USO DE BENTONITAS Y OTROS ADITIVOS.
- 3.- SE OBTIENE UNA ALTA EFICIENCIA EN EL APROVECHAMIENTO DEL ACUÍFERO, AL REDUCIRSE SU CONTAMINACIÓN Y AL PODER LIMPIARLO Y DESARROLLARLO EFICIENTEMENTE CON EL MISMO EQUIPO.
- 4.- LA COLOCACIÓN DE FILTROS DE GRAVA GRANDES Y BIEN DISEÑADOS PERMITE PREVENIR ARRASTRE DE MATERIALES FINOS DE LA FORMACIÓN, ALARGANDO LA VIDA DEL POZO, REDUCIENDO SU MANTENIMIENTO Y ALARGANDO LA VIDA DEL EQUIPO DE BOMBEO.

## DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE CIRCULACION INVERSA

- 1.- ESTA LIMITADO A ACUÍFEROS DE MATERIALES SUAVES NO CONSOLIDADOS (ALUVIONES)
- 2.- REQUIERE DE UN SUMINISTRO DE AGUA EN GRANDES VOLÚMENES.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

TECNICAS DE PERFORACION

ABRIL, 1984

SISTEMA ROTATORIO  
CIRCULACION DIRECTA  
LUDOS DE PERFORACION  
PESCAS.

La tecnología de perforación de pozos, para la exploración y explotación de los recursos naturales yacientes en el subsuelo, tiene como principal objetivo restablecer el equilibrio mecánico y fisicoquímico que es alterado en las rocas cuando son perforadas, por los diferentes sistemas mecánicos de perforación.

Uno de los sistemas más desarrollados en la actualidad es el "rotatorio de circulación directa", con el cual se ha logrado la construcción de pozos de profundidades superiores a 6 000 metros y por la versatilidad del sistema, se construyeron máquinas con una gran variedad de tamaños y capacidades.

La construcción de los equipos de perforación se ha venido mejorando para aprovechar los grandes avances tecnológicos obtenidos en la fabricación de barrenas del tipo tricónico con toberas y sus mecanismos se diseñan para lograr mejores avances en la penetración de las barrenas tricónicas así como para mejorar la calidad de la construcción de los pozos.

En esta breve exposición, el tema acerca del sistema rotatorio se subdivide en seis partes, las cuales se describen en forma resumida y serán tratados en forma más amplia, pero objetiva, durante el desarrollo de la conferencia, con la ayuda de proyecciones gráficas. La subdivisión se hace de acuerdo a las condiciones mecánicas del sistema y por su importancia, a continuación se enumeran:

- 1.- Diseño de barrenas tricónicas con toberas .
- 2.- Presiones de bombeo del fluido de circulación.
- 3.- Uso de lastrabarrenas y estabilizadores.
- 4.- Sistema rotatorio.
- 5.- Fluidos de perforación
- 6.- Avances óptimos

1.- DISEÑO DE BARRENAS CON TOBERAS.

La barrena de tres conos es el elemento cortante y de penetración en las rocas perforadas; sus diseños en la actualidad presentan conos fabricados con dientes cuyas formas, acomodo y calidad de acero, penetran con mayor facilidad en las diferentes durezas de las rocas; los baleros que soportan estos conos, se construyen para soportar grandes cargas en un sistema de rotación continuo. Por otra parte, el acomodo y el sistema de toberas se ha diseñado para obtener la máxima eficiencia hidráulica del sistema de bombeo, para obtener una limpieza del fondo de los pozos perforados, casi instantánea.

## 2.- PRESIONES DE BOMBEO DEL FLUIDO DE PERFORACION.

Las bombas de pistón horizontal reciprocante de doble y triple-acción, son las que logran los mejores caudales a las presiones requeridas en los diferentes programas de perforación; el sistema de bombeo se calcula para absorber todas las pérdidas de presión superficiales y de profundidad, con el avance de los pozos, de manera que el cálculo hidráulico busca que la mayor parte de la presión obtenida sea aplicada en la salida de las toberas, para lograr los objetivos de limpieza del fondo del pozo, así como la expulsión al exterior de los detritus-cortados, por medio de la más alta velocidad en el espacio anular. Los equipos de bombeo en sí se diseñan para aprovechar al máximo la potencia mecánica.

## 3.- USO DE LASTRABARRENAS Y ESTABILIZADORES.

El empuje mecánico sobre los elementos cortantes lo da el peso de los lastrabarreras que actúa directamente sobre las barreras; este empuje es deseable que sea simétrico o sea que la resultante de la sarta de perforación actúe en el eje central que por diseño tienen las barreras. Para obtener esta simetría, se han diseñado diversos tipos de estabilizadores que, además de mantener las cargas simétricamente, mantienen los pozos en la línea hacia la vertical, así también facilitan que las sartas de perforación se sometan únicamente a esfuerzos de tensión.

## 4.- SISTEMA ROTATORIO.

La dinámica en la barrena se obtiene por medio de un sistema de rotación continuo que, en combinación con el peso de la "sarta", logran la ruptura de las rocas perforadas; esta rotación continua está gobernada por la dureza de las formaciones geológicas. Por diseño a cada tipo de barrena tricónica se le aplica un número de revoluciones por minuto que puede variar con el peso de los lastrabarreras aplicado. Los equipos de perforación tienen dispositivos para obtener diferentes velocidades que soporten los esfuerzos de torsión que se crean al rotar todo el conjunto de la "sarta".

## 5.- FLUIDOS DE PERFORACION

La máxima eficiencia en la circulación de fluidos de perforación se obtiene con el AIRE, en segundo lugar con el AGUA; sin embargo, no en todos los casos se pueden utilizar algunos de estos dos fluidos, teniéndose que recurrir a los LODOS DE PERFORACION que han desarrollado una tecnología avanzada para restablecer el equilibrio fisicoquímico que se altera durante la perforación de pozos. Los lodos de perforación pueden ser variados en sus propiedades fisicoquímicas de densidad, viscosidad, gelatinidad, P.H.; así también sus componentes sólidos y líquidos por medio de emulsiones, que en forma adecuada, restituyen las condiciones de equilibrio dentro del pozo y en sus inmediaciones.

## 6.- AVANCES OPTIMOS. 3

El avance óptimo medido en metros por hora, con una reducción de costos, se presenta en forma idealizada; la gráfica idealizada se traza con parámetros de perforación de una barrena de tipo adecuado al tipo de formación geológica, operada con un programa hidráulico óptimo y con un trabajo mecánico de peso sobre barrena y revoluciones por minuto máximas, así como con un lodo de propiedades fisicoquímicas que también es óptimo y constante.

## PESCAS.

Las operaciones de pesca son accidentes mecánicos, indeseables desde todos los puntos de vista; sin embargo, y a pesar de que hay medidas de prevención, son inevitables, por esta razón: se ha desarrollado una tecnología avanzada para resolver los problemas de pescas que casi se particularizan en cada caso. Por esta razón, de su origen, solución y prevención, se presenta objetivamente un bosquejo general.

a) Tipos de fluidos de perforación.

Existen varias clasificaciones de los fluidos de perforación; algunos de ellos toman como base la fase principal del sistema (agua o aceite) y otros los clasifican de acuerdo al material principal utilizado en su composición. En seguida, se muestra una clasificación que toma en cuenta ambos criterios<sup>(1)</sup> y en la que se le han adicionado: el aire, el gas y las espumas, como fluidos de perforación.

- 1.- LODOS NATURALES.- Sin tratamiento.
- 2.- LODOS BASE AGUA.
  - a) Lodos de Agua Dulce.- (Menos de 1% de NaCl y menos de 120 ppm de  $Ca^{++}$ ).
    - Bajo pH.- De fosfatos (pH a 8.5)
    - Quabricho-Sosa.- (pH de 8.6 a 10.5)
    - Alto pH.- (pH de 12.0 a 13.0)

- Cromolignosulfonatos (pH de 8.5 a 10.0)
- b) **Lodos Salados (monovalentes).** - (1% o más de NaCl)
  - Agua salada no saturada
  - Agua de mar (aproximadamente 3.5% de NaCl)
  - Agua saturada de sal
- c) **Lodos Cálccicos (polivalentes).**
  - Baja cal
  - Alta cal
  - De yeso
  - Cloruro de calcio, acetato de calcio u otros cationes polivalentes.
- d) **Lodos de Bajos Sólidos.** - (menos de 7% en volumen)
- e) **Lodos Emulsionados,** hasta 15% de aceite en agua.
- f) **Lodos de Silicato de Sodio.**

### 3.- LODOS BASE ACEITE.

- a) **Emulsiones Inversas,** 20 a 70% de agua en aceite.
- b) **Lodos Base Aceite,** hasta 5% de agua en aceite.

### 4.- AIRE O GAS.

## 5. E S P U M A S

Cada uno de estos tipos de lodo, está sujeto a clasificaciones más específicas, de acuerdo a la propiedad característica del lodo o su composición particular. Los nuevos sistemas de lodos también caen dentro de esta clasificación.

En la parte III de esta exposición, se tratarán los lodos naturales y en forma más amplia, los lodos base agua y base aceite, indicando brevemente el de aire, gas y espumas como fluidos de perforación.

### Función de los fluidos de perforación

Las funciones principales del lodo, son las siguientes:

1. Arrastrar los recortes de la formación a la superficie.
2. Controlar las presiones sub-superficiales
3. Enfriar y lubricar la sarta de perforación
4. Limpiar el fondo del agujero
5. Ayuda a la evaluación de la formación
6. Proporcionar protección a la productividad de la formación

### 1.- Acarreo de los recortes de la formación.

La función esencial del lodo, es limpiar el agujero. Los sólidos perforados, generalmente tienen una densidad de 2.3 a 3.0 g/cm<sup>3</sup>, mayor que la del lodo, por lo que éstos, tienden a asentarse en el lodo que se encuentra en el espacio anular, lo cual se evita circulando el fluido a una velocidad suficiente e impartándole una viscosidad adecuada.

La efectividad del lodo para sacar los recortes, depende además de la velocidad de circulación y de la viscosidad de la densidad del fluido, ya que entre mayor sea ésta, menor será la velocidad de asentamiento de los recortes. Para la selección adecuada de estos factores, se toma en cuenta también, el tipo de lodo utilizado y sus requerimientos para la perforación, el tipo de flujo obtenido en el espacio anular y el tamaño de los recortes.

En un lodo tixotrópico, el fluido desarrolla gelatinosidad cuando se suspende la circulación y esto permite que las partículas se mantengan en su lugar y no se asienten en el espacio anular.

### 2.- Control de las presiones sub-superficiales.

Cuando se encuentra una formación permeable, el fluido contenido dentro de ella está bajo una presión, generalmente en función de la profundidad del pozo. Es necesario que el lodo de perforación tenga suficiente densidad como para vencer cualquier presión de formación y mantener ahí los fluidos. Normalmente el peso del agua y los sólidos incorporados de la formación, son suficientes para balancear las presiones, sin embargo, algunas veces se requiere adicionar al lodo, materiales pesados para balancear las presiones anormales existentes en la formación, aumentando de esta manera, la presión hidrostática de la columna de lodo.

### 3.- Enfriamiento y lubricación de la sarta de perforación.

La lubricación y el enfriamiento de la sarta de perforación, son funciones importantes del lodo. Los problemas de torsión, fricción y pegadura de tubería por presión diferencial, están relacionados directamente con la lubricación de la sarta de perforación.

Actualmente todos los fluidos de perforación, tienen un calor específico suficiente y buenas cualidades lubricantes para enfriar adecuadamente la barrena y la sarta de perforación. Entre los lubricantes se encuentra la bentonita, aceite, detergentes, grafito, asfaltos y surfactantes especiales.

En algunos casos, se requiere hacer uso de lubricantes de carga máxima para disminuir los problemas mencionados en el párrafo anterior.

#### 4.- Limpieza del fondo del agujero.

Este es un deber del fluido de perforación, con el objeto de alcanzar la máxima velocidad de penetración para una hidráulica en particular y un peso sobre barrena y velocidad de rotaria especificado. Las pruebas con microbarrenas, han indicado que hay una tendencia, particularmente con altas presiones diferenciales a través de la pared del fondo del agujero, de que los recortes permanezcan adheridos a él y dificulten el poder de corte de la barrena y disminuya la velocidad de penetración. La solución a esto, es que el lodo produzca un impacto a alta velocidad sobre los nuevos recortes, tal como el obtenido con las toberas de la barrena y que el lodo tenga tal composición, que penetre entre los recortes y reduzca las presiones diferenciales entre éstos y la formación, de tal manera que se deslojen inmediatamente después de ser cortados.

En general, la limpieza del fondo del agujero, se mejora con fluidos delgados a las altas velocidades de corte, a través de la barrena, esto significa que los fluidos viscosos pueden ser buenos si poseen buenas característi

cas de adelgazamiento al corte. Un fluido con bajo contenido de sólidos, es el mejor para este propósito.

#### 5.- Ayuda a la evaluación de la formación.

Los fluidos de perforación, han sido modificados sustancialmente, con el propósito de mejorar este aspecto de la evaluación de la formación. La viscosidad ha sido incrementada para obtener mejores recortes, la velocidad de filtración ha sido reducida para minimizar la invasión de fluido y se han seleccionado fluidos especiales para mejorar las características de los registros y las pruebas de formación. Los lodos base aceite, dificultan la evaluación de los horizontes potencialmente productores y los fluidos de agua salada limitan el uso del registro de potencial espontáneo para reconocer zonas permeables.

La formación del enjerre, limita la obtención de la información del lado de la pared de los núcleos obtenidos, mientras que la invasión de agua o aceite afecta la resistividad. Debido a ésto, en algunos casos los resultados de los métodos de medición, no indican las condiciones del agujero, por lo que es necesario seleccionar el fluido y su tratamiento en el área particular.

#### 6.- Protección a la productividad de la formación.

Al utilizar lodo en la perforación, siempre hay invasión de fluido hacia la formación y éste puede ser minimizado al reducir la pérdida de fluido. En algunos casos, se puede perforar con aire como fluido de perforación y no hay daño a la formación.

En algunas áreas, se perforan los horizontes productores con lodos base aceite y se evita la entrada de agua a la formación, sin embargo, en zonas de gas, puede haber mayor daño con este lodo que si se utilizara un lodo salado. También han sido usados lodos con alto contenido de calcio para disminuir el daño a la formación.

En la primera parte de este ciclo de conferencias, el Ing. Alberto Sierra Ochoa<sup>(3)</sup>, trató ampliamente este aspecto del daño a la formación.

Además de las funciones señalados anteriormente, el fluido de perforación debe ser capaz de permitir el asentamiento de los recortes en la pared y de descargar el lodo de la trombadora, como parte fundamental del control de sólidos. Esta característica está en función de la gelatinosidad del lodo, que no debe ser excesiva, y del tiempo de residencia del lodo.

Actualmente una limitación en el empleo de sustancias químicas como aditivos de los fluidos de perforación, es la contaminación que producen las aguas de desecho de la perforación. En Canadá<sup>(4)</sup>, se ha estudiado este aspecto y se han obtenido conclusiones importantes.

## 1 PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION.

### a) DENSIDAD O PESO ESPECIFICO.

La densidad se define como la cantidad de materia contenida en la unidad de volumen y el peso específico como la fuerza que ejerce la gravedad de la tierra, sobre esa masa. Asimismo, la densidad relativa (specific gravity) se ha definido como la relación entre la densidad del fluido y la densidad del agua a una cierta temperatura.

En los sistemas prácticos de unidades o de Ingeniería, tanto la unidad de masa como la unidad de fuerza son fundamentales, de tal manera que 1 Kg<sub>f</sub> es la fuerza obtenida sobre la masa de 1 Kg, debido a la atracción de la gravedad. Como la masa se determina por medio del peso, al medir la densidad, se conoce implícitamente su peso específico.

La densidad o peso específico del todo, se mide prácticamente por medio de la balanza de todos, que está graduada en lb/pie cúbico, lb/gal, densidad relativa y en gradiente de presión hidrostática (lb/pulg<sup>2</sup> por 1000 pies de profundidad).

Como se indicó en la Introducción, esta propiedad es importante para el control de las presiones sub-superficiales, la limpieza del fondo del agujero y el acarreo de los recortes a la superficie.

## b) VISCOSIDAD (REOLOGIA Y TIXOTROPIA)

La viscosidad es un término usado para describir el espesamiento de los lodos en movimiento y la gelatinosidad para describirlos cuando han estado en reposo por un período de tiempo.

En términos científicos, la viscosidad es una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, para un fluido newtoniano en flujo laminar. Para explicar ésta<sup>(5)</sup>, considérese a un fluido contenido entre dos grandes láminas planas y paralelas, de área  $A$  y separadas entre sí, por una distancia muy pequeña  $Y$ . Supóngase que el sistema está inicialmente en reposo, pero al cabo del tiempo  $t = 0$ , la lámina inferior se pone en movimiento en la dirección del eje  $X$ , con una velocidad constante  $V$ . A medida que transcurre el tiempo, el fluido gana cantidad de movimiento, hasta que se establece el perfil de velocidades en régimen estacionario, como se indica en la Figura 1. Una vez alcanzado dicho estado estacionario de movimiento, es preciso aplicar una fuerza constante  $F$  para conservar el movimiento de la lámina inferior.

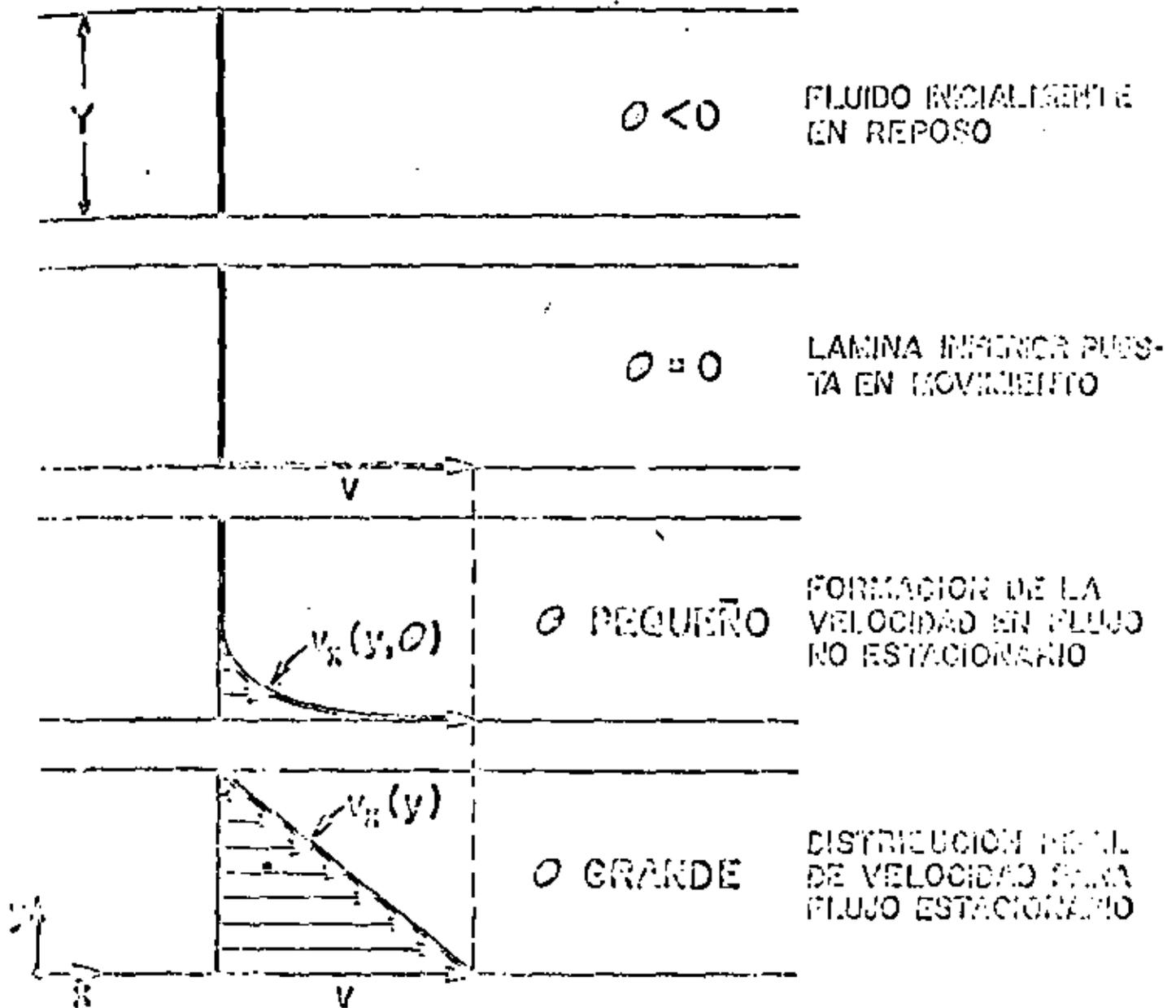


FIG. 1 FORMACION DEL PERFIL DE VELOCIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO PARA UN FLUIDO CONTENIDO ENTRE DOS LAMINAS

## 16

La fuerza aplicada por unidad de área, es proporcional a la disminución de la velocidad con la distancia y la constante de proporcionalidad se denomina "viscosidad absoluta"; ésta es la ley de la viscosidad de Newton y se expresa como sigue:

$$\frac{F}{A} = \mu \left( - \frac{dv}{dy} \right) \quad (1)$$

la relación  $\frac{F}{A}$ , se denomina esfuerzo cortante ( $\tau$ ) y el cambio de la velocidad con la distancia  $\left( \frac{dv}{dy} \right)$  se conoce como la velocidad de corte ( $\gamma$ ), de tal manera que la ecuación (1) se puede describir como:

$$\tau = \mu (-\gamma) \quad (2)$$

los fluidos que siguen la ecuación (2), se denominan "fluidos verdaderos o newtonianos", en donde la viscosidad es independiente del esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte obtenida. Los fluidos de perforación no se comportan en esta forma, sino que se adelgazan con el corte; ésto significa que la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, disminuye con un incremento en ésta última. En la Figura 2 se ha graficado  $\tau$  vs  $(-\gamma)$  para algunos fluidos.

Todos los materiales que no se comportan de acuerdo a la ley de Newton de la viscosidad, se les denomina "no newtonianos" y la REOLOGIA es una -

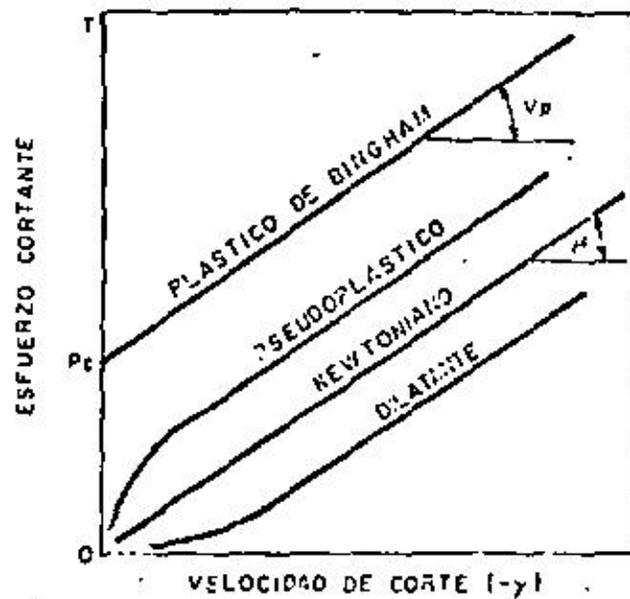


FIG. 2 CURVAS DE FLUJO DE FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO-NEWTONIANOS

rama de la Ciencia que estudia el flujo y deformación de la materia, particularmente el flujo plástico de los sólidos y el flujo de los líquidos no-newtonianos. Como se observa en la Figura 2, los fluidos dilatantes y pseudoplásticos, son no-newtonianos y los lechos de perforación se comportan generalmente como éstos últimos. Se ha estudiado experimentalmente este comportamiento y se han propuesto varios modelos, entre los cuales el más común es el de Bingham o de los fluidos plásticos ideales, que se puede expresar en la siguiente forma.

$$T = V_p (-\dot{\gamma}) + P_c \quad (3)$$

en donde  $V_p$  es la pendiente de la recta, conocida como VISCOSIDAD PLÁSTICA y  $P_c$  es el PUNTO DE CEDENCIA u ordenada del origen.

Se observa también de la Figura 2, que la VISCOSIDAD APARENTE, o sea la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte a cualquier punto, no es constante para los fluidos no-newtonianos, sino que depende del esfuerzo cortante aplicado.

Los viscosímetros que más se emplean para medir estas propiedades de los fluidos no-newtonianos, son los del tipo rotacional, siendo el más común el que mide el esfuerzo cortante a dos velocidades (600 y 300 r.p.m.), que corresponden a velocidades de corte de  $1022$  y  $511 \text{ seg}^{-1}$ , respectivamente, de acuerdo a las dimensiones de los elementos de medición; con estos datos se puede obtener la viscosidad plástica y el punto de cedencia del fluido mediante las siguientes ecuaciones: \*

$$V_p = L_{600} - L_{300} \quad (4)$$

$$P_c = L_{300} - V_p \quad (5)$$

en donde  $L_{600}$  y  $L_{300}$  son las lecturas del viscosímetro a las velocidades mencionadas.

\* Generalmente estos viscosímetros, están calibrados para obtener la viscosidad plástica en centipoises y el punto de cedencia en lb/100 pies cuadrados.

El lodo que circula a través de la sarta de perforación, desde que lo toma la bomba hasta que sale del agujero y vuelve nuevamente a la presa de succión, se mueve a diferentes velocidades de corte, muy pequeños en las presas de mayor magnitud dentro de la tubería de perforación, dentro de los lastrabortones y a través del espacio anular, y muy altas a la salida de las toberas de la barrena (ver Apéndice); el modelo de Bingham se cumple bien, si el lodo se mueve en flujo laminar a velocidades de corte mayores de 511 1/seg, pero a menores velocidades, ya no representa el comportamiento del fluido real y han aparecido otros modelos para estos casos. El modelo de la ley de las Potencias, se puede expresar como:

$$\tau = K' (-\dot{\gamma})^{n'} \quad (6)$$

en donde  $n'$  es el índice de comportamiento de flujo y  $K'$  el coeficiente de consistencia. Para fluidos pseudoplásticos, el valor de  $n'$  varía entre 0 y 1, mientras que para fluidos dilatantes,  $n'$  es mayor que 1 y entre mayor sea la diferencia con respecto a la unidad, mayor será el grado de comportamiento no-newtoniano. El coeficiente  $K'$  está relacionado a la consistencia del fluido y entre mayor sea este valor, más espeso o "más viscoso" será el fluido. En el caso particular en que  $n'$  sea igual a 1, la ecuación (6) representa a un fluido newtoniano en donde  $K'$  es la viscosidad absoluta del fluido ( $\mu$ ).

Tomando logaritmos en la ecuación (6) se tiene:

$$\log T = \log K' + n' \log (-\dot{\gamma}) \quad (7)$$

En la Figura 3, se muestran las propiedades reológicas de un fluido de perforación, de acuerdo a los modelos de Bingham y de la ley de las potencias, obtenidas por medio de un viscosímetro rotacional de dos velocidades.

Los valores de  $n'$  y  $K'$ , pueden ser calculados en la siguiente forma:

$$n' = 3.32 \log \frac{L_{600}}{L_{300}} \quad (8)$$

$$K' = \frac{L_{300}}{(511)^{n'}} \quad (9)$$

Un fluido real requiere de la aplicación de una fuerza cortante inicial, antes de que éste tenga movimiento y debido a esto, se ha modificado el modelo de la ley de las potencias para incluir esta fuerza cortante, denominada  $Y'$ ; este modelo se puede expresar con las siguientes ecuaciones:

$$T = Y' + K' (-\dot{\gamma})^{n'} \quad (10)$$

$$\log (T - Y') = \log K' + n' \log (-\dot{\gamma}) \quad (11)$$

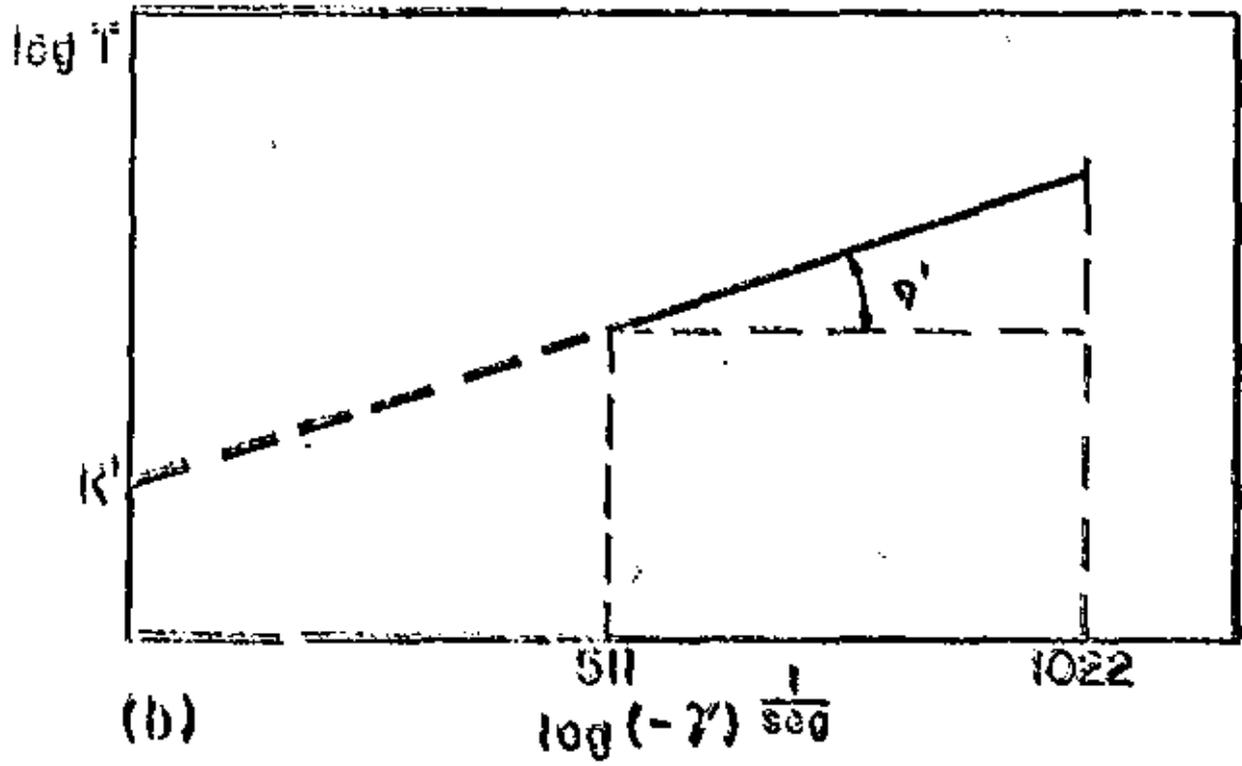
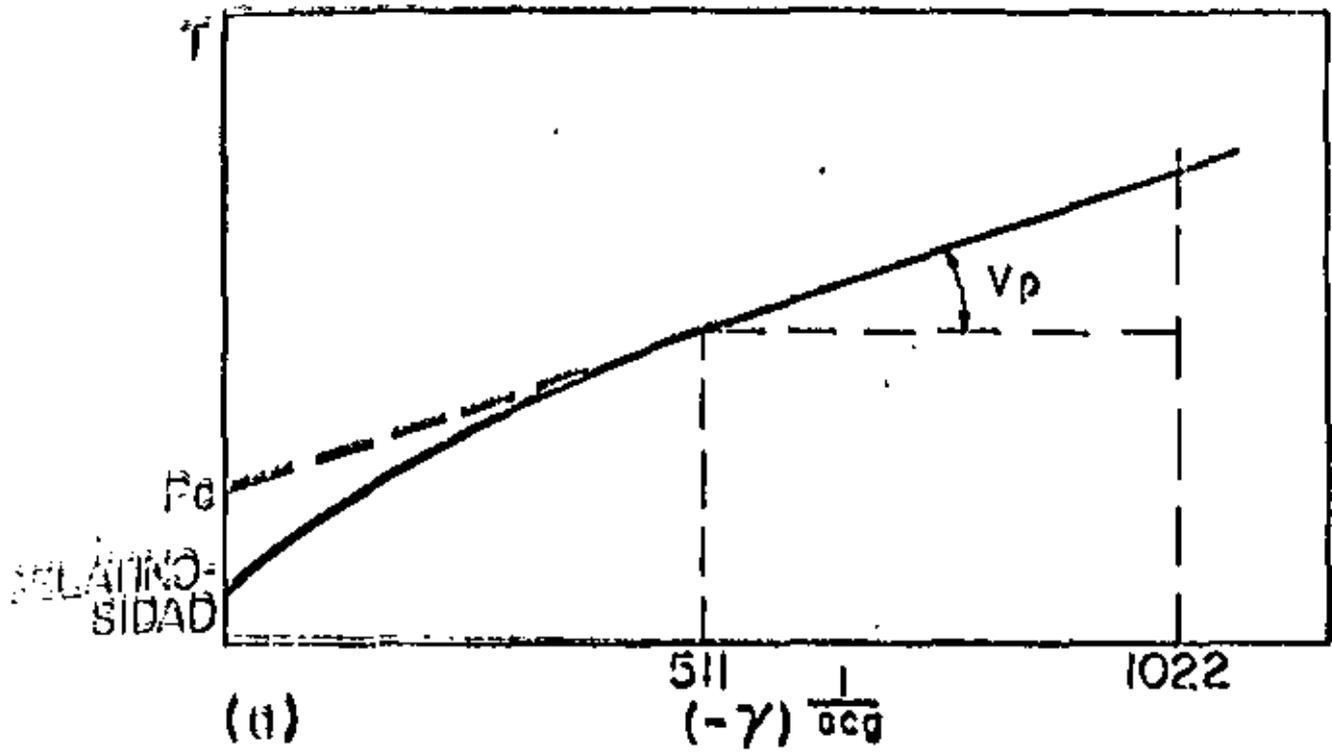


FIG. 3 PROPIEDADES REOLOGICAS DE UN FLUIDO DE PERFORACION. (a) MODELO DE BINGHAM, (b) FLUIDO IDEAL DE LA LEY DE LAS POTENCIAS

Es importante conocer la viscosidad equivalente (espesamiento) del fluido de perforación en el espacio anular ( $\mu'$ ), con el propósito de evaluar su capacidad de acarreo de los recortes. En seguida, se muestran las ecuaciones que se han desarrollado para tal objeto, de acuerdo con los modelos mencionados:

FLUIDO PLASTICO DE BINGHAM.

$$\mu' = V_p + \frac{267 P_c (D_h - D_p)}{\bar{v}} \quad (12)$$

FLUIDO IDEAL DE LA LEY DE LAS POTENCIAS.

$$\mu' = \left[ \left( \frac{2.4 \bar{v}}{D_h - D_p} \right) \left( \frac{2n' + 1}{3n'} \right) \right]^{n'} \left[ \frac{200 K' (D_h - D_p)}{\bar{v}} \right] \quad (13)$$

FLUIDO REAL DE LA LEY DE LAS POTENCIAS.

$$(\gamma)_{\text{Anular}} = \left( \frac{2.4 \bar{v}}{D_h - D_p} \right) \left( \frac{2n' + 1}{3n'} \right) \quad (14)$$

$$\mu' = \frac{(479) (\text{Lectura viscosímetro})}{(\gamma)_{\text{Anular}}} \quad (15)$$

## 23

en donde:

$\mu'$  = viscosidad equivalente, cp

$\bar{v}$  = velocidad anular, pies/min

$D_h$  = diámetro del agujero, pulg

$D_p$  = diámetro de la tubería, pulg

$V_p$  = viscosidad plástica, cp

$P_c$  = punto de cedencia, lb/100 pies<sup>2</sup>

$n'$  = índice de comportamiento de flujo

$K'$  = coeficiente de consistencia, cp

$(\gamma)_{Anular}$  = velocidad de corte anular,  $\text{seg}^{-1}$

En la referencia<sup>(6)</sup>, se encuentran el método de evaluación de  $n'$  y  $K'$  y su aplicación en el campo.

La viscosidad del lodo de perforación, depende de los siguientes factores:

- a) Presión y temperatura
- b) Viscosidad de la fase fluida
- c) Cantidad, tamaño y tipo de los sólidos
- d) Fuerzas de atracción y repulsión en el sistema

Los métodos que existen para la medición de esta propiedad de los fluidos de perforación, son:

- a) Embudo Marsh.- Este fue el primer método para medir el espesamiento del lodo. Esta medición se efectúa comparando el tiempo de escurrimiento del lodo con el del agua. El embudo es un instrumento calibrado a una capacidad de 1,500 cc, con una perforación en la parte inferior para la descarga. Un litro de agua descarga en 28 segundos y el tiempo requerido para un litro de lodo da una indicación del espesamiento.
- Este número no es una base cuantitativa; por ejemplo, una viscosidad Marsh de 200 segundos, no indica que el lodo es más espeso que otro que da una lectura de 100 segundos, cuando ambos se encuentran en movimiento. El único beneficio que se obtiene al usar este método de medición es detectar los cambios en las propiedades del lodo, que pueden ser indicativas de los problemas del agujero.
- b) Viscosímetros rotacionales.- Ya se habló de ellos anteriormente al describir los modelos de flujo. Los instrumentos de campo dan lecturas a 300 y 600 r.p.m. y temperatura ambiente; también se les conoce como Reómetros. Otros modelos dan lecturas a 600, 300, 200 y 100 r.p.m.

y el más completo es el Fann 35A movido por un motor eléctrico y con el que se obtienen lecturas adicionales a 6 y 3 r.p.m.

Hay algunos modelos de laboratorio que han sido construídos para velocidades variables. El viscosímetro Fann 39 puede trabajar en un rango de 0 a 600 r.p.m. y hasta 200°F de temperatura. El modelo Fann 50-B, está diseñado para trabajar hasta 600°F y hasta 1,000 psi de presión, con lo cual se pueden evaluar las propiedades del lodo bajo condiciones similares a las que se encuentran en el agujero.

- c) **Viscosímetro Tubular.** - Es principalmente una herramienta de laboratorio; mide la caída de presión, a través de una longitud dada de tubería a ciertas velocidades de flujo. Usando intercambiadores de calor, se pueden determinar las caídas de presión a cualquier temperatura y presión, dentro del límite del instrumento.
- d) **Viscosímetro capilar.** - Este instrumento mide la caída de presión, cuando se hace fluir un líquido newtoniano o no-newtoniano a través de un tubo capilar. Sus aplicaciones son únicamente para laboratorio.

### TIXOTROPIA.

La tixotropía se puede definir como "el fenómeno exhibido por algunos geles que se hacen fluidos con el movimiento, siendo este cambio reversible".

Cuando la viscosidad aparente en los fluidos no-newtonianos, medida a un valor fijo de temperatura y velocidad de corte, no permanece constante con la duración del esfuerzo, se dice que estos fluidos son "dependientes del tiempo". En un fluido TIXOTROPICO, el esfuerzo cortante disminuye con el tiempo cuando éste está sujeto a una velocidad de corte constante. El comportamiento contrario, cuando el esfuerzo cortante se incrementa con el tiempo de corte, a una velocidad de corte constante, es característico de los fluidos REOPECTICOS.

Esta propiedad de tixotropía es el resultado de las fuerzas de interacción de los sólidos a bajas velocidades de corte, que provocan la gelación del lado y ejercen gran influencia en la viscosidad. Las arcillas son los sólidos eléctricamente más activos, cuyas partículas se pueden reunir para formar una matriz o estructura de gel, la cual requiere de una fuerza finita para iniciar el flujo; conforme éste se incrementa, el efecto de dichas interac

Hay dos métodos básicos de medición de la velocidad de filtración:

1) Pruebas de filtración estática y 2) Pruebas de filtración dinámica; las primeras dan una indicación de la pérdida de líquido y la capacidad de formación del yacimiento, mientras que las pruebas dinámicas representan las pérdidas de líquido cuando el fluido de perforación está circulando a través del agujero.

En las pruebas estáticas, está incluida la prueba aprobada por el API, que consiste en medir el volumen de filtrado obtenido a través de un papel filtro de 7 pulg<sup>2</sup> de área, durante 30 minutos y con la aplicación de una diferencial de presión de 100 lb/pulg<sup>2</sup>. Las pruebas a alta presión y alta temperatura (HPAT), se efectúan generalmente a través de papel filtro de 3.5 pulg<sup>2</sup> de área, durante 30 minutos, a 300 °F y con la aplicación de una diferencial de presión de 100 y 300 lb/pulg<sup>2</sup>.

Las pruebas dinámicas se efectúan a alta presión y alta temperatura, a las mismas condiciones que las pruebas estáticas mencionadas en el párrafo anterior, aunque en este caso el medio filtrante puede ser papel filtro o un espécimen del núcleo de la formación.

Se han efectuado pruebas comparativas<sup>(7)</sup> de la filtración estática y dinámica y en la Figura 4, se muestran estos valores para algunos fluidos, -

ciones se hace menos importante.

Las propiedades tixotrópicas del lodo, pueden medirse en un viscosímetro del tipo rotacional como los descritos anteriormente. El procedimiento seguido es agitar violentamente el lodo para reducir las propiedades tixotrópicas a cero o lo mínimo posible y entonces determinar la fuerza necesaria para iniciar el movimiento; esto se repite después de dejar el lodo en reposo durante determinado tiempo (10 minutos); generalmente estos valores se reportan como gelatinosidad inicial a 10 seg y gelatinosidad a 10 minutos, en lb/100pies<sup>2</sup>.

La viscosidad del fluido de perforación, es la propiedad más importante, ya que de ella depende en gran parte que el lodo cumpla su función dentro de la perforación; más adelante se explicará como se interpretan los valores reglógicos obtenidos para el control del fluido.

### c) PROPIEDADES DE FILTRACION.

La velocidad de filtración, se controla generalmente por las dos razones siguientes: a) Para controlar el espesor y características del anjarro depositado en formaciones permeables y b) Para limitar el filtrado total que entra a las formaciones sub-superficiales.

observándose que, para cada tipo de fluido, hay un valor de filtración estática en que la filtración dinámica es un mínimo.

En la Figura 5, se muestran los datos de filtración estática y dinámica al adicionar aceite a un lodo base agua; se observa que con esta adición la pérdida de agua dinámica se incrementa, mientras que la estática disminuye. No hay argumentos para que estas pruebas representen comparaciones cuantitativas que puedan ser aplicadas en el campo.

Los resultados muestran claramente que las pruebas de filtración estática que se efectúan en el campo, proporcionan poca información en relación al filtrado total que puede entrar a las formaciones sub-superficiales.

#### d) pH

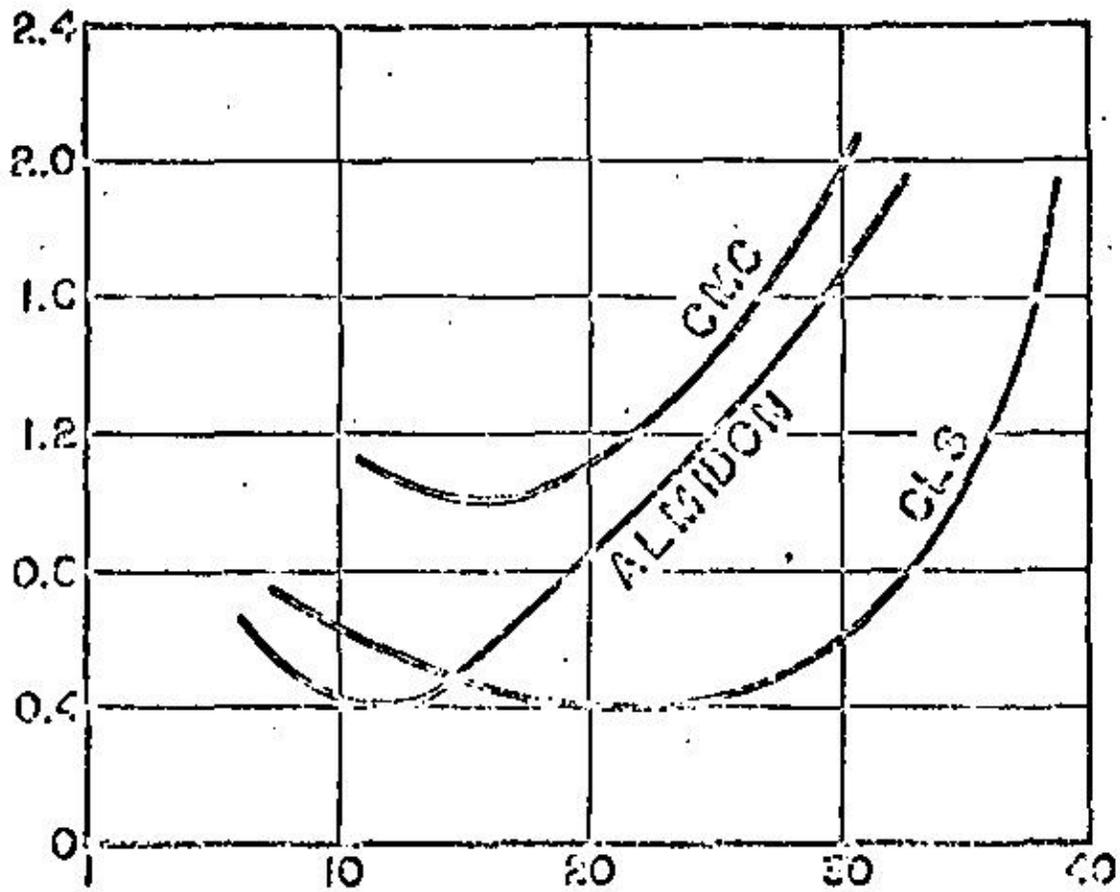
El pH se define como el logaritmo negativo del contenido de iones hidrógeno  $H^+$  y se puede describir como:

$$pH = -\log H^+ \quad (16)$$

El producto de la concentración de los iones hidrógeno  $H^+$  y la concentración de los iones hidróxido  $OH^-$  es una constante, de tal manera que:

$$H^+ \times OH^- = 1 \times 10^{-14} \quad (17)$$

PERDIDA DE FILTRADO DINAMICO, cc./hr.



PERDIDA DE FILTRADO ESTATICO A 500 psi, 150°F. Y 30 MIN. ( ml. )

FIG. 6 RELACION ENTRE LA PERDIDA DE FILTRADO ESTATICO Y DINAMICO DE ALGUNOS Lodos.

31

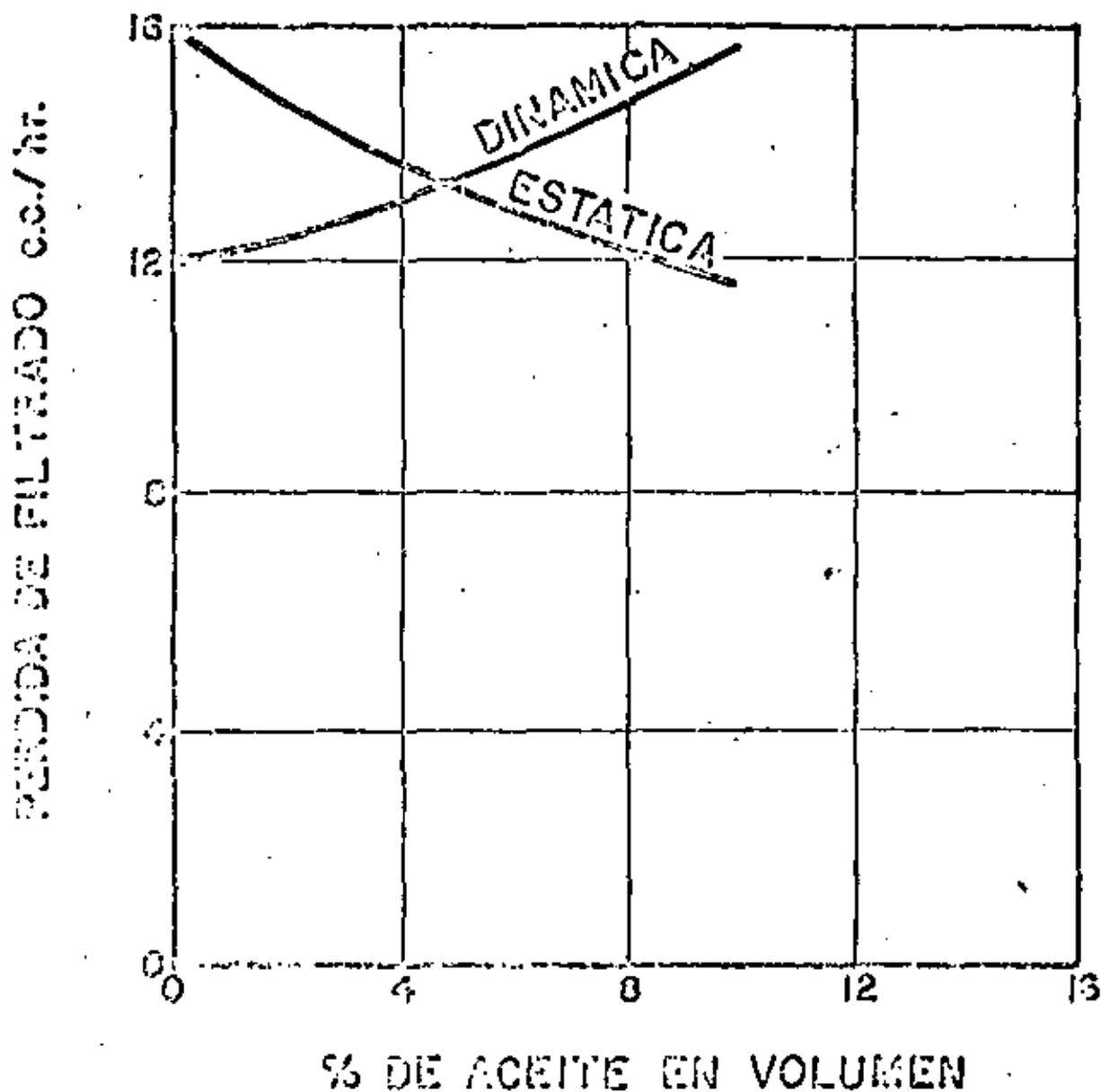


FIG. 7 EFECTO SOBRE EL FILTRADO ESTÁTICO Y DINÁMICO POR LA ADICIÓN DE ACEITE A UN LODO BASE AGUA.

El ion hidrógeno representa el componente ácido y el ion oxhidrilo, al componente básico o alcalino. Cualquier cosa que reduzca la concentración del ion hidrógeno provocará un aumento del pH. Una solución neutra, como el agua destilada, tiene la misma concentración de iones hidrógeno, que de iones oxhidrilo y corresponde a un pH de 7:

$$H^+ = OH^- = 1 \times 10^{-7} \quad (18)$$

Otras combinaciones son:

$H^+$	$OH^-$	pH
$10^0$	$10^{-14}$	0
$10^{-4}$	$10^{-10}$	4
$10^{-9}$	$10^{-5}$	9
$10^{-14}$	$10^0$	14

El pH de 14 representa la máxima concentración de iones oxhidrilo y la mínima concentración de iones hidrógeno. Cualquier material que reduzca la concentración de los iones hidrógeno o iones oxhidrilo libres, afectará el pH; por ejemplo, si se considera el ion carbonato  $CO_3^{2-}$ , en presencia de iones hidrógeno libres, se producirá el anión bicarbonato  $HCO_3^-$ , con lo cual se incrementará el pH.

La concentración de iones oxhidrilo es extremadamente importante en lodos pesados sujetos a altas temperaturas (más de 250°F), ya que los reductores orgánicos de viscosidad trabajan mejor en un medio de alto pH. El contenido de iones oxhidrilo limita la solubilidad del calcio, el cual es un contaminante en un lodo base agua, mientras que un alto contenido de estos iones tiene efectos perjudiciales en otros contaminantes, como el cloruro de sodio.

No es común para un lodo de agua dulce, espesarse cuando se continúa con sal, calcio u otro contaminante, sino que el lodo se espesa debido a la floculación de las arcillas, observándose que este efecto se reduce apreciablemente al incrementarse el pH.

Existen dos métodos para medir el pH del lodo de perforación. El primero es un método colorimétrico, modificado que usa papel pHydron en diferentes rangos y que no es muy confiable cuando el lodo contiene alta salinidad. El otro método es el de electromedición que emplea un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia; también está sujeto a error cuando el lodo tiene alto contenido de iones sodio, aunque en este caso se puede usar un electrodo especial para iones sodio o se puede corregir la lectura obtenida.

## e) RESISTIVIDAD.

Es una propiedad importante del lodo en lo que se refiere a la interpretación adecuada de los registros eléctricos. La determinación de la resistividad es esencialmente la medición de la resistencia al paso de la corriente eléctrica a través de la muestra colocada en un recipiente especial; esta medición, se convierte a resistividad en ohm-metro utilizando una celda constante.

El registro de potencial espontáneo, se genera principalmente por una reacción electroquímica entre el filtrado del lodo y el agua de la formación. Si el filtrado del lodo contiene la misma cantidad de sales que el agua de la formación, sus resistividades son iguales y el potencial es cero. Este concepto ha servido para medir el potencial espontáneo en áreas donde el agua de la formación es casi agua dulce, agregando sales al lodo para obtener un valor positivo.

El resistivímetro Baroid, se usa para medir la resistividad del lodo, del filtrado y del enjarre, el cual tiene un rango de medición de 0.01 a 10 ohm-m<sup>2</sup>/m; la conductividad del medio, se calcula tomando el recíproco del valor obtenido de la resistividad.

## f) ESTABILIDAD A LA TEMPERATURA.

El lodo al circular a través del agujero, está sujeto a la acción de la temperatura y es deseable que no cambie por este motivo sus propiedades, principalmente reológicas, tixotrópicas y de filtración.

Se ha diseñado un equipo, llamado Consistómetro, que mide el espesamiento relativo que sufre el lodo con la acción de la temperatura, tomando como punto final de la prueba, la consistencia de un aceite de una viscosidad particular, que se considera muy alta para un lodo y que por lo mismo, es impropia para la perforación.

El lodo se coloca en una celda con un cilindro de fierro en su interior, sujeta a la acción de un campo magnético formado por dos bobinas, una superior y otra inferior, que accionan a un cierto intervalo de tiempo y producen un movimiento ascendente y descendente del cilindro; al espesarse el lodo este movimiento se vuelve más lento y por medio de un micrófono se envía una señal al elemento de medición que la compara con el intervalo de trabajo de las bobinas, obteniéndose como resultado un millivoltaje, el cual se amplifica y se recibe en un registrador de dos canales. La señal de espesamiento del lodo se grafica conjuntamente con la temperatura y a llegar al valor obtenti-

do con el aceite de calibración, se lee la temperatura y se reporta como **INDICE DE ESTABILIDAD**; este aceite es un fluido newtoniano de 350 cp de viscosidad absoluta.

También se efectúa otra prueba similar, sometiendo al lodo a una cierta temperatura, durante un intervalo de tiempo y observando el cambio en la consistencia; esta determinación se denomina **GRADO DE ESTABILIDAD** y se reporta como el tiempo que el lodo se mantiene con una consistencia menor que la de calibración con un aceite, también newtoniano, de 200 cp de viscosidad.

No se ha logrado obtener una relación entre esta consistencia y las propiedades reológicas, pero es muy útil el valor obtenido del índice de estabilidad.

#### g) PODER DE LUBRICACION.

Se determina mediante el probador de carga máxima Caroid, el cual fue diseñado para evaluar las propiedades lubricantes de los lodos de perforación. Los resultados de las pruebas usando este dispositivo, han sido correlacionados a los obtenidos por la máquina TIMKEN, que ha sido utilizada por

el ASTM como el equipo estandar para medir el poder de lubricación de varios lubricantes. La determinación consiste en someter a un anillo de acero girando a una velocidad determinada, a una cierta carga, mediante fricción con un cubo de acero, ambos sumergidos dentro del lodo. Normalmente se efectúa la prueba en un tiempo de 3 a 5 minutos y con la aplicación de una carga de 150 lb-pulg, de tal manera que para iniciar la operación, se aplican incrementos de carga de 5 lb-pulg/seg, hasta llegar a este valor. El resultado de la prueba es la formación de una muesca en el cubo, que indica el poder de lubricación de la película de lodo entre el anillo y el cubo, calculando en la siguiente forma:

$$P = 533 \frac{T}{W} \quad (19)$$

en donde:

P = Resistencia de la película, psi

T = Lectura de la carga aplicada, lb-pulg

W = Ancho de la muesca, en milésimas de pulgada

Es importante mejorar el poder de lubricación del lodo, principalmente en pozos con altas temperaturas o en pozos desviados.

Otra propiedad del lodo que no se ha tratado, es el calor específico, definido como la cantidad de calor requerido para que la unidad de masa eleve su temperatura, la unidad de temperatura, expresada generalmente como Btu/lb°F y Kcal/Kg°C. En un lodo, tanto los líquidos como los sólidos, -

contribuyen a su calor específico.

#### h) COMPOSICION DEL LODO.

Más que una propiedad del lodo, es una característica de la cual dependen las propiedades mencionadas anteriormente y que es función del tipo de lodo en particular; las determinaciones efectuadas son las siguientes:

##### 1) Contenido de Arena.

Es conveniente determinar frecuentemente el contenido de arena del lodo, ya que una cantidad excesiva puede producir un enjarre grueso en la pared del agujero o puede asentarse cuando se suspende la circulación. También puede haber un desgaste excesivo en los implementos de las bombas y en las conexiones de la tubería.

El contenido de arena se determina por lixiviación, asentamiento y clasificación por mallas; de los tres se prefiere el último por su simplicidad y mide el volumen de arena, incluyendo los espacios vacíos entre las partículas, como un porcentaje del volumen de lodo.

El dispositivo empleado, es un tubo especial calibrado de 0 a 20%

en volumen, un embudo y un tamiz con una malla del No. 200. Se vacía el lodo en el tubo hasta la marca "lodo", se agrega agua hasta la marca "límite de agua" y se agita vigorosamente; se vacía el contenido del tubo a través del tamiz y se lava con bastante agua, pasando al tubo lo retenido en el tamiz y midiendo la cantidad de arena como % en volumen.

## 2) Contenido de líquidos y sólidos.

Esta medición es muy importante para el control de las propiedades del lodo y para su determinación se utiliza la retorta; se vacía una cantidad de lodo en la celda, generalmente 10 ó 20 ml, se calienta durante un cierto tiempo a elevada temperatura para que todos los componentes líquidos se vaporizen y éstos se condensan y se reciben en una probeta graduada en porcentaje. Los sólidos suspendidos o disueltos, se calculan restando de 100% la cantidad de líquidos obtenidos.

La densidad media de los sólidos\* se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\text{Densidad de los sólidos} = \frac{100 \times \text{densidad del lodo} - (\% \text{ Vol agua} + 0.8\% \text{ Vol aceite})}{\% \text{ Vol sólidos}}$$

(20)

\*Calculado como densidad relativa (specific gravity)

El % en volumen de los sólidos de alta densidad ( $4.3 \text{ g/cm}^3$ ) y de baja densidad ( $2.5 \text{ g/cm}^3$ ) se calcula como sigue:

$$\begin{aligned} \text{\% Volumen sólidos} \\ \text{de alta densidad} &= (\text{Densidad promedio de los sólidos} - 2.5) \times 55.6 \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \text{\% Volumen de sólidos} \\ \text{de baja densidad} &= (100 - \text{\% Volumen sólidos de alta densidad}) \end{aligned} \quad (22)$$

Con el método del azul de metileno, se puede determinar la cantidad de sólidos activos del tipo bentonítico, que tienen gran influencia en las propiedades reológicas y tixotrópicas. Este método está diseñado para medir la capacidad de intercambio catiónico de las arcillas en solución y puede ser aplicable tanto a lodos de perforación, como a dispersiones acuosas de arcillas, a núcleos de la formación o a los recortes de la barrena.

Como todos los métodos de intercambio catiónico, esta prueba mide la capacidad total de intercambio catiónico del sistema de arcillas y depende del tipo y contenido del mineral arcilloso presente; únicamente reaccionan las porciones activas de la arcilla, mientras que los otros materiales finamente divididos, como la barita, arena y caliza, no adsorben azul de me

tileno. Algunos valores típicos de capacidad de intercambio se anotan a -  
continuación:

	Miliequivalentes/100 g de muestra base seca
	-----
Bentonita Wyoming	75
Lutita blanda	45
Kaolinita	10
Recortes de la barrera	8

Este método es una nueva herramienta analítica para el control del lodo. Cuando la determinación se efectúa en una muestra con un solo tipo de arcilla, los resultados son muy exactos, pero cuando existen mezclas, el método ofrece una idea razonable del mineral arcilloso predominante y la pureza de la muestra. La experiencia ha demostrado que la prueba del azul de metileno, puede proporcionar datos útiles cuando las determinaciones se efectúan en un lodo con determinada densidad promedio de los sólidos y de terminado porcentaje en volumen.

La capacidad de intercambio catiónico, se calcula dividiendo los -  
mililitros de azul de metileno ( 1 ml = 0.01 meq) entre los mililitros de lodo  
utilizados en la prueba.

$$\text{Capacidad de Intercambio} = \frac{\text{ml azul de metileno}}{\text{ml lodo}} \quad (23)$$

Los lodos de perforación, frecuentemente contienen otras sustancias además de la bentonita que adsorben azul de metileno, por lo cual se efectúa un tratamiento con peróxido de hidrógeno para eliminar su efecto. La cantidad de bentonita se puede calcular en la siguiente forma:

$$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ Bentonita} = 14.25 \times \text{Capacidad de intercambio} \quad (24)$$

### 3) Análisis químico del filtrado.

Las determinaciones más comunes que se efectúan al filtrado, son: alcalinidad, cloruros, calcio y sulfatos.

La alcalinidad o acidez, es medida por el pH, pero debido a que el filtrado puede contener una variedad de iones en diferente proporción, el análisis químico determina el carácter de la alcalinidad y esto auxilia al mantenimiento de las propiedades deseadas del lodo de perforación. La alcalinidad se determina por titulación con ácido sulfúrico 0.02 N, utilizando como indicadores la fenolftaleína (pH de 8.3 a 10.0) y el anaranjado de metilo (pH de 3.1 a 4.3); los mililitros gastados con la fenolftaleína, se reportan como alcalinidad a la fenolftaleína (Pf) y los mililitros gastados con el anaranjado de metilo, incluyendo Pf, se reportan como alcalinidad total (Mf)

Para determinar el contenido de cloruros en el filtrado del lodo de perforación, se titula con solución de nitrato de plata, empleando cromato de potasio como indicador; los resultados se reportan en partes por millón de ion cloruro ( $\text{Cl}^-$ ). Esta determinación titula todos los cloruros presentes, de tal manera que si la muestra contiene cloruro de sodio y cloruro de calcio, se requiere una determinación de calcio para conocer la cantidad de cada uno de estos componentes.

Para la determinación de calcio se emplea el método del versenato (EDTA) con un indicador especial (Cloruro de sodio-Murexida) y una solución buffer. El punto final de la titulación, es el cambio de color al púrpura y el resultado se reporta como ppm  $\text{Ca}^{++}$ . Este mismo método también se utiliza para la determinación de dureza, con Negro Eriocromo como indicador, en donde el punto final cambia de rojo vino a azul.

En el análisis de sulfatos, se emplea un indicador de cloruro de bario que provoca una precipitación de sulfato de bario; dependiendo de la concentración de sulfato se obtiene desde una solución translúcida hasta una suspensión espesa. Los resultados se expresan como equivalentes por millón de sulfatos.

---

Además de los análisis señalados, en algunos tipos de lodo, se requiere 44 otras determinaciones específicas, como cantidad de potasio, de sulfuros, etc.

siguiente: 1) Dilución del lodo por descubido, 2) Flujo de agua en la formación, 3) Entrada de gas al lodo (gasificación) y 4) Entrada de aire al lodo por formación de espuma. Se requiere efectuar el análisis de retorta y de salinidad del filtrado, con lo cual se comprueba si existió dilución o entrada de agua; siendo emisión inversa habría un cambio en la relación de aceite/agua. La gasificación viene acompañada de un aumento notable de volumen en las presas y la formación de espuma es factible si se está utilizando algún surfactante en el sistema.

#### b) Viscosidad

La viscosidad plástica es una medida del efecto de los sólidos en el espesamiento del lodo y depende del contenido de sólidos, su tamaño y la temperatura. Es difícil decir cual será la viscosidad plástica de un lodo pesado, ya que el tamaño del sólido es un factor muy importante. Este parámetro es muy útil en el control de la viscosidad de lodos pesados.

El punto de cedencia es un pseudo-número obtenido de acuerdo al modelo de Bingham y ya que no existe, su uso en determinados cálculos, involucra un error conocido. Sin embargo, en el campo da una indicación de las fuerzas de atracción entre los sólidos y por lo tanto, de la desviación del comportamiento no-newtoniano del lodo. Se usa más que la vis-

## II.- INTERPRETACION DE LOS ANALISIS.

Las propiedades fisicoquímicas del fluido de perforación y su composición particular, dependen del tipo de lodo y sus requerimientos para la perforación; es importante interpretar adecuadamente los análisis para conocer las causas del cambio en sus propiedades y controlar el sistema dentro de los valores previstos para cada caso particular.

Cualquier cambio en las propiedades o composición del lodo, se refleja en la densidad, viscosidad y pérdida de filtrado, de tal manera que estas tres propiedades son básicas en el control; las demás son útiles en la investigación de las causas de los cambios.

Un aumento de densidad puede ser originado por un aumento en el contenido de sólidos, debido a incorporación de los recortes al lodo de perforación; en este caso un análisis de retorta y una determinación de la capacidad de intercambio catiónico, indicaría la cantidad, el tipo de sólidos, si éstos pueden influir en la viscosidad del lodo o si se requiere un mejor control de los sólidos<sup>(8)</sup>.

En el caso de una disminución de densidad, se puede deber a lo -

cosidad plástica para indicar el espesamiento del lodo y está muy relacionada con la gelatinosidad, de tal manera que en lodos pesados, el nivel adecuado del punto de cedencia, es el mínimo para soportar la barita, mientras que en lodos de bajo peso, el valor requerido es únicamente para proporcionar una limpieza adecuada del agujero.

Tal vez la gelatinosidad sea una mejor indicación de la capacidad para soportar la barita, pero su valor está muy relacionado con el punto de cedencia. Los reductores orgánicos de viscosidad, actúan reduciendo el punto de cedencia y la gelatinosidad<sup>(9)</sup> aunque también se puede lograr esto, disminuyendo el contenido de sólidos.

Como se indicó en el primer capítulo, los valores de  $n'$  y  $K'$  considerando el modelo de la ley de la potencias, se aproximan más el fluido real que el modelo de Bingham, a las velocidades de corte nulares; sin embargo, los valores de viscosidad plástica y punto de cedencia, son buenos para tratamiento de lodo y con más práctica  $n'$  y  $K'$  pueden ser muy útiles para este mismo objeto. Por ejemplo, un valor bajo de  $n'$  indica la necesidad de un tratamiento químico y un alto valor de  $K$  indica que debe disminuirse el contenido de sólidos; éstas no son conclusiones precisas, pero se pueden usar como una guía general.

El modelo de la ley de las Potencias, es muy útil para el cálculo de las caídas de presión en el espacio anular y la capacidad de acarreo del lodo. La desventaja del uso de este método, es que al determinar la viscosidad equivalente, no hay suficiente información que relacione este valor con la necesidad de tratamiento. En general, si la viscosidad equivalente es muy alta, sí se requiere tratamiento.

Para interpretar adecuadamente las causas de un aumento o disminución de la viscosidad y gelatinosidad, es importante conocer primeramente el tipo de lodo empleado; también es recomendable llevar un registro continuo de las determinaciones efectuadas al lodo.

La temperatura afecta al lodo substancialmente, disminuyendo su viscosidad plástica al ser menor la viscosidad de la fase líquida; la prueba del índice de estabilidad, indica en términos generales si el lodo mantiene su viscosidad con la temperatura, de tal manera que con una prueba piloto de un lodo en particular, se podrá decidir si su empleo es adecuado a esas condiciones.

Generalmente el contenido de sólidos, afecta a la viscosidad, por lo que un análisis del contenido de sólidos, su capacidad de intercambio y la salinidad de la fase líquida, dará una información de su efecto; en el caso de un cambio en la salinidad, este efecto puede ser de contaminación y afectar también el punto de cedencia.

Un cambio en el punto de cedencia, involucra un cambio en las fuerzas de interacción de las partículas y en la referencia<sup>(10)</sup>, se ha estudiado la química de las arcillas y el efecto que producen en ellas los reductores de viscosidad.

Generalmente se considera el control de la viscosidad en términos de una reducción del espesamiento del lodo. Los métodos usados para este fin, incluyen medios mecánicos, de dilución y reductores químicos de viscosidad.

#### c) Propiedades de filtración.

El control de esta propiedad se efectúa generalmente por medio de la prueba API para los lodos base agua y por medio de la prueba APAT para los lodos base aceite. Estas pruebas dan una indicación de la capacidad de formación de enjarre y su espesor, aunque no dicen mucho de la cantidad de filtrado total que entra a la formación.

En lodos base agua, un aumento del filtrado puede ser debido a un aumento de sólidos, disminución del pH o a efectos de temperatura. Generalmente, se trata de mantener el filtrado API lo más bajo posible, principalmente en formaciones permeables o en zonas de lutitas.

En los lodos de emulsión inversa, el aumento en el filtrado puede ser debido al efecto de sólidos, un cambio en la relación aceite/agua, a la temperatura del fondo del agujero, o a una disminución del poder emulsificante y de filtración del sistema.

En el apéndice, se muestran los análisis del lodo en la perforación de los pozos Coetus 51, Sitio Grande 25 y Cunduacán 10, del área de Reforma, Chis., en donde el tipo de lodo utilizado fue de emulsión inversa, aminas y polímeros, respectivamente. También se han calculados los valores de  $n'$  y  $K'$

### III.- LODOS BASE AGUA Y BASE ACEITE.

#### 1) Lodos base agua.

##### A) Lodos de agua dulce (menos de 1% de NaCl y menos de 120 ppm de $Ca^{++}$ ).

###### a) Bajo pH. - Fosfatos (pH a 8.5)

Estos lodos contienen polifosfatos para el control de viscosidad y gelatinosidad. El tratamiento dispersa la fracción coloidal de los sólidos en el lodo, permitiendo mayor densidad, más baja viscosidad y gelatinosidad, pérdida de filtrado menor y enjaires delgados. Se agregan generalmente taninos para el control de las propiedades.

Los polifosfatos son inestables a las altas temperaturas encontradas en pozos profundos y pierden su efectividad como adelgazadores del lodo. Estos lodos son floculados cuando se contaminan en cantidades apreciables con cemento, tal o sulfato de calcio.

###### b) Quebracho. - Sosa (pH de 8.6 a 10.5)

También se les conoce con el nombre de "lodos rojos", debido al color del

filtrado y del lodo por el tratamiento; actualmente éste consiste en la adición de taninos, ceras lignínicas y adelgazadores húmicos; una variante es la adición de polifosfatos cuando el pH es menor de 10. Estos lodos son algo-sensibles a la floculación por contaminación con sales.

c) Lodos de alto pH (pH de 8.6 a 10.5)

Estos lodos se preparan aumentando el pH del sistema anterior, con lo cual se aumenta la resistencia del lodo a la floculación; se utiliza almidón - pregelatinizado y debido al pH no hay peligro de fermentación. Si se requiere alta densidad es preferible utilizar un lodo tratado con calcio de alto pH.

d) Cromolignosulfonato (pH de 8.5 a 10.0)

Son los más usados actualmente en el campo y consiste en la adición de cromolignosulfonato y sosa en un medio coloidal formado por la bentonita. Son muy estables a la temperatura y poseen buenas propiedades de filtración; algunas veces se mejora esta propiedad con la adición de lignita. Se ha estudiado la naturaleza de los lignosulfonatos<sup>(11)</sup> y su acción sobre las arcillas para disminuir la viscosidad del sistema.

B) Lodos salados (monovalentes) (1% de NaCl o más)

Son usados para perforar domos salinos y algunas veces cuando se encuentran flujos de agua salada. Tales lodos exhiben altas velocidades de filtración y enjarres gruesos, a menos que se utilicen coloides orgánicos para su control. El pH generalmente es menor de 8.0 y se requiere la adición de preservativos para evitar la fermentación del almidón; cuando se utilizan altos pH, la fermentación es inhibida por la alta alcalinidad. La suspensión es difícil debido a la floculación de las arcillas y se utiliza atapulgita para mejorar esta propiedad, una arcilla hidratable en agua salada.

a) Agua salada y

b) Agua de mar (aproximadamente 3.5% de NaCl)

Estos lodos utilizan el agua de mar para su preparación y al igual que los lodos llamados genéricamente de agua salada, no se ha llegado a la saturación. Sus características son: 1) alta pérdida de filtrado, a menos que se utilice un coloide orgánico 2) de media a alta gel a menos que se utilice un reductor, 3) bajo poder de suspensión a menos que se le trate con atapulgita o un coloide orgánico. También tienen la propiedad de formar espuma, la cual se controla con la adición de agentes activos de superficie y con sustancias químicas para reducción del gel.

c) Agua saturado de sal.

Estos lodos se utilizan para perforar domos salinos, en el cual existen

problemas de agrandamiento del agujero con otros lodos. Es necesario con trolar el filtrado antes de llegar al domo salino y por medio de coloides or gánicos se puede reducir hasta 1 cc. en la prueba API. La desventaja de estos lodos, es la interpretación de los registros eléctricos. El control de sus propiedades consiste en la adición de agua salada para reducir viscosi dad, de atapulgita para aumentar viscosidad y de coloides orgánicos para controlar filtrado.

El Ing. Alberto Sierra Ochoa, desarrolló en el Instituto Mexicano del Petróleo, un lodo saturado de sal, con aminas, silicato de sodio y coloi des orgánicos, para la perforación de la zona de lutitas del Area de Reforma, Chis. Se han perforado 4 pozos y se ha tenido éxito en 2 de ellos, al perforar todo el intervalo.

C) Lodos cálcicos (Polivalentes).

Estos lodos contienen calcio como un elemento esencial del sistema. Este elemento se puede agregar como cal hidratada, cemento, sulfato de cal cio, cloruro de calcio o pueden ser incorporados al sistema al perforar ce - mento, anhidrita o yeso. Se usan muy poco en la actualidad.

a) Baja cal y b) Alta cal.

do hasta menos de 7% en volumen. En México se han efectuado algunas pruebas de campo, principalmente con el objetivo de utilizar estos lodos en zonas de lutitas delezna**bles**. Estos sistemas también se les conoce como "no dispersos"<sup>(12)</sup>.

#### E) Lodos emulsionados.

Estos lodos se preparan adicionando aceite a un lodo base agua, en el cual el aceite es la fase dispersa y el agua la fase continua, obteniéndose agua como filtrado. Se puede utilizar agua dulce o agua saturada y las únicas propiedades que cambian con la adición de aceite, son el peso del lodo, el volumen de filtrado, el espesor del enjarre y el poder lubricante. Inmediatamente después de la emulsificación, el filtrado se reduce, el espesor de la torta es más delgado y se reduce notablemente la torsión en la sarta de perforación.

Las ventajas de estos lodos, son: 1) Incrementar la vida de la barrena, b) Aumentar la velocidad de penetración y c) Disminuir el embalamiento de la barrena y la sarta de perforación. El lodo reacciona igual al tratamiento y a la contaminación que cuando no tiene aceite. Este tipo de lodo es muy usado en el campo.

Generalmente los sistemas de emulsión inversa, se formulan mediante un emulsificante, un estabilizador a la temperatura y un reductor de pérdida de filtrado; dependiendo del fabricante, serán las cantidades empleadas en la formulación y el tratamiento requerido.

La utilidad del lodo de aceite, es el hecho de que el filtrado es únicamente aceite y no hidrata las lutitas sensibles al agua. La presión osmótica de un lodo de aceite, en contacto con lutitas, es una función de la diferencia de las concentraciones salinas de la fase acuosa del lodo y el agua de hidratación de la lutita; la actividad<sup>(13)</sup> del lodo es un término que se ha introducido para determinar la salinidad de la fase acuosa del lodo para contrarrestar estas fuerzas de hidratación del agua de la lutita.

El control de las emulsiones inversas, generalmente se efectúa en base al filtrado estático a alta presión y alta temperatura, la relación aceite/agua y la estabilidad eléctrica, que está relacionada con el poder de emulsificación del agua y el aceite. Se han efectuado pruebas<sup>(14)</sup> para conocer el efecto de la temperatura y la presión sobre la viscosidad de los lodos base aceite.

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

- 1) Rogers.- Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids.  
3a. Edición.- Gulf Publishing Company.- 1963.- Cap 1.
- 2) Preston L. Moore.- Drilling Practices Manual.- The Petroleum  
Publishing Co.- Tulsa.- 1964.- Capítulo 5.
- 3) Sierra Ochoa A.- Daños a la formación por fluidos de perforación.  
Conferencia presentada en Agua Dulce, Ver.- Julio 1975.- Insti-  
tuto Mexicano del Petróleo.- Subdirección de Tecnología de la Ex-  
plotación.
- 4) Water Pollution Aspects from Waste Drilling Mud Disposal in Canada's  
Artic.- Bryant y Golburn.- OTC 2044.- Offshore Technology -  
Conference.- American Institute of Petroleum Engineers.- Mayo 1974.
- 5) R. P. Bird, W. E. Stewart, E.N. Lightfoot.- Fenómenos de Transporte  
Editorial Reverté.- 1964.- Cap. 1.
- 6) Mud-Draulics.- Introduction to power Law Rheology.- Milchem -  
Incorporated.- Oct. 1973.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PRUEBAS DE BOMBEO

ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR

ABRIL, 1984

## PRUEBAS DE BOMBEO

### GENERALIDADES

ES EL PROCEDIMIENTO MAS IMPORTANTE DE QUE SE DISPONE PARA - EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE POZOS, PREDICCIÓN DE CAUDALES, DESCENSOS FUTUROS, Y LA OBTENCIÓN DE VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y LOS PARÁMETROS DE LOS ACUÍFEROS, QUE NO TENGAN SÓLO VALIDEZ PUNTUAL Y, QUE ADEMÁS NO SEAN EL PRODUCTO DE ENSAYOS DE LABORATORIO O DE SONDEOS DE DUDOSA VALIDEZ.

LA PRUEBA SE REALIZA EN CONDICIONES CONTROLADAS QUE NOS PERMITAN DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO Y DEL POZO DE BOMBEO. LAS REALIZADAS A CAUDAL CONSTANTE HASTA LOGRAR EL RÉGIMEN PERMANENTE SON MAS FACILES DE INTERPRETAR YA QUE NO INFLUYE EL O LOS COEFICIENTES DE ALMACENAMIENTO, PERO PRECISAN DE VARIOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN, Y ES MAS CONVENIENTE SI CONTAMOS CON SUS COTAS.

LAS PRUEBAS DE BOMBEO SON AQUELLAS EN LAS QUE SE OBSERVAN LOS DESCENSOS PRODUCIDOS EN POZOS CERCANOS O EN PIEZÓMETROS PRÓXIMOS (ADEMÁS DEL POZO MISMO).

LA MEDICIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA DESPUÉS DEL CESE DEL BOMBEO EN EL PROPIO POZO Y EN LOS PIEZÓMETROS O POZOS DE

OBSERVACIÓN, SE LLAMA ENSAYO DE RECUPERACIÓN.

LOS ENSAYOS A CAUDAL CONSTANTE CON MEDIDA E INTERPRETACIÓN DEL RÉGIMEN VARIABLE PUEDEN SER MAS BREVES, NO NECESITAN DE MUCHOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN Y PERMITEN DETERMINAR EL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.

## A F O R O S

EL AFORO, NOS PERMITE HALLAR EL CAUDAL DE EXPLOTACIÓN DE UN POZO, DE SU REALIZACIÓN PUEDEN OBTENERSE LOS SIGUIENTES DATOS:

- A) GASTO ACONSEJABLE DE APROVECHAMIENTO DEL ACUÍFERO
- B) CURVA CARACTERÍSTICA DEL POZO
- C) UN PRIMER VALOR DE LA EFICIENCIA DEL POZO
- D) UNA ESTIMACIÓN DE LA TRANSMISIVIDAD DEL ACUÍFERO EN EL SÍTIO DEL POZO.
- E) DATOS PRELIMINARES SOBRE EL ACUÍFERO, BARRERAS, DRENAJE DIFERIDO, SEMICONFINAMIENTO, ETC.
- F) A VECES SE PUEDE LLEGAR A UNA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO, SI A LOS DESCENSOS OBSERVADOS SE LES RESTA LAS PÉRDIDAS EN EL POZO OBTENIDAS DE LA CURVA CARACTERÍSTICA.

## PRUEBAS DE BOMBEO

CON LA PRUEBA DE BOMBEO PODEMOS OBTENER LOS SIGUIENTES DATOS:

- A) TRANSMISIVIDAD DEL ACUÍFERO
- B) COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO
- C) CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL ACUÍFERO O EN RELACIÓN CON SU CONTORNO, SEMICONFINAMIENTO, RECARGA, DRENAJE DIFERIDO.
- D) PRESENCIA Y SITUACIÓN DE LÍMITES COMO, BARRERAS, FALLAS, LINEAS DE RECARGA, ETC.
- E) DATOS PARA EXTRAPOLAR RAZONABLEMENTE LOS DESCENSOS DEL POZO SOMETIDO A UNA LARGA EXPLOTACIÓN.
- F) EFICIENCIA REAL DEL POZO, CURVA CARACTERÍSTICA DEL POZO.

SI ADEMÁS CONTAMOS CON LA INFORMACIÓN DE LOS DISTINTOS ESTRATOS GEOLÓGICOS Y MATERIALES QUE FORMAN EL SISTEMA ACUÍFERO Y LOS PIEZÓMETROS SE INSTALAN CORRECTAMENTE ( A DISTANCIAS Y PROFUNDIDADES ADECUADAS), PODEMOS LLEGAR A OBTENER:.

- A) GRADO DE ANISOTROPÍA EN LOS PLANOS HORIZONTAL Y VERTICAL.
- B) COEFICIENTE DE GOTEO, RESISTENCIA HIDRÁULICA DE LOS ACUITARDOS Y COEFICIENTE DE DRENAJE DIFERIDO.

## D) COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO DE LOS ACUITARDOS.

## SITIO DE LA PRUEBA DE BOMBEO

SE DEBEN HACER LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR EL LUGAR MÁS ADECUADO PARA EL ENSAYO DE BOMBEO, DENTRO DEL ACUÍFERO QUE ESTÉ SOMETIDO A ESTUDIO.

ES CONVENIENTE LO SIGUIENTE:

1. QUE EN ESE LUGAR EL ACUÍFERO SEA LO MÁS HOMOGÉNEO POSIBLE.
2. QUE EL ACUÍFERO ESTÉ MAS DEFINIDO EN SUS CARACTERÍSTICAS TALES COMO; CAUTIVO DE ESPESOR CONSTANTE, LIBRE, DE BASE HORIZONTAL, SEMICONFINADO DE ESPESOR CONSTANTE; HORIZONTAL CON UN ACUITARDO SUPERIOR BIEN DEFINIDO, ETC.
3. QUE NO EXISTAN BARRERAS PRÓXIMAS O QUE POR LO MENOS ESTÉN BIÉN DEFINIDAS, QUE NO SE ESPEREN CAMBIOS LATERALES DE PERMEABILIDAD Y/O ESPESOR (DE CONSIDERACIÓN)
4. QUE PRACTICAMENTE NO EXISTA FLUJO NATURAL O QUE SEA PEQUEÑO CON RESPECTO AL QUE SE CAUSARÁ CON EL BOMBEO.
5. QUE NO EXISTAN BOMBEOs PRÓXIMOS U OTRAS ACTIVIDADES QUE PRODUZCAN CAMBIOS GRANDES EN EL NIVEL DE AGUA.
6. QUE SE CONOZCA BIÉN LA FORMACIÓN GEOLÓGICA DEL SITIO.
7. SI EL ACUÍFERO ES LIBRE QUE EL NIVEL FREÁTICO SEA LO SUFICIENTEMENTE PROFUNDO COMO PARA NO TENER QUE HACER CONSIDERACIONES POR EFECTOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN NI RECARGA POR LLUVIAS O RIEGOS.

8. QUE EL AGUA BOMBEADA NO VUELVA AL ACUÍFERO

DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO ES ADECUADO LO SIGUIENTE:

1. QUE YA EXISTA UN POZO CON LAS CONDICIONES Y EN EL LUGAR DESEADO.
2. QUE DE SER POSIBLE EXISTAN POZOS O PIEZÓMETROS QUE PODAMOS UTILIZAR COMO DE OBSERVACIÓN Y QUE NO SEAN BOMBEADOS.
3. QUE NO HAYA QUE PAGAR AFECTACIONES POR LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA, DEBERÁ ESCOGERSE UN SÍTIO PÚBLICO.
4. QUE EXISTA LA MAYOR INFORMACIÓN GEOLÓGICA, HIDROLÓGICA Y GEOFÍSICA POSIBLE.
5. QUE EL DRENAJE DEL AGUA BOMBEADA NO CAUSE PROBLEMAS A TERCEROS

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE OPERACIÓN,

- A) QUE EXISTAN FACILIDADES DE ACCESO E INSTALACIÓN DE LA PRUEBA Y DEL DRENAJE.
- B) QUE SEA FÁCIL EFECTUAR LAS MEDICIONES
- C) QUE LOS DESPLAZAMIENTOS ENTRE PUNTOS SEAN FÁCILES Y RÁPIDOS.
- D) QUE EXISTA ENERGÍA ELÉCTRICA DISPONIBLE.

HAY QUE DISPONER DE UN CROQUIS DEL POZO CON SU LOCALIZACIÓN,

CORTES GEOLÓGICOS, CONSTRUCCIÓN DEL POZO, SONDEOS, PIEZÓMETROS, RÍOS, NORIAS, CANALES, LAGUNAS Y BARRANCOS CERCANOS, VÍAS DE COMUNICACIÓN Y DE ENERGÍA LOCALIZADOS ASÍ COMO EDIFICACIONES, OBSTÁCULOS Y FACILIDADES.

## PIEZOMETROS

EN UN ACUÍFERO, LAS OSCILACIONES PIEZOMÉTRICAS PUEDEN PRESENTAR VARIACIONES DE IMPORTANCIA, QUE GENERALMENTE SON ESTACIONALES O POR INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO ESTABLECIDOS Y DE LA RECARGA POR LLUVIA, O POR EFECTO DE MAREAS.

SIEMPRE SERÁ CONVENIENTE CONTAR CON LA MAYOR INFORMACIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO SOBRE LOS NIVELES Y VARIACIONES PIEZOMÉTRICAS DE LOS PUNTOS QUE SE UTILIZARÁN EN LA PRUEBA LO QUE PERMITIRÁ CONOCER, CUANDO; ES MAS ADECUADA SU REALIZACIÓN.

CONOCIENDO EN FORMA GENERAL LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS BAJO EL NIVEL PIEZOMÉTRICO, SE PUEDE EMPEZAR A PREVEER EL TIPO DE ACUÍFERO QUE PROBABLEMENTE EXISTA. EN EL CASO DE TENER RÍOS CERCANOS, CORRELACIONANDO LOS NIVELES CON LOS DE LAS CORRIENTES SUPERFICIALES, ES POSIBLE CONOCER SI ÉSTAS ESTÁN CONECTADAS Y RECARGAN AL ACUÍFERO EN FORMA DIRECTA.

EN GENERAL LOS PIEZÓMETROS SON "LA VENTANA AL ACUÍFERO", ES EL ACCESO QUE SE TIENE DESDE SUPERFICIE Y HACEN POSIBLE CONOCER LOS CAMBIOS QUE MANIFIESTAN LOS ACUÍFEROS AL ESTABLE-

DEBEREMOS VERIFICAR QUE NUESTRA SONDA PENETRE EN EL POZO HASTA EL NIVEL ESTÁTICO Y BAJA LIBREMENTE MÁS ALLÁ DE SU POSICIÓN, CON EL FIN DE NO TENER CONTRATIEMPOS DURANTE LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.

EN EL CASO DE CONTAR CON UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, PODREMOS REALIZAR LA PRUEBA ESCALONADA EFECTUANDO LOS CAMBIOS NECESARIOS EN LAS RPM DEL MOTOR, TENIENDO LA PRECAUCIÓN DE EFECTUAR ESTOS CAMBIOS RAPIDAMENTE Y ESTABILIZAR LAS REVOLUCIONES EN FORMA INMEDIATA, DE TAL FORMA QUE TENGAMOS LAS MENORES VARIACIONES EN LA OBTENCIÓN DE CADA UNO DE LOS GASTOS, DURANTE CADA CAMBIO PROYECTADO.

CUANDO LA OPERACIÓN ES EN BASE A UN MOTOR ELÉCTRICO, LO MÁS CONVENIENTE ES REALIZAR LA PRUEBA CON EL GASTO QUE ENTREGA LA BOMBA, PERO SI SE DESEA HACER UNA PRUEBA ESCALONADA, ES POSIBLE HACERLO, SI SE CUENTA CON UNA VÁLVULA A LA SALIDA QUE NOS PERMITA REGULAR EL GASTO ENTREGADO POR LA BOMBA, EN CUYO CASO SE DEBERÁN HACER ESTOS CAMBIOS ABRIENDO O CERRANDO LA VÁLVULA.

DEBEREMOS CONTAR CON UN PROCEDIMIENTO DE AFORO QUE PUEDA -- ADAPTARSE A LAS ESPECIALES SITUACIONES QUE ENCUENTRA UNO GENERALMENTE EN EL CAMPO Y QUE PERMITA OBTENER EL GASTO CON UNA PRECISIÓN ADECUADA.

Y DE SER POSIBLE EN EL SENTIDO DEL FLUJO SUBTERRÁNEO Y LEJOS DE LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN, A TRAVÉS DE CANALES, ARROYOS, BARRANCOS O TUBERÍAS. HAY QUE CUIDAR SOBRE TODO QUE EL AGUA NO RETORNE A TRAVÉS DE LAS PAREDES DEL POZO AL ACUÍFERO.

## MEDICION DE LOS NIVELES

SE MEDIRÁN LOS NIVELES CON LA DEBIDA ANTICIPACIÓN A LA PRUEBA DE REFERENCIA, CON SONDAS ELÉCTRICAS, VERIFICANDO EN CADA CASO SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO.

LAS LECTURAS DEBERÁN HACERSE CUIDADOSAMENTE, PROCURANDO QUE LA LECTURA TENGA LA PRECISIÓN DE UN CENTÍMETRO (O MENOS) Y CUIDANDO DE ANOTAR EL TIEMPO PRECISO DE LA LECTURA.

CUANDO EN UN MOMENTO NO HAYA PODIDO REALIZARSE LA MEDIDA EN EL TIEMPO PREVIAMENTE ESTABLECIDO, POR ALGÚN CONTRATIEMPO - DURANTE LA MEDICIÓN, SE PROCEDERÁ A REALIZARLA DE INMEDIATO A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA Y A ANOTAR EL CAMBIO DE TIEMPO - DE REALIZACIÓN, PONIENDO LA HORA EN QUE PRECISAMENTE SE REALIZÓ LA MEDICIÓN DEL NIVEL, ÉSTO ES MUY IMPORTANTE DE QUE SE ANOTE PORQUE EL PONER LOS ABATIMIENTOS OBSERVADOS EN TIEMPOS QUE NO LES CORRESPONDEN, NOS LLEVAN AL DESPLAZAMIENTO DE LA CURVA Y A UNA INTERPRETACIÓN ERRÓNEA, LO CUAL SE SUBSANA FÁCILMENTE DURANTE LA PRUEBA, REALIZANDO UNA MEDICIÓN ADICIONAL Y PONIENDO EL TIEMPO REAL, EN ESTA NUEVA MEDICIÓN ES MUY

IMPORTANTE DARLE LA ATENCIÓN DEBIDA A LO ANTERIOR.

LAS MEDICIONES QUE SE TOMAN DEBEN REALIZARSE EN TIEMPOS QUE QUEDEN REGULARMENTE DISTRIBUIDOS EN UNA ESCALA LOGARÍTMICA, LO ANTERIOR ES PORQUE SU INTERPRETACIÓN SE REALIZA AUXILIÁN<sup>DONOS</sup> EN EL VACIADO DE LOS DATOS A UNA ESCALA DE ESTE TIPO, POR LO QUE EN EL CASO DE UN BOMBEO DE POCAS HORAS Y HASTA - 72 HORAS PUEDE ADAPTARSE LA SIGUIENTE PERIODICIDAD EN LAS - MEDIDAS.

- 1° ANTES DE INICIAR EL BOMBEO
- 2° MARCAR EL TIEMPO EXACTO DEL INICIO DEL BOMBEO COMO TIEM<sup>PO</sup> CERO Y POSTERIORMENTE TOMAR LECTURAS QUE COINCIDAN - CON LOS SIGUIENTES TIEMPOS:

LA PRIMERA HORA (MIN.) 0, 0.5', 1', 1.5', 2', 3', 5', 7', - 10', 15', 20', 25', 30', 40', 50', 60', LUEGO EN HORAS (HR) 1, 1.5, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 24, LUEGO EN DÍAS (DÍAS) 1, 1.5, 2, 3.

COMO HICIMOS NOTAR ESTOS TIEMPOS PUEDEN SER MODIFICADOS UN POCO, TOMANDO NOTA DE LOS TIEMPOS REALES DE MEDICIÓN Y DE - ACUERDO A LA DURACIÓN DEL BOMBEO, SE DISEÑARÁ LA PRUEBA A-- DAPTANDOLA A LO ANTERIOR.

EL NÚMERO DE PERSONAS QUE SE UTILICEN DEPENDERÁ DE LOS PUN- TOS DE OBSERVACIÓN, TOMANDO EN CUENTA QUE UNA GENTE DEBERÁ

ENCARGARSE DE LA OBSERVACIÓN Y DEL MANTENIMIENTO DE LOS CAU-  
DALES EN UN RANGO QUE SEA CONSIDERADO RAZONABLEMENTE CONS--  
TANTE.

DEBERÁ CONTARSE CON EL PERSONAL NECESARIO DE ACUERDO AL NÚ-  
MERO DE PUNTOS DE MEDICIÓN QUE PUEDAN UTILIZARSE PARA SU OB-  
SERVACIÓN Y A SU LEJANÍA AL PUNTO DE BOMBEO, DEBIDO A QUE -  
SI SE ENCUENTRAN CERCA, SERÁN AFECTADOS RÁPIDAMENTE Y EL --  
RITMO DE LECTURA SE ACERCARÁ AL DE LA TOMA DE LECTURAS EN -  
EL POZO Y LOS PUNTOS ALEJADOS PODRÁN MEDIRSE A INTERVALOS -  
MAYORES PORQUE SU VARIACIÓN DE DESCENSOS TIEMPO SERÁ MENOR  
Y PROBABLEMENTE UNA SOLA PERSONA PUEDA REALIZAR MEDICIONES  
EN VARIOS PUNTOS EN UNA FORMA EFICIENTE.

ES ADECUADO LA TOMA DE LECTURAS DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERA-  
TURA AL INICIO DE LA PRUEBA Y A LO LARGO DE LA MISMA CON EL  
OBJETO DE DETECTAR ALGUNA COSA ANOMALA O ALGÚN CAMBIO DURAN  
TETE EL BOMBEO ASÍ COMO TOMAR LAS MUESTRAS DE AGUA CORRES--  
PONDIENTES A LOS TIEMPOS EN QUE SE OBSERVEN VARIACIONES QUE  
SE CONSIDEREN DE INTERÉS.

COMO PUEDE VERSE, ES MUY IMPORTANTE HACERLE VER AL PERSONAL  
QUE REALIZA LA PRUEBA, LA NECESIDAD DE TOMAR LAS MEDIDAS --  
CON TODA PRECISIÓN Y CUIDADO Y TENER LA SERIEDAD DE ANOTAR  
CUALQUIER CAMBIO QUE EXISTA CON RESPECTO AL PLAN INICIAL DE  
TOMA DE DATOS, SIENDO ÉSTO PARTE ESCENCIAL DE SU COMPORTA--

-MIENTO DURANTE LA PRUEBA.

ES NECESARIO HACER UN CROQUIS ANOTANDO LOS DATOS DE CADA PUNTO Y SU ELEVACIÓN SOBRE EL TERRENO NATURAL, ES MUY ADECUADO PARA LA INTERPRETACIÓN HIDROLÓGICA CUANDO ES POSIBLE; CONOCER LA COTA DEL BROCAL, PUESTO QUE NOS PERMITIRÁ CONOCER LA COTA DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.

LAS ANOTACIONES DURANTE LA PRUEBA SE HARÁN EN LA FORMA ANEXA PARA TAL FÍN.

CUANDO SE TRATA DE UN ENSAYO ESCALONADO ASCENDENTE O DESCENDENTE DEBERÁ TENERSE LA PRECAUCIÓN DE PROGRAMAR LA TOMA DE LECTURAS A PARTIR DE CADA CAMBIO CON EL MISMO PROCEDIMIENTO DADO PARA LA TOMA DESDE LA INICIACIÓN DE LA PRUEBA, PUESTO QUE LOS DATOS OBTENIDOS AL INICIO DE CADA CAMBIO Y DURANTE LOS PRIMEROS MINUTOS, SON DE GRAN IMPORTANCIA PARA LA INTERPRETACIÓN QUE SE HACE DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.

AL TÉRMINO DE CUALQUIER PRUEBA Y EL PARO DE LA BOMBA LO CONSIDERAREMOS COMO LA INICIACIÓN DE UNA PRUEBA DE RECUPERACIÓN (ASCENSO) QUE NOS PERMITE VERIFICAR Y OBTENER DATOS MÁS CERCANOS A LA REALIDAD, POR LO QUE DEBERÁ PROCEDERSE A LA TOMA DE LECTURAS CONFORME A LOS TIEMPOS MARCADOS PARA LAS DE INICIO DE CUALQUIER PRUEBA DE BOMBEO O AFORO Y CON LA SECUEN--

-CIA YA RECOMENDADA ANTERIORMENTE. SE DEBERÁN OBSERVAR LAS LECTURAS, QUE SERÁN TOMADAS HASTA CUANDO SE LOGRE LA COMPLETA RECUPERACIÓN O ESTABILIZACIÓN DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.

## HIDRAULICA DE CAPTACIONES

### CONCEPTOS FUNDAMENTALES

SE DESCRIBEN A CONTINUACIÓN ALGUNOS DE LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA DE CAPTACIONES.

ACUÍFERO LIBRE - ES DENOMINADO ASÍ CUANDO SU NIVEL DE SATURACIÓN ESTÁ SOMETIDO A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA (NIVEL FREÁTICO).

ACUÍFERO CAUTIVO - ES AQUEL EN EL QUE EL AGUA ESTÁ SOMETIDA A UNA PRESIÓN MAYOR QUE LA ATMOSFÉRICA, AL PERFORAR ESTE TIPO DE ACUÍFEROS, MANIFIESTAN LA PRESIÓN DE CONFINAMIENTO, EQUILIBRANDOSE DENTRO DEL POZO EN UN PUNTO QUE QUEDARÁ SOBRE EL TECHO DE CONFINAMIENTO O QUE PODRÁ LLEGAR A UN NIVEL SUPERIOR AL BROCAL, EN ÉSTE ÚLTIMO CASO SE LE DENOMINA "POZO ARTESIANO".

ACUÍFERO SEMICONFINADO - PRESENTA LAS MISMAS CONDICIONES DE CONFINAMIENTO YA DESCRITAS, PERO ADEMÁS RECIBE Y O TRANSMITE AGUA A TRAVÉS DE SUS NIVELES DE CONFINAMIENTO.

UN ACUÍFERO CONFINADO SOMETIDO A EXTRACCIÓN PUEDE PASAR A "LIBRE" AL BAJAR SU NIVEL PIEZOMÉTRICO MÁS ALLÁ DEL TECHO DE CONFINAMIENTO.

TRANSMISIVIDAD (T) - ES LA CAPACIDAD DE UN MEDIO PARA TRANSMITIR AGUA Y ES EL PRODUCTO DE LA PERMEABILIDAD (k) POR EL ESPESOR DEL ACUÍFERO (b)

$$T = kb$$

POROSIDAD EFICAZ (me) - ES EL VOLÚMEN DE AGUA OBTENIDA POR GRAVEDAD, DESPUÉS DE SATURAR UN MATERIAL GRANULAR.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S) - ES EL VOLÚMEN DE AGUA LIBERADO POR UNA COLUMNA DE ACUÍFERO, DE ALTURA IGUAL AL ESPESOR (b) Y DE SECCIÓN UNITARIA, AL DISMINUIR LA PRESIÓN EN UNA UNIDAD, EN ACUÍFEROS LIBRES, COINCIDE CON LA POROSIDAD EFICAZ.

FACTOR DE GOTEO (b) ES UTILIZADO EN EL CASO DE LOS ACUÍFEROS SEMICONFINADOS Y SE EXPRESA CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN.

$$B = \frac{k \cdot b}{K' / b'} = \frac{T}{K' / b'} = \frac{T}{C}$$

EN GENERAL SE EXPRESA EN METROS O EN CENTÍMETROS Y HABRÁ QUE ADECUAR ÉSTO A LAS UNIDADES USADAS.

COEFICIENTE DE GOTEO (c)

$$c = k'/b'$$

SIRVE PARA VALORIZAR LA RECARGA DEL ACUITARDO SEMICONFINANTE Y LA RECARGA ES PROPORCIONAL AL COEFICIENTE DE GOTEO Y A LA DIFERENCIA DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS DE LOS DOS ACUÍFEROS.

#### FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS

AL INICIAR EL BOMBEO DE UNA CAPTACIÓN, DE INMEDIATO SE ESTABLECE UN CONO DE ABATIMIENTO DE PRESIONES, CUYO RADIO DE INFLUENCIA SE VA EXTENDIENDO CON EL TIEMPO, MIENTRAS ÉSTO SUCEDE, SE ESTÁ EN UN RÉGIMEN NO PERMANENTE.

EN UN ACUÍFERO QUE NO RECIBE AGUA DIRECTAMENTE Y QUE SÓLO RECIBE LA QUE LE ES TRANSMITIDA, EL AGUA PROCEDERÁ DEL ALMACENAMIENTO Y POR LO TANTO EL RÉGIMEN SERÁ NO PERMANENTE Y TENDRÁ AL VACIADO, PERO DEBIDO A QUE EL RADIO DE INFLUENCIA TIENDE AL INFINITO, CRECE TAN LENTAMENTE QUE PARA FINES PRÁCTICOS SE ESTABILIZA.

ASÍ MISMO CUANDO EL ACUÍFERO RECIBE RECARGA DIRECTA POR LLUVIA Y LLEGA A EQUILIBRARSE CON EL VOLÚMEN DE EXTRACCIÓN SE ESTABLECE EL RÉGIMEN PERMANENTE.

CUANDO EL CONO DE ABATIMIENTO ALCANZA UN RÍO O FUENTE DE RE-  
CARGA SUPERFICIAL PUEDE ESTABLECERSE EL RADIO DE INFLUENCIA.

EN EL CASO DE SEMICONFINAMIENTO, AL CRECER EL RADIO DE IN-  
FLUENCIA PUEDE LLEGAR UN MOMENTO EN QUE EL ÁREA DEL CONO --  
SEA TAN IMPORTANTE, QUE UNA APORTACIÓN A TRAVÉS DEL ESTRATO  
SEMICONFINANTE AUNQUE SEA MUY PEQUEÑA, LLEGA A ESTABLECER -  
UN VERDADERO RÉGIMEN PERMANENTE.

EL RADIO DE INFLUENCIA QUE SE ESTABLECE, ESTÁ EN FUNCIÓN DE  
LA TRANSMISIVIDAD Y DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO, (QUE  
SON PARAMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO), ADEMÁS; DEL  
TIEMPO DE BOMBEO TRANSCURRIDO.

EN UN ACUÍFERO LIBRE CUYO COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO ES  
MUCHO MAYOR QUE EL DE UN ACUÍFERO CONFINADO, EL RADIO DE IN-  
FLUENCIA SERÁ MUCHO MENOR QUE EN EL CONFINADO POR EJEMPLO:

SUPONGAMOS UN ACUÍFERO LIBRE CON UN VALOR  $S = 0.2$  Y UN -  
ACUÍFERO CONFINADO CON  $S = 2 \times 10^{-4}$

$$R = 1.5 \frac{T \cdot t}{S}$$

CON UNA  $T = 1000 \text{ M}^2/\text{DIA}$

A UN DIA SE TENDRÁ

$$R = 1.5 \frac{1000 \times 1}{0.2} = 106 \text{ M}$$

$$R = 1.5 \frac{1000 \times 1}{2 \times 10^{-4}} = 3,354 \text{ M}$$

DEBIDO A LO ANTERIOR LAS CURVAS DE ABATIMIENTO QUE SE ESTABLECEN EN UN CASO Ó EN EL OTRO SON MUY DIFERENTES, LO PRIMERO QUE HAY QUE DEFINIR ES EL FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO EN ESTUDIO.

ACUIFERO            LIBRE  
                           CONFINADO  
                           SEMICONFINADO  
                           DE LIBRE A CONFINADO

DEBE DEFINIRSE EL RÉGIMEN EN QUE SE ENCUENTRA.

RÉGIMEN            PERMANENTE  
                           NO PERMANENTE

EN EL RÉGIMEN NO PERMANENTE EL DESCENSO DE NIVELES PROSEGUIRÁ CON EL TIEMPO Y FACILITARÁ EL ABATIMIENTO.

SE DEBEN ESTABLECER:

LIMITES DEL ACUIFERO

B A S E

ESTRATOS ACUIFEROS  
ESPESORES  
CAPAS CONFINANTES

CUANDO ES EVIDENTE LA EXISTENCIA DE BARRERAS, IMPERMEABLES O DE RECARGA, COMO PUEDE SER UN RÍO PERMANENTE, SE DEBEN HACER LAS CONSIDERACIONES NECESARIAS, YA QUE ESTABLECE LAS CURVAS DE ABATIMIENTO EN UN PUNTO FIJO CUANDO SE TRATA DE UNA RECARGA O DUPLICA LOS ABATIMIENTOS EN EL CASO DE SER BARRERA IMPERMEABLE, EN AMBOS CASOS ES NECESARIO APLICAR FORMULACIONES DIFERENTES Y QUE CORRESPONDEN A LA TEORÍA DE LAS IMÁGENES.

## MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

### GENERALIDADES

EL AGUA EN SU ESTADO NATURAL ESTÁ INVARIABLEMENTE EN MOVIMIENTO, EL CUAL ESTÁ GOBERNADO POR PRINCIPIOS HIDRÁULICOS ESTABLECIDOS. EL FLUJO A TRAVÉS DE ACUÍFEROS CON UNA POROSIDAD NATURAL PROMEDIO, PUEDE SER ESTIMADO UTILIZANDO LA LEY DE DARCY.

LA PERMEABILIDAD QUE ES UNA MEDIDA DE LA FACILIDAD DEL FLUJO A TRAVÉS DE LA FORMACIÓN Y ES UNA CONSTANTE MUY IMPORTANTE EN LA ECUACIÓN DEL FLUJO. LA PERMEABILIDAD PUEDE SER DETERMINADA EN EL LABORATORIO O EN PRUEBAS DE CAMPO, SE PUEDE OBTENER INFORMACIÓN ADICIONAL AL MOVIMIENTO DEL AGUA AGREGANDO SUBTANCIAS - QUE TRACEN EL MOVIMIENTO. DE LA LEY DE DARCY Y LAS ECUACIONES DE CONTINUIDAD PUEDEN DETERMINARSE LAS ECUACIONES DE FLUJO SUBTERRÁNEO.

### LEY DE DARCY

EN EL AÑO DE 1856 REPORTÓ LOS RESULTADOS DE SUS TRABAJOS REALIZADOS SOBRE EL FLUJO DE AGUA A TRAVÉS DE CAPAS HORIZONTALES DE ARENAS QUE TENÍAN COMO FINALIDAD EL FILTRAR AGUA, CONCLUYENDO QUE LOS EXPERIMENTOS LLEVADOS A CABO DEMOSTRABAN POSITIVAMENTE QUE EL GASTO DE AGUA QUE PASA A TRAVÉS DE UNA CAPA DE ARENA DE UNA NATURALEZA DETERMINADA, ERA DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL ÁREA  $A$  DE LA SUPERFICIE NORMAL AL ESCURRIMIENTO Y A LA DIFEREN

-CIA HO-H ENTRE CARGAS DE FLUÍDO EN LAS CARAS DE ENTRADA

LO QUE EXPRESADO EN TÉRMINOS GENERALES QUEDA:

$$Q = KA \frac{h}{s}$$

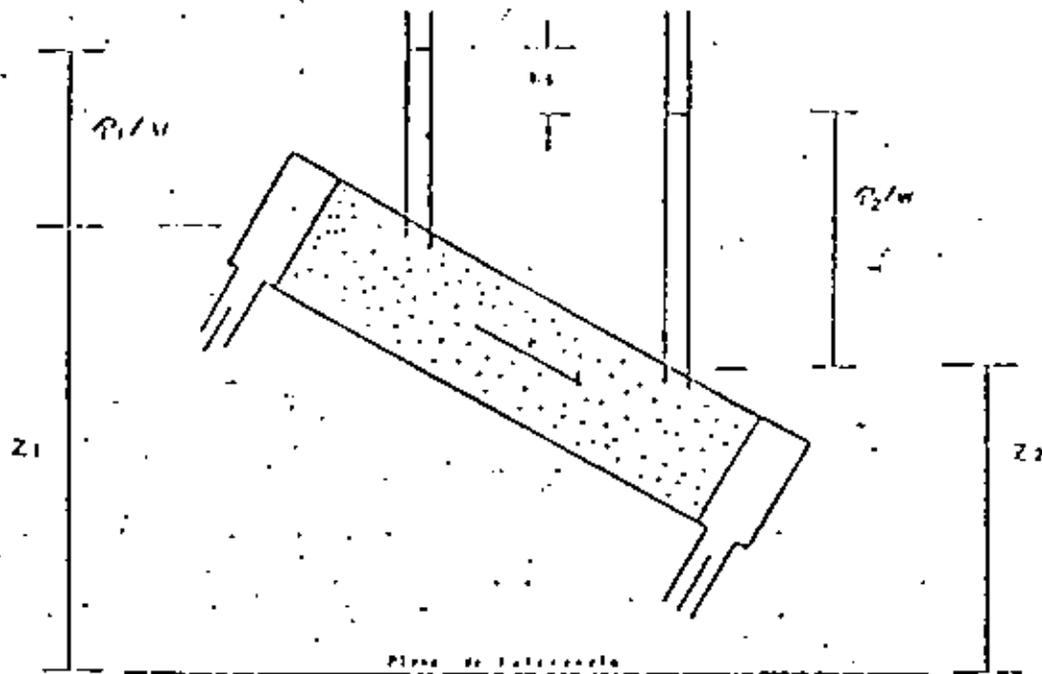
Y EN TÉRMINOS GENERALES:

$$Q = KA \frac{dh}{ds} \quad (\text{LEY DE DARCY})$$

$$Y \quad V = K \frac{dh}{ds} = Ki$$

DÓNDE  $\frac{dh}{ds}$  ES EL GRADIENTE HIDRÁULICO ( $i$ ), ÉSTA ÚLTIMA ECUACIÓN ES LA FORMA MÁS SIMPLE DE LA LEY DE DARCY, LA QUE POR SER DECRECIENTE ALGUNOS AUTORES LA PRESENTAN ANTECEDIENDOLA DEL SIGNO MENOS.

LA VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA LEY DE DARCY PUEDE SER REALIZADA CON UN GASTO QUE A TRAVÉS DE UN CILINDRO U OTRA SECCIÓN TRANSVERSAL EMPACADA CON ARENA Y CON PIEZÓMETROS A UNA DISTANCIA  $s$  COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA.



LA ECUACIÓN DE EQUILIBRIO EN LOS PUNTOS DE LECTURA PIEZOMÉTRICA SERÁN SEGÚN LA ECUACIÓN DE BERNOULLI:

$$\frac{P_1}{\omega} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\omega} + v_2^2 + z_2 + h_s$$

DONDE P ES LA PRESIÓN EN LOS PUNTOS,  $\omega$  ES EL PESO ESPECÍFICO DEL AGUA,  $\frac{v^2}{2g}$  LA CARGA DE VELOCIDAD, Z, LA CARGA DE POSICIÓN Y LA  $h_s$  LA SUMA DE PÉRDIDAS DE CARGA EN EL RECORRIDO ENTRE LOS PUNTOS 1 Y 2. EN VISTA DE QUE EN MATERIALES DE POROSIDAD MEDIA LA VELOCIDAD ES BAJA, LAS CARGAS DE VELOCIDAD PUEDEN DESPRECIARSE SIN INCURRIR EN UN ERROR APRECIABLE QUEDANDO COMO SIGUE:

$$h_s = \left( \frac{P_1}{\omega} + z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\omega} + z_2 \right)$$

POR LO QUE LA PÉRDIDA DE CARGA ES LA PÉRDIDA DE POTENCIAL DENTRO DEL CILINDRO DE ARENA DEBIDA A PÉRDIDAS DE FRICCIÓN, ENERGÍA QUE SE DISIPA EN FORMA DE CALOR SIENDO ESTO INDEPENDIENTE DE LA PENDIENTE QUE SE TENGA EN EL CILINDRO. LAS EXPERIENCIAS DE DARCY MUESTRAN QUE EL Q ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA  $hs$  O INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA DISTANCIA RECORRIDA S.

INTRODUCIENDO UNA CONSTANTE DE PROPORCIONALIDAD K TENEMOS:

$$Q = KA \frac{hs}{S}$$

QUE EXPRESADA EN TÉRMINOS GENERALES NOS DA:  $Q = KA \frac{dh}{ds}$

O EN FORMA MÁS SIMPLE:  $K \frac{dh}{ds}$

DONDE  $\frac{dh}{ds}$  ES IGUAL AL GRADIENTE HIDRÁULICO

POR LO QUE:  $v = ki$

LA VELOCIDAD DE FLUJO ES IGUAL AL PRODUCTO DE LA CONSTANTE K, CONOCIDA COMO EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD, POR EL GRADIENTE HIDRÁULICO, LA VELOCIDAD ES DEFINIDA POR EL COCIENTE OBTENIDO AL DIVIDIR EL Q DE DESCARGA ENTRE LA SECCIÓN TRANSVERSAL -- DEL ÁREA QUE ESTÁ DRENANDO, ÉSTAS LECTURAS PUEDEN TENER VARIACIONES ALREDEDOR DE UNA MEDIA. DEBE HACERSE NOTAR QUE EL FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SE VERIFICA DE ACUERDO AL GRADIENTE HIDRÁULICO.

ES COMÚN QUE SE MALINTERPRETE LA LEY DE DARCY Y SE CONSIDERE -- QUE PUEDE APLICARSE TANTO A FLUJO SUJETO A BAJA COMO A ALTA --

PRESIÓN, PARA FLUJO HORIZONTAL CUANDO  $z_1 = z_2$  PUEDE SER APLICADO, PERO EN UN FLUJO INCLINADO DONDE EL FLUJO SE ESTABLECE - HACIA LOS PUNTOS DE MAYOR PRESIÓN EXISTEN VARIACIONES.

RANGO DE VALIDEZ DE LA LEY DE DARCY - EN UNA ROCA DE INTERSTICIOS PEQUEÑOS, LAS FISURAS PUEDEN SER COMPARADAS A TUBOS CAPILARES IRREGULARES SINUOSOS, DE GRAN LONGITUD Y LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN DEPENDE DE LA PÉRDIDA DE CARGA PROVOCADA POR LA CAPILARIDAD Y LA NATURALEZA MÁS O MENOS RUGOSA DE LOS POROS.

CON LA APLICACIÓN DE LA LEY DE FILTRACIÓN DE POISEVILLE (FRANCIA) PARA LAS ARENAS, SE TIENE:

$$v = \frac{KH}{L} = ki$$

- EN DONDE
- V = VELOCIDAD DE FILTRACIÓN
  - H = PÉRDIDA DE CARGA ENTRE LAS DOS EXTREMIDADES DE FILTRO.
  - L = LONGITUD O ESPESOR DE LA MUESTRA
  - i = PÉRDIDA DE CARGA POR UNIDAD DE LONGITUD DEL FILTRO, O SEA EL GRADIENTE HIDRÁULICO.
  - K = COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD QUE DEPENDE DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO: LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN PARA UN GRADIENTE IGUAL A LA UNIDAD (CM/SEG. EN LABORATORIO Y M./SEG. SOBRE EL TERRENO).

PARA UN ESCURRIMIENTO LAMINAR EN UNA FORMACIÓN CON POROSIDAD - MEDIASE PUEDE DECIR QUE LA LEY DE DARCY PUEDE APLICARSE DE MA-

-NERA EFECTIVA. EN EL CASO CONTRARIO DE GRANDES FISURAS EXISTE UN ESCURRIMIENTO TURBULENTO Y LA LEY DE DARCY NO ES APLICABLE.

EN EL CAMPO, LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD SON SUMAMENTE ALTOS; DE  $10^{-1}$  CM/SEG. PARA LAS ARENAS GRUESAS, HASTA  $10^{-10}$  CM/SEG. EN LOS LIMOS ARCILLOSOS, POR ESTO SE DEBE TENER EN CUENTA EL ORDEN DE MAGNITUD DE ESTE COEFICIENTE MÁS -- QUE SU VALOR REAL. POR EJEMPLO: 30 A 50% DE VARIACIONES EN UNA MEDIDA NO AFECTA EL ORDEN DE MAGNITUD DE PERMEABILIDAD DE UNA ROCA, UNA VARIACIÓN ARRIBA DEL 200% YA ES NOTABLE.

#### MEDICION DE LA PERMEABILIDAD

EL COEFICIENTE K DEPENDE DE VARIOS FACTORES:

- A) DE LA FORMA DEL MATERIAL
- B) DEL TAMAÑO DE LOS ELEMENTOS DEL SUELO Y SU GRANULOMETRÍA.
- C) DE LA CONSTITUCIÓN PETROGRÁFICA
- D) DE LA ESTRUCTURA O ACOMODO
- E) DE LA TEMPERATURA

LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN QUE SE CONOCEN, SON DE DOS CLASES:

- A) EN EL LABORATORIO, CON FORMULAS RELACIONADAS CON LA GRANULOMETRÍA O DIRECTAMENTE CON LOS PERMEÁMETROS, (DERIVADOS DEL APARATO DE DARCY) DE CARGA CONSTANTE O VARIABLE.
- B) EN EL CAMPO CON PROCEDIMIENTOS DE INYECCIÓN DE AGUA CON CARGAS CONSTANTES O VARIABLES Y CON PRUEBAS DE BOMBEO, UTILIZANDO LOS PROCEDIMIENTOS LUGEON Y LEFRANC.

EL MÉTODO LUGEON SE UTILIZA EN ROCAS APLICANDO PRESIONES VARIABLES ASCENDENTES Y DESCENDENTES Y MIDIENDO LOS VOLÚMENES QUE TOMA LA FORMACIÓN EN LAPROS DETERMINADOS DE TIEMPO, EN UNIDADES LUGEON.

EL MÉTODO LEFRANC SE UTILIZA PARA ENSAYOS INSITU DE ROCAS GRANULARES O ALTERADAS Y MATERIALES POCO O NO CONSOLIDADOS, CON CARGA VARIABLE, MIDIENDO EL ABATIMIENTO EN INTERVALOS DE TIEMPO CONSTANTE Y CON CARGA CONSTANTE MIDIENDO EL GASTO TOMADO EN LAPROS DE TIEMPO CONSTANTE.

EL MÉTODO MÁS CONFIABLE PARA ESTIMAR LA PERMEABILIDAD DE UN ACUÍFERO ES EL DE PRUEBAS DE BOMBEO QUE ESTÁ BASADO EN LOS ABATIMIENTOS OBSERVADOS DURANTE EL BOMBEO Y LA RECUPERACIÓN DE LOS NIVELES UNA VEZ SUSPENDIDO ÉSTE, CON LOS DATOS QUE SE TOMAN SE PUEDE OBTENER LA PERMEABILIDAD REPRESENTATIVA DEL ACUÍFERO ATRAVEZADO.

DEBIDO A QUE LA FORMACIÓN NO ES ALTERADA O NO REPRESENTATIVA -  
COMO SUELE SUCEDER EN EL CASO DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO, -  
POR LO TANTO, LA DETERMINACIÓN DE ÉSTA FORMA ES MAS PRECISA, -  
AUNQUE LA DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD A TRAVÉS DE LOS --  
OTROS MÉTODOS DE CAMPO O LABORATORIO ES MÁS ECONÓMICA.

## CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRANEA

### DESCRIPCION

LAS OBRAS QUE SE REALIZAN PARA CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS  
NOS PERMITEN EXTRAER EL AGUA CONTENIDA EN UN ACUÍFERO, YA SEA  
POR GRAVEDAD, BOMBEO O POR CUALQUIER OTRO MEDIO DE ELEVACIÓN,  
EN EL CASO DE POZOS DE RECARGA O DE ABSORCIÓN PODEMOS CONSIDE-  
RAR QUE REALIZAN LA FUNCIÓN OPUESTA.

### TIPOS DE CAPTACIONES SUBTERRANEAS

CAPTACIONES NATURALES. EN ESTE TIPO TENEMOS LOS MANANTIALES,  
LOS RÍOS CUANDO ACTUAN COMO DESCARGA DE ACUÍFEROS O COMO CANA-  
LES DE RECARGA, LAGOS O LAGUNAS CONECTADAS DIRECTAMENTE AL A--  
CUÍFERO.

CAPTACIONES ARTIFICIALES. LA MÁS COMÚN DE ESTE TIPO ES LA VER-  
TICAL A TRAVÉS DE UN POZO, AUNQUE TAMBIÉN EXISTEN OTRAS DE IN-  
TERÉS COMO GALERÍAS FILTRANTES Y DRENES.

## HIDRAULICA DE LAS CAPTACIONES

PARÁMETROS DE LOS ACUÍFEROS. PERMEABILIDAD (K) SE DEFINE COMO LA MEDIDA DE LA FACILIDAD DEL FLUJO A TRAVÉS DE LA FORMACIÓN.

CUANDO SE HABLA DE PERMEABILIDAD SE ENTIENDE QUE NOS REFERIMOS A AQUELLA QUE QUEDA DENTRO DEL RANGO DE VALIDEZ DE LA LEY DE Darcy (RÉGIMEN LAMINAR)

LA PERMEABILIDAD PUEDE SER HORIZONTAL  $k_h$  Y VERTICAL  $k_v$  Y SE EXPRESA EN M/DÍA, CM/SEG.

TRANSMISIVIDAD O TRANSMISIBILIDAD (T). ES LA CAPACIDAD DE UN MEDIO, EN ESTE CASO LA FORMACIÓN GEOLÓGICA DE QUE SE TRATE, PARA TRANSMITIR AGUA. ES EL PRODUCTO DE LA PERMEABILIDAD POR EL ESPESOR DEL ACUÍFERO  $T = k \cdot b$ , SI LA PERMEABILIDAD VARÍA  $T$  SERÁ LA INTEGRAL DE  $k/d_b$  DE 0 A  $b$ , SE EXPRESA EN M<sup>2</sup>/DÍA Ó CM<sup>2</sup>/SEG.

POROSIDAD EFICAZ ( $m_e$ ). ES EL VOLÚMEN DE AGUA QUE SE OBTIENE POR DRENAJE GRAVITACIONAL DE UN MATERIAL PREVIAMENTE SATURADO, EN RELACIÓN CON EL VOLÚMEN DE LA MUESTRA, ES ADIMENSIONAL Y NO DEBE CONFUNDIRSE CON LA POROSIDAD TOTAL.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S). ES EL VOLÚMEN DE AGUA LIBERADO POR UNA COLUMNA DE ACUÍFERO DE ALTURA IGUAL AL ESPESOR DEL MISMO Y DE SECCIÓN UNITARIA AL DISMINUIR LA PRESIÓN EN UNA

UNIDAD, EN ACUÍFEROS LIBRES COINCIDE CON LA POROSIDAD EFICAZ Y SU VALOR PUEDE OSCILAR ENTRE 0.01 A 0.4 EN ACUÍFEROS CAUTIVOS EL VALOR TIENE MENORES ÓRDENES DE MAGNITUD Y SE ENCUENTRA GENERALMENTE ENTRE  $10^{-3}$  Y  $10^{-5}$ , ES ADIMENSIONAL.

FACTOR DE GOTEADO (B). ES UTILIZADO EN EL CASO DE LOS ACUÍFEROS SEMICONFINADOS Y SE EXPRESA CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN.

$$B = \frac{K - b}{K'/b'} = \frac{I}{K'/b'} = \frac{I}{c}$$

EN GENERAL SE EXPRESA EN METROS O EN CENTÍMETROS Y HABRÁ QUE ADECUAR ÉSTO A LAS UNIDADES USADAS.

COEFICIENTE DE GOTEADO (c)

$$c = K' / b'$$

SIRVE PARA VALORIZAR LA RECARGA DEL ACUITARDO SEMICONFINANTE Y LA RECARGA ES PROPORCIONAL AL COEFICIENTE DE GOTEADO Y A LA DIFERENCIA DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS DE LOS DOS ACUÍFEROS.

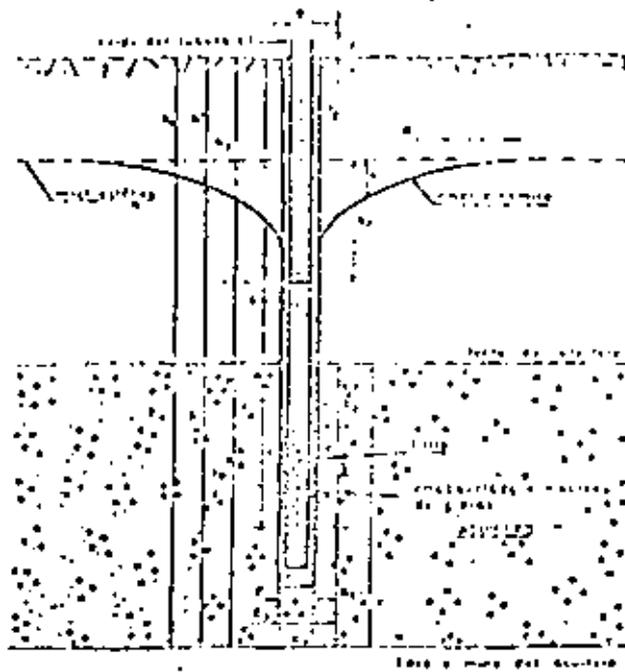


FIGURA 9.2  
 Niveles piezométricos de un pozo y de un bombeo  
 de un pozo.

$r_p$  = RADIO DEL POZO

$R$  = RADIO DE INFLUENCIA

$H$  = ALTURA DEL AGUA SOBRE LA BASE DEL ACUÍFERO

$H_0$  = ALTURA DEL AGUA ANTES DEL BOMBEO

=  $H_0 - H$  = DESCENSO (ASCENSO EN CASO DE RECARGA)

$p$  = DESCENSO EN EL POZO

$h_0$  = NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL

$h$  = NIVEL PIEZOMÉTRICO EN UN PUNTO

$d'$  = DIÁMETRO DEL ADEME

$d_p$  = DIÁMETRO DEL POZO

$h_0$  = ALTURA DEL TERRENO NATURAL SOBRE EL NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL,

$h$  = ALTURA DEL T.N. SOBRE EL NIVEL PIEZOMÉTRICO EN UN PUNTO

$h_p$  = ALTURA DEL T.N. SOBRE EL NIVEL PIEZOMÉTRICO EN EL POZO

$\lambda$  = LONGITUD FILTRANTE

$a_1$  = DISTANCIA DE LA PARTE INFERIOR DE LA PARTE FILTRANTE A LA BASE DEL ACUÍFERO.

$a_2$  = DISTANCIA DE LA PARTE SUPERIOR DE LA PARTE FILTRANTE AL TECHO DEL ACUÍFERO Ó A LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA.





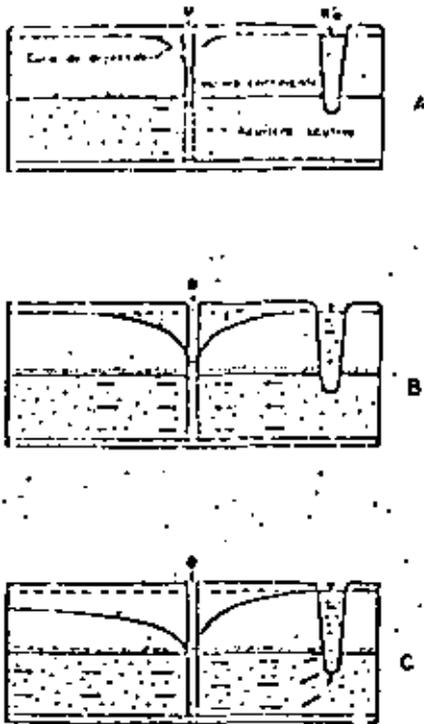


FIGURA 9.8

Evolución de los niveles piezométricos en un pozo próximo a un río.

- A) Cono de depresión al poco tiempo de iniciarse el bombeo. El régimen es no permanente.
- B) Cono de depresión en el momento de alcanzar al río e iniciarse la recarga inducida. El régimen es aún no permanente.
- C) Cono de depresión estabilizado. Régimen permanente. Todo el caudal del pozo es suministrado por el río (recarga inducida).

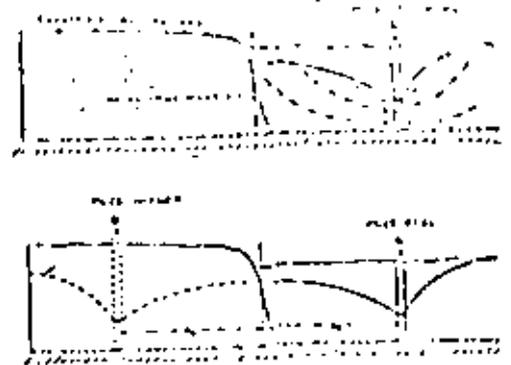
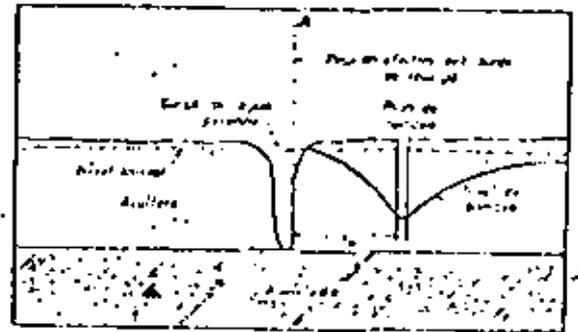


FIGURA 9.61

Efecto de un borde impermeable. Foto modelo.



Esquema real

Esquema ideal

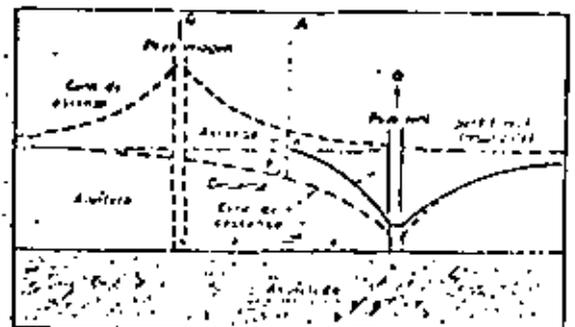


FIGURA 9.56

Efecto de un borde de recarga sobre un pozo de l. c. c. Aproximación del pozo imagen.

## FORMULAS ELEMENTALES DE POZOS COMPLETOS A CAUDAL CONSTANTE

## CONCEPTOS BÁSICOS

SE TRATA DE FORMULAS QUE SUPONEN LA EXISTENCIA DE LAS SIGUIENTES CONDICIONES.

SE TRATA DE UN ACUÍFERO INFINITO Y DE UN POZO EN EL CENTRO DE UNA ISLA CIRCULAR.

SE SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

- 1) EL ACUÍFERO ES HOMOGÉNEO E ISOTROPO, EL AGUA ES DE DENSIDAD CONSTANTE
- 2) EL ESPESOR DEL ACUÍFERO ES CONSTANTE Y SU BASE ES HORIZONTAL.
- 3) NO EXISTE FLUJO NATURAL
- 4) QUE EL FLUJO ES RADIAL Y HORIZONTAL
- 5) QUE SE CUMPLEN EN TODO EL TIEMPO LAS CONDICIONES DE VALIDEZ DE LA LEY DE DARCY.
- 6) EL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO ES CONSTANTE EN EL ESPACIO Y EN EL TIEMPO Y QUE EN EL CASO DE ACUÍFEROS CAUTIVOS Y SEMICONFINADOS NUNCA PASARÁN A FUNCIONAR COMO LIBRES.
- 7) QUE EL AGUA LIBERADA DEL ALMACENAMIENTO APARECE SIMULTÁNEAMENTE Y PROPORCIONAL A LA DISMINUCIÓN DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.

- 8) QUE EL ACUÍFERO ES DE EXTENSIÓN INFINITA Y QUE EN EL MISMO NO EXISTEN OTRAS CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y QUE EL DESCENSO EN EL INFINITO ES CERO.
- 9) QUE EL POZO ES COMPLETO
- 10) EL RÉGIMEN VARIABLE SE ADMITE QUE EL RADIO DEL POZO ES SUFICIENTEMENTE PEQUEÑO Y ADEMÁS QUE LA VARIACIÓN DEL VOLUMEN ALMACENADO EN EL MISMO NO INFLUYE EN EL CAUDAL DE BOMBEO.
- 11) QUE NO EXISTE PÉRDIDA DE CARGA DE PENETRACIÓN DEL AGUA EN EL POZO.
- 12) QUE EL CAUDAL DE BOMBEO ES CONSTANTE.

TODOS LOS SUPUESTOS ANTERIORES EN LA PRÁCTICA SON ADMISIBLES CUANDO EXISTEN DESVIACIONES PEQUEÑAS

EL ORIGEN DEL TIEMPO ES EL MOMENTO DE INICIO DEL BOMBEO Y EL ORIGEN DE DISTANCIAS HORIZONTALES ES EL EJE DEL POZO, LA BASE DEL ACUÍFERO ES EL NIVEL CERO DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS.

## POZO EN UN ACUIFERO CAUTIVO Y REGIMEN PERMANENTE

SE SUPONE QUE NO SE RECIBE NINGUNA APORTACIÓN A LA RECARGA A TRAVÉS DE LOS NIVELES CONFINANTES.

SE CONSIDERA QUE SE CUMPLEN TODAS LAS HIPÓTESIS YA SEÑALADAS.

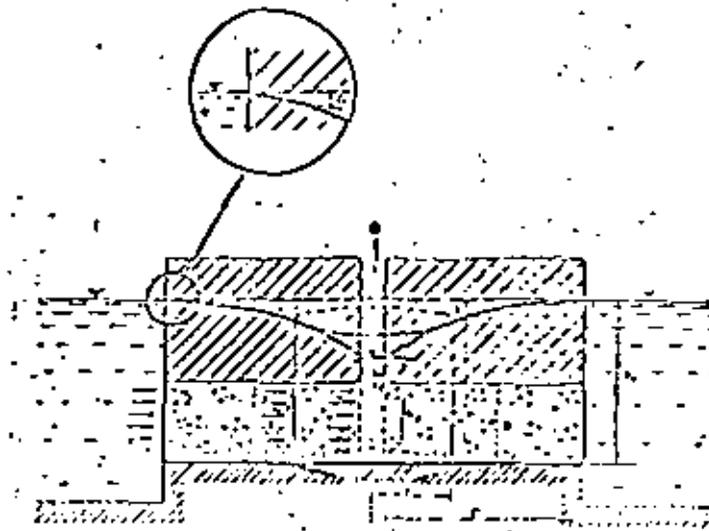


FIGURA 5.10

Pozo en acuífero cautivo en el centro de una isla circular

$$\begin{aligned} \text{FLUJO} &= \text{PERÍMETRO} \cdot \text{TRANSMISIVIDAD} \cdot \text{GRADIENTE} \\ &= \text{CAUDAL DEL POZO} \\ \text{FLUJO} &= 2\pi r \cdot T \cdot \frac{dh}{dr} = Q \end{aligned}$$

SIENDO:

$r$  = RADIO DEL CILINDRO CONSIDERADO = DISTANCIA RADIAL AL EJE DEL POZO

$h$  = NIVEL PIEZOMÉTRICO CORRESPONDIENTE AL CILINDRO CONSIDERADO.

$T$  = TRANSMISIVIDAD

$Q$  = CAUDAL EXTRAIDO

RESOLVIENDO LA ECUACIÓN SE TIENE

$$dh = \frac{Q}{2\pi T} \frac{dr}{r}$$

$$h = \frac{Q}{2\pi T} \ln r + A \quad A=\text{Constante}$$

RESOLVIENDO LA ECUACIÓN PARA  $h_1$  Y  $r_1$  Y RESTANDO LAS ECUACIONES SE ELIMINA LA CONSTANTE  $A$  Y SE TIENE QUE:

$$h_1 - h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_1}{r} \quad \text{FORMULA DE THIEM (1906)}$$

LA CAUDAL PERMITE DETERMINAR LA FORMA DE LA SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA CONOCIDA SU POSICIÓN EN UN PUNTO A UN CAUDAL DETERMINADO

SI COLOCAMOS EL POZO EN EL CENTRO DE LA ISLA Y SUBSTITUIMOS EL PUNTO 1 POR LAS CONDICIONES DE CONTORNO TENEMOS QUE:

$h_0$  ES EL NIVEL CONSTANTE DEL AGUA LIBRE EN EL EXTREMO DE LA ISLA Y QUE:

$R$  = ES EL RADIO DE LA ISLA,

LLEGAMOS A:

$$h_0 - h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad (1)$$

SIENDO  $h_0$  EL DESCENSO YA QUE  $h_0$  ES EL NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL.

R ES EL RADIO DE INFLUENCIA

EN EL CASO DE LA ISLA EXISTE FLUJO EN EL BORDE, EN UN ACUÍFERO CAUTIVO.

$$h_1 - h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_1}{r} \quad (\text{FORMULA DE THIEM 1906})$$

LA CUAL PERMITE DETERMINAR LA FORMA DE LA SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA CONOCIDA SU POSICIÓN EN UN PUNTO A UN CAUDAL DETERMINADO.

SI COLOCAMOS EL POZO EN EL CENTRO DE LA ISLA Y SUBSTITUIMOS EL PUNTO 1 POR LAS CONDICIONES DE CONTORNO TENEMOS QUE:

$h_0$  ES EL NIVEL CONSTANTE DEL AGUA LIBRE EN EL ESTREMO DE LA ISLA Y QUE:

R ES EL RADIO DE LA ISLA

LLEGAMOS A

$$h_0 - h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad (1)$$

SIENDO  $h_0$  EL DESCENSO YA QUE NO ES EL NIVEL PIEZOMETRICO INICIAL.

R ES EL RADIO DE INFLUENCIA

EN EL CASO DE LA ISLA EXISTE FLUJO EN EL BORDE, EN UN ACUÍFERO CAUTIVO INFINITO AL NO EXISTIR RECARGA NO PUEDE ESTABLECERSE TEÓRICAMENTE EL RÉGIMEN PERMANENTE PERÓ PARA FINES PRÁCTICOS CUANDO EL RADIO DE INFLUENCIA SE EXTIENDE LO SUFICIENTE SE ALCANZA UN RÉGIMEN CASI ESTACIONARIO.

$$h_0 - h_p = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_p}$$

POZO EN UN ACUÍFERO CAUTIVO Y RÉGIMEN NO PERMANENTE. CONSIDERANDO QUE EN EL INFINITO DEL ACUÍFERO NO SE PRODUCE DESCENSO ALGUNO, TENEMOS QUE  $h = h_0$  PARA  $r = \infty$  SIENDO  $h_0$  EL NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL,

TENEMOS ENTONCES QUE

$$\lim_{r \rightarrow \infty} 2\pi r \cdot T \frac{\partial h}{\partial r} = Q$$

SE SUPONE QUE EL ALMACENAMIENTO EN EL POZO ES DESPRECIABLE ASÍ COMO EL DESCENSO GENERADO EN SU NIVEL INTERIOR A CONSECUENCIA DEL DESCENSO REGIONAL DE NIVEL Y QUE  $h=h_0$  PARA CUALQUIER TIEMPO ANTERIOR AL INICIO DEL BOMBEO, LA RESOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL CONDUCE A

$$h_0 - h = s = \frac{Q}{4\pi T} w(u) \quad \text{FORMULA DE THEIS (1935)}$$

SIENDO:

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x} x}{x} dx \quad \text{con} \quad u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

FUNCIÓN TABULADA Y GRAFICADA QUE PRESENTAMOS A CONTINUACIÓN:

Y QUE PUEDE SER UTILIZADA PARA ENCONTRAR SU VALOR POR EL MÉTODO DE COINCIDENCIA.

u	W(u)	u	W(u)
10 <sup>-11</sup>	34	10 <sup>-1</sup>	15,7
10 <sup>-10</sup>	31,6	10 <sup>-2</sup>	13,0
10 <sup>-9</sup>	29,3	10 <sup>-3</sup>	10,7
10 <sup>-8</sup>	27,0	10 <sup>-4</sup>	8,7
10 <sup>-7</sup>	24,7	10 <sup>-5</sup>	7,1
10 <sup>-6</sup>	22,4	10 <sup>-6</sup>	5,8
10 <sup>-5</sup>	20,1	10 <sup>-7</sup>	4,7
10 <sup>-4</sup>	17,8	1	0,7

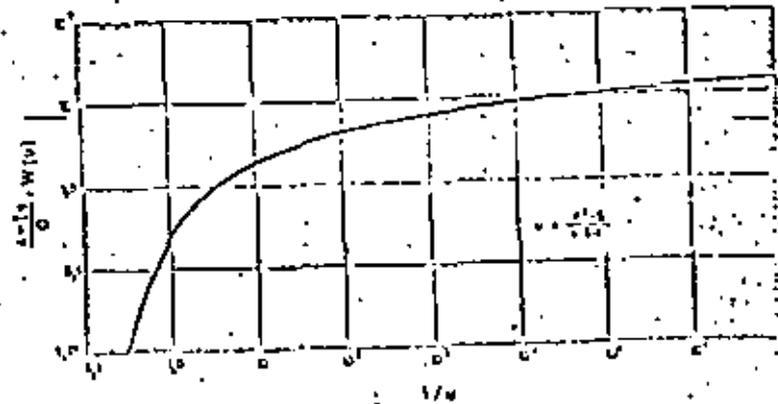


FIGURA 9.12

Función de pozo en acuífero,  $W(u)$ , en función de  $1/u$ . Curva tipo de Theis.

Cuando el valor de  $u$  es 0.03 puede utilizarse la aproximación de Jacob

$$s = \frac{Q}{2 \pi T} \ln \frac{2.2 \cdot T \cdot t}{r^2 S}$$

que es idéntica a la fórmula de Thiem si se escribe

$$R = \frac{2.25 T \cdot t}{S}$$

$$R = 1.5 \frac{T \cdot t}{S}$$

donde se observa la variación del radio de influencia con el tiempo

Graficando tiempos contra abatimientos tendremos la siguiente gráfica:

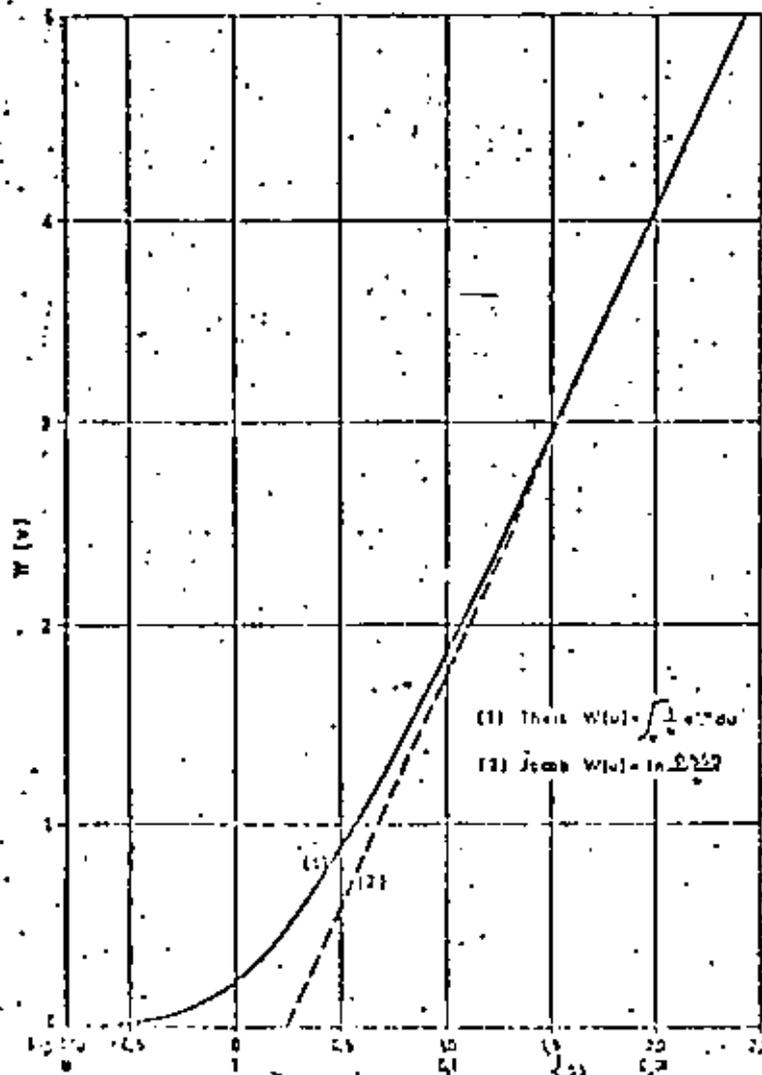


Figura 9.13

Comparación de la fórmula de Thiem y de la aproximación de Jacob.

GRÁFICA QUE NOS PERMITE CALCULAR LOS PARÁMETROS DEL ACUÍFERO A PARTIR DE LA PENDIENTE DE LA RECTA OBTENIDA DESPUÉS DE LA CURVA DE LA ZONA DE NO VALIDEZ DE LA APROXIMACIÓN DE JACOB:

EN ACUÍFEROS DE RÉGIMEN PERMANENTE,

TOMANDO EL VALOR DEL ABATIMIENTO EN UNA DÉCADA DE TIEMPOS,

( $\Delta s$ )<sub>10</sub>, SU VALOR NOS DARÁ

$$(\Delta s)_{10} = 0.366 \frac{Q}{T}$$

Y POR LO TANTO

$$T = 0.366 \frac{Q}{(\Delta s)_{10}}$$

LA APROXIMACIÓN DE JACOB ES VÁLIDA PARA OBSERVACIONES EN EL POZO O CERCA DEL POZO MISMO Y PARA TIEMPOS CORTOS.

POZOS EN ACUÍFEROS SEMICONFINADOS

FÓRMULA DE DE GLEE (JACOB-HANTUSH)

$$\Delta = \frac{Q}{2\pi T} K_0 (r/B)$$

SIENDO

$$B = \sqrt{\frac{T}{K' / b'}}$$

B = COEFICIENTE DE GOTEO

K' = PERMEABILIDAD DEL ACUÍFARDO

b' = ESPESOR DEL ACUÍFARDO

EN LAS PROXIMIDADES DEL POZO PUEDE ADMITIRSE QUE

$$s = \frac{T}{2 \pi T'} \ln \frac{1,123 B}{r}$$

QUE ES VÁLIDA PARA  $r/B < 0.1$  Y A EFECTOS PRÁCTICOS CON UN ERROR DEL 1% PARA  $r/B < 0.33$

EN ESTA FÓRMULA VEMOS QUE CUANDO  $R = 1.123 B$

ES IDÉNTICA A LA FÓRMULA DE THIEM SIENDO R INDEPENDIENTE -- DEL TIEMPO, HABIÉNDOSE POR LO TANTO, ESTABLECIDO UN RÉGIMEN - ESTACIONARIO AUNQUE EN REALIDAD ÉSTO NO ES ESTRICTAMENTE CIER TO, AUNQUE PARA FINES PRÁCTICOS PUEDE ADMITIRSE, DEBIDO A QUE  $s = 0$  SÓLO CUANDO  $r = R$ , POR LAS CONDICIONES DE CONTORNO ESTABLECIDAS EN LA RESOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN.

POZOS EN ACUÍFEROS LIBRES

FÓRMULA DE DUPUIT:

$$H_1^2 - H^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{r_1}{r}$$

SI  $h_1$  ES IGUAL AL ESPESOR INICIAL  $H_0$ ,  $r_1 = R$  Y TENEMOS QUÉ:

$$H_0^2 - H^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r}$$

$$R = 1.5 \sqrt{\frac{T t}{m}}$$

$m$  = POROSIDAD EFICAZ

SI LOS DESCENSOS PROVOCADOS DURANTE EL BOMBEO DEL POZO SON PEQUEÑOS RESPECTO AL ESPESOR SATURADO O SEA SI  $H_0 - H \ll H_0$  SE TENDRÁ QUE  $H_0^2 - H^2 = (H_0 + H)(H_0 - H) = 2 H_0 \cdot \Delta$

LUEGO

$$\Delta = \frac{Q}{2\pi K \cdot H_0} \ln \frac{R}{r} = \frac{Q}{2\pi T_0} \ln \frac{R}{r}$$

EN LA FÓRMULA DE DUPUIT PARA

$H = H_p$  y  $r = r_p$  tenemos:

$$H_0^2 - H_p^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r_p}$$

FORMA QUE NOS DÁ LA SUPERFICIE TEÓRICA DENTRO DEL POZO AUNQUE NO LA SUPERFICIE REAL LIBRE DEL AGUA, LA QUE TENDRÁ DESVIACIONES GRANDES CERCA DEL POZO AUMENTADAS POR LA APARICIÓN DE LA SUPERFICIE DE GOTEÓ, HAY QUE HACER NOTAR QUE CON DESCENSOS PEQUEÑOS COMO SE INDICA EN LA APROXIMACIÓN LA CURVA PIEZOMÉTRICA COINCIDE CON LA SUPERFICIE TEÓRICA NO ASÍ CUANDO EL DESCENSO ES IMPORTANTE CON RESPECTO AL ESPESOR DEL ACUÍFERO.

JACOB EFECTUÓ LA SIGUIENTE CORRECCIÓN

CORRECCIÓN DE JACOB (1969)

QUE PERMITE TRATAR UN ACUÍFERO LIBRE COMO UN ACUÍFERO CAUTIVO  
CON SÓLO CORREGIR LOS DESCENSOS LLEGANDO A

$$\frac{H_0^2 - H^2}{2 H_0} = \frac{s^2}{2 H_0} = s_c$$

SIENDO  $s_c$  EL DESCENSO CORREGIDO

CON LO QUE LA FÓRMULA DE DUPUIT SE TRANSFORMA A:

$$s_c = \frac{Q}{2\pi K H_0} \ln \frac{R}{r} = \frac{Q}{2\pi T_0} \ln \frac{R}{r}$$

POZOS EN ACUÍFEROS CAUTIVOS EN RÉGIMEN NO PERMANENTE.

## Fórmula de Theis

$$h_0 - h = s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u)$$

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx \quad \text{con } u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

## Aproximación de Jacob

para valores de  $u$ , pequeños ( $u < 0.03$ )

aunque basta con que  $u < 0.1$

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} \ln \frac{2.25 T t}{r^2 S}$$

esta aproximación puede asimilarse a

$$s = \frac{Q}{2 \pi T} \ln \sqrt{\frac{2.25 T t}{S r^2}}$$

Acuífero cautivo en  
régimen no permanen-  
te.

que comparada con la forma:

$$s = \frac{Q}{2 \pi T} \ln \frac{R}{r}$$

Acuífero cautivo en  
régimen permanen-  
te.

de donde vemos que en el régimen no permanente el valor de  $R$  es el siguiente:

$$R = \sqrt{\frac{2.25 T t}{S}}$$

$$R = \sqrt{\frac{T t}{S}}$$

Fórmula en la que se observa la variación del valor del radio de influencia con respecto al tiempo y no solo de acuerdo a los valores de los parámetros del acuífero, para fines prácticos, llega un momento en que su variación es tan pequeña con respecto al tiempo, que podemos considerar que su valor coincide con el observado.

Pozos en acuíferos semiconfinados en régimen no permanente.

Fórmula de Hantush

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u, \frac{r}{B})$$

$$W(u, \frac{r}{B}) = \int_u^{\infty} \frac{1}{y} \exp\left(-y - \frac{r^2}{4B^2y}\right) dy$$

La transmisividad varía en el espacio y en el tiempo, en principio pueden aplicarse las fórmulas de Theis y Jacob con el valor de  $T = k \cdot H_0$  y el de  $S$  igual a la porosidad eficaz efectuando la corrección de Jacob que será aceptable — hasta para los valores de  $d/H_0 < 0.25$  o algo superiores.

Cuando  $d/H_0 < 0.02$  no es necesario hacer correcciones

La reducción del espesor saturado nos hace tomar como coeficiente de almacenamiento

$$S^* = \frac{H_0}{H_0 - d} \times S$$

siendo  $S$  la porosidad eficaz corregida, y  $d$  el descenso medio en el lugar considerado.

El error que se comete al no hacer esta consideración es en general pequeño.

La mayoría de las fórmulas para acuíferos cautivos y semiconfinados pueden ser utilizados adecuadamente en los acuíferos libres si los descensos son pequeños corrigiendo los descensos.

$$h = \frac{H_0^2 - H^2}{2 H_0}$$

y  $T = K h_0$

y obteniendo el valor de la porosidad eficaz corregida

$$S^* = \frac{H_0}{H_0 - h} S$$

Pozos en acuíferos libres con recarga uniforme, régimen estacionario

$$h = \frac{Q}{2 \pi T_0} \ln \frac{R}{r} - \frac{W}{4 T_0} (R^2 - r^2)$$

siendo  $T_0 = K \cdot H_0$ .

y  $W$  la recarga ( $M^3/M^2/año = M/año$ )

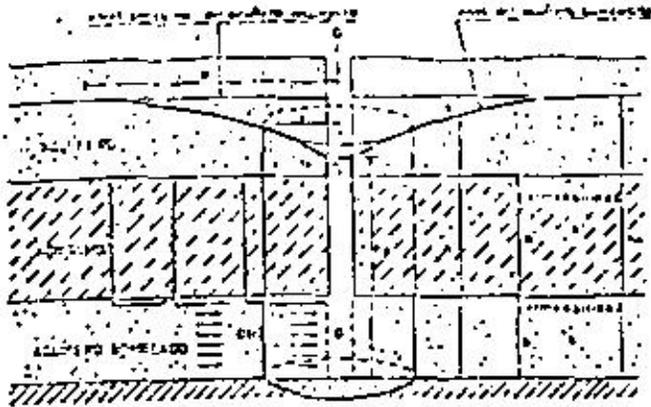


FIGURA 9.14  
Pozo bombeado en un acuífero semiconfinado.

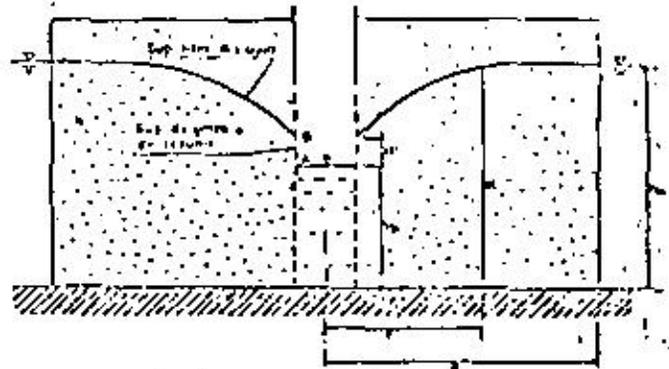


FIGURA 9.18  
Pozo de un acuífero libre en el centro de una isla circular.

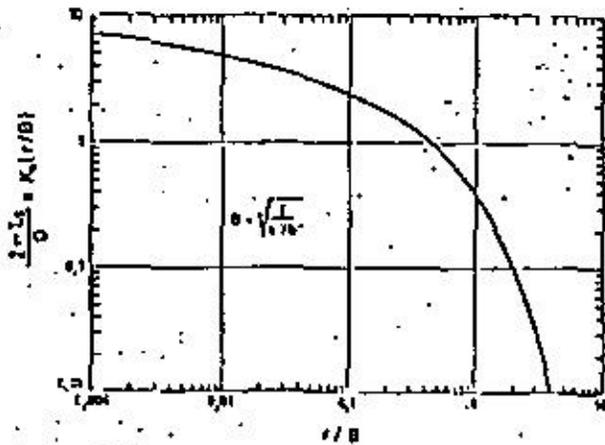


FIGURA 9.15  
Función de pozo en acuífero semiconfinado en régimen permanente,  $K(r/D)$  en función de  $t/B$ .

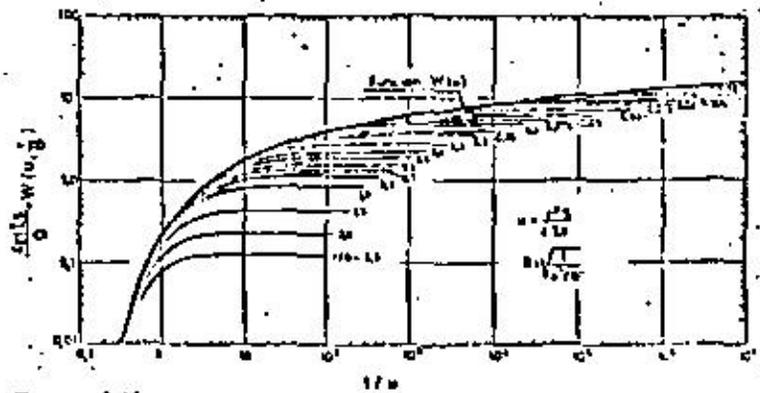


FIGURA 9.16  
Función de pozo en acuífero semiconfinado sin abajamiento en el acuífero.  $W(u, r/B)$  en función de  $t/B$ . Curva tipo de Hantush.

Fórmulas utilizadas en pozos para la estimación práctica de los parámetros de los acuíferos.

Primero se hará una primera estimación aproximada con el caudal específico obtenido durante el bombeo con la siguiente fórmula (Galofré, 1966)

$$T \text{ (m}^2/\text{día)} \approx 100 \cdot \frac{Q \text{ (l/seg)}}{\Delta P \text{ (m)}}$$

T = Transmisividad

Q = Caudal (l/seg)

$\Delta P$  = Descenso en el pozo (m)

y en pozos de pequeño diámetro

$$T = 1.4 q$$

q = Caudal específico (M<sup>3</sup>/día/m)

en acuíferos libres conviene utilizar descensos corregidos según la corrección de Jacob.

$$h_c = h - \frac{h^2}{2 H_0}$$

Siendo  $\Delta c$  = descenso corregido  
 $\Delta$  = descenso observado  
 $H_0$  = espesor inicial del acuífero

Como vemos, para hacer esta aplicación es necesario conocer la posición de la base del acuífero para establecer el espesor del mismo, porque el hacerlo en forma estimativa nos conduce a errores no aceptables.

Interpretación práctica en pozos completos con régimen estacionario a caudal constante.

Método de Jacob.

Cuando contamos con dos o mas puntos de observación aparte del pozo.

- a) Si se presenta en papel semilogarítmico el descenso ( $s$ ) en función de ( $s - \log r$ ) los puntos resultantes se alinean según una recta cuya pendiente  $m$  en valor absoluto es

$$m = \frac{2.3 Q}{2 \pi T} = \frac{Q}{T}$$

una forma de facilitar el cálculo con esta formula es la de seleccionar dos puntos de la recta separados por una década logarítmica con lo que tendremos pendiente

$$m = \frac{s_1 - s_2}{\log t_2 - \log t_1} = s_1 - s_2$$

y entonces  $(\Delta s)_{10} = 0.366 \frac{Q}{T}$

de donde podemos calcular  $T$ :

$$T = \frac{0.366 Q}{(\Delta s)_{10}} \quad T \text{ (M}^2/\text{día)}, \quad Q \text{ (M}^3/\text{día)}$$

- b) Prolongando la recta obtenida hasta cortar el eje de las abscisas - -

(descenso igual a cero) obtenemos el valor de  $R$  y en el de las ordenadas un valor de  $n$  igual al  $n_p$  nos dá el descenso teórico en el pozo que difiere del observado.

c) Cuando se realiza una prueba de bombeo escalonada y contamos con dos o más puntos de observación, al graficar los descensos obtenidos con cada uno de los gastos, todos ellos cruzarán el eje de las abscisas concurriendo en el valor de  $R$ .

Donde  $R$  es igual al Radio de Influencia Teórico

$R =$  Radio de Influencia Teórico.

Ejemplo de una gráfica  $s - \log t$  para obtener valores de  $T$  y  $S$

Observaciones en un punto a 30 m. de distancia

$$Q = 1000 \text{ m}^3/\text{día}$$

$t$ (min)	$s$ (m)
0.5	0.01
5.0	0.19
10.0	0.24
15.0	0.27
30.0	0.32
50.0	0.36
80.0	0.39
100.0	0.41
300.0	0.46
600.0	0.55
1000.0	0.58

De la gráfica  $s - \log t$

se observa

$$(s)_{10} = 0.17 \text{ m.}$$

$$T_0 = 0.4 \text{ min.}$$

de donde aplicando Jacob (Reg no permanente)

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{(s)_{10}}$$

$$T = \frac{0.183 \times 1000 \text{ m}^3/\text{día}}{0.17 \text{ m.}}$$

$$T = 1076 \text{ m}^3/\text{día}$$

con  $t_0 = 0.4$  min.

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

$$S = \frac{2.25 \times 1076 \times 0.4'}{30 \times 1440' / \text{Día}} \quad \frac{2.25 \times 1076 \text{ M}^2 / \text{Día} \times 0.4'}{30 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 1440' / \text{Día}}$$

$$S = 0.75 \times 10^{-3}$$

y 
$$S = \frac{4 T (t)}{r^2 (1/u)}$$

para  $1/u = 1.0$ ;  $u = 1.0$  y  $t = 1.2$  min

$$(r/B) = 0.2$$

substituyendo tenemos

$$S = \frac{4 \times 1910 \text{ m}^2 / \text{Día} \times 1.2 \text{ min.}}{60 \text{ m} \times 60 \text{ m} \times 1 \times 1440 \text{ min} / \text{Día}}$$

$$S = 1.78 \times 10^{-3}$$

si  $r = 60$  y  $(r/b) = 0.2$

$$B = \frac{60}{0.2}$$

$$B = 300$$

para la curva a 20 metros

tenemos que los puntos de ajuste con las curvas son:

$$W(u, r/B) = 1 \quad \text{y} \quad A = 0.18 \text{ m}$$

$$(1/u) = 10 \quad y \quad t = 1.6 \text{ min.}$$

$$(r/B) = 0.03$$

Substituyendo en las mismas fórmulas tendremos

$$T = \frac{50 \text{ lts/seg} \times 66.4}{4 \pi \times 0.18 \text{ m}}$$

$$T = 1910 \text{ M}^2/\text{Día}$$

$$S = \frac{4 \times 1910 \text{ M}^2/\text{Día} \times 1.6 \text{ min}}{20 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 10.0 \times 1440 \text{ min}/\text{Día}}$$

$$S = 2.12 \times 10^{-3}$$

$$y \quad B = \frac{20}{0.05} = 333$$

Ejemplo de gráficas  $\log h = \log t$ , para obtener valores de  $T$  y  $S$

Observaciones de los descensos obtenidos en el pozo y dos puntos de control a 60 y 20 m., con un bombeo de 50 lts/seg. en un pozo con  $r = 0.20$

t	descenso en m		
	r = 0.2 m	r = 60 m	r = 20 m
1	2.80	0.04	0.26
3	3.00	0.12	0.43
5	3.09	0.19	0.51
10	3.11	0.29	0.62
15	3.24	0.34	0.69
20	3.25	0.40	0.72
25	3.26	0.43	0.76
30	3.28	0.45	0.78
40	3.30	0.47	0.83
50	3.32	0.48	0.85
60	3.35	0.51	0.88
80	3.36	0.54	0.90
100	3.36	0.55	0.92
120	3.37	0.57	0.94
140	3.39	0.58	0.95
160	3.40	0.59	0.95
180	3.40	0.59	0.96
200	3.40	0.60	0.96
250	3.39	0.60	0.97
300	3.40	0.60	0.97
350	3.41	0.60	0.98
400	3.41	0.60	0.98
450	3.40	0.60	0.98
500	3.41	0.60	0.98

Grificando  $\log h = \log t$  para las observaciones a 60 y 20 mts. tenemos que haciendo los ajustes con las curvas de Hantush se tienen los puntos de ajuste y el valor de  $r/B$ .

$$W(u, r/B) = 1 \quad \text{y} \quad \Delta = 0.18 \text{ m.}$$

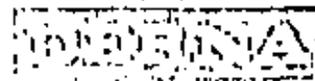
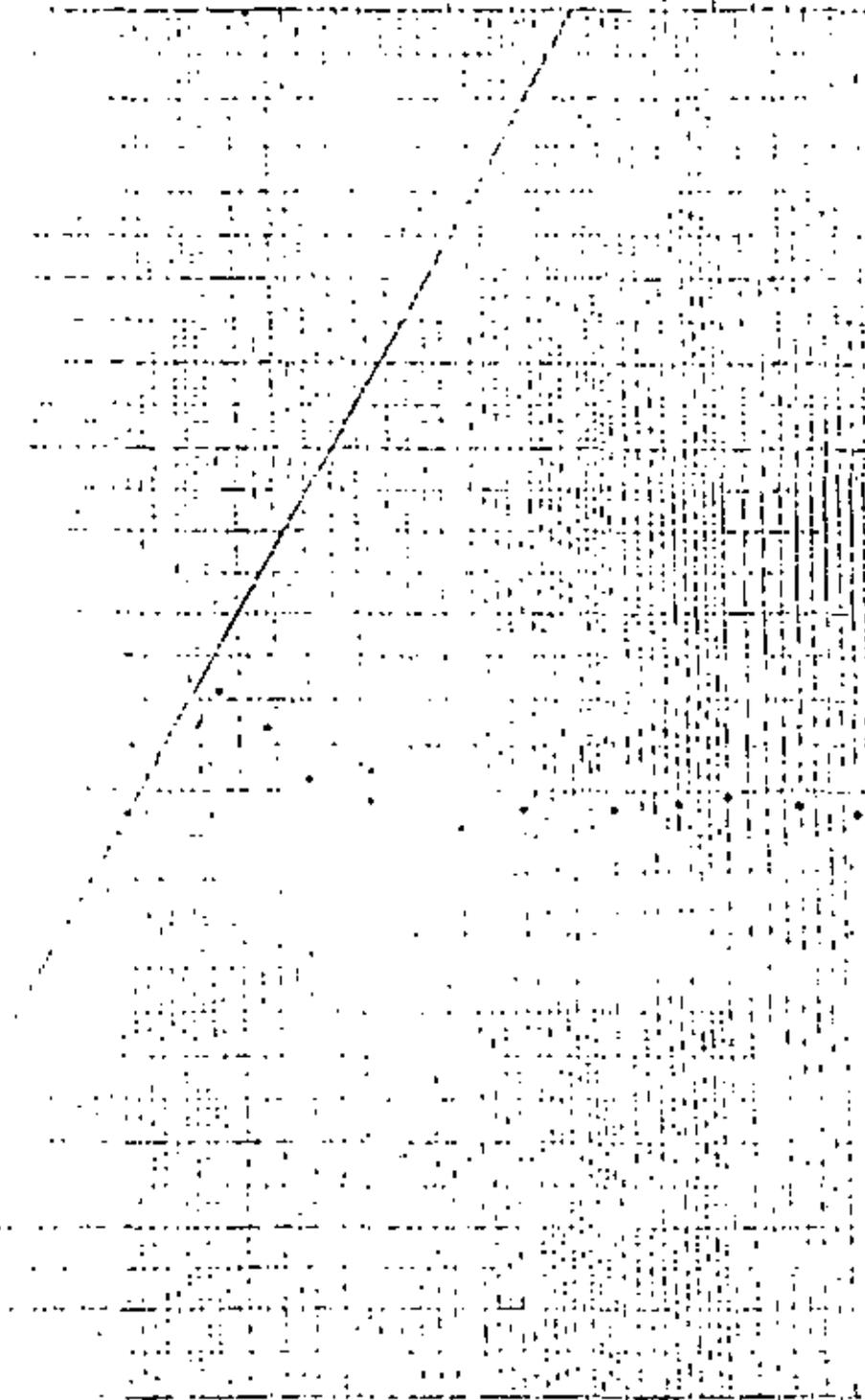
$$\Delta = \frac{Q}{4 \pi T} W(u, r/B) \quad \text{y si} \quad W(u, r/B) = 1$$

$$= \frac{Q}{4 \pi T} \quad \text{y} \quad T = \frac{Q}{4 \pi \times \Delta}$$

$$T = \frac{4320 \text{ M}^3/\text{Día}}{4 \times 3.1416 \times 0.18 \text{ m}}$$

$$T = 1910 \text{ M}^2/\text{Día}$$

10



PRUEBA DE BOMBEO No. 1

63

Ciudad 171-LAZARO CARDENAS, MICHO. Fecha 11 DE AGOSTO 1981

Pozo Bombeado No. 1 SILOS Lugar LAZARO CARDENAS, MICHO.

Tipo de prueba ABATIMIENTO

Hora inicial 12:30 Final 13:30 duración 1:00 HRS.

Caudal Q 10.59 lts/seg. 6,959.5 m<sup>3</sup>/día.

Punto (s) de observación POZO

Dist. r(m) al pozo 0.20 Gráfica No.         

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20



DATE: 10/10/1991

PROJECT: ...

TEST: ...

... ..

TEST NO: 10000

... ..

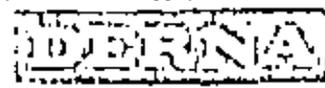
DATE: (C) 10/10/1991 11:15:00 ... ..

... ..

... ..

TIME (MIN)	W. STAPLES (M)	W. STAPLES (M)	REACTOR (M)
7.0	1.46	1.46	0.40
8.0	1.46	1.46	0.40
9.0	1.46	1.46	0.40
10.0	1.46	1.46	0.40
11.0	1.47	1.47	0.41
12.0	1.49	1.49	0.43
13.0	1.50	1.50	0.44
14.0	1.50	1.50	0.44
15.0	1.50	1.50	0.44
16.0	1.52	1.52	0.46
17.0	1.53	1.53	0.47
18.0	1.55	1.55	0.49
19.0	1.55	1.55	0.49
20.0	1.55	1.55	0.49
21.0	1.57	1.57	0.51
22.0	1.57	1.57	0.51
23.0	1.57	1.57	0.51
24.0	1.56	1.56	0.50
25.0	1.56	1.56	0.50
26.0	1.57	1.57	0.51

REMARKS:



PRUEBA DE BOMBEO No. 5

Obra 171- SILOS Fecha 10-AUGUSTO DE 1987

Pozo Bombeado No. 1 SILOS Lugar CARRERO CARRERAS, P. R.

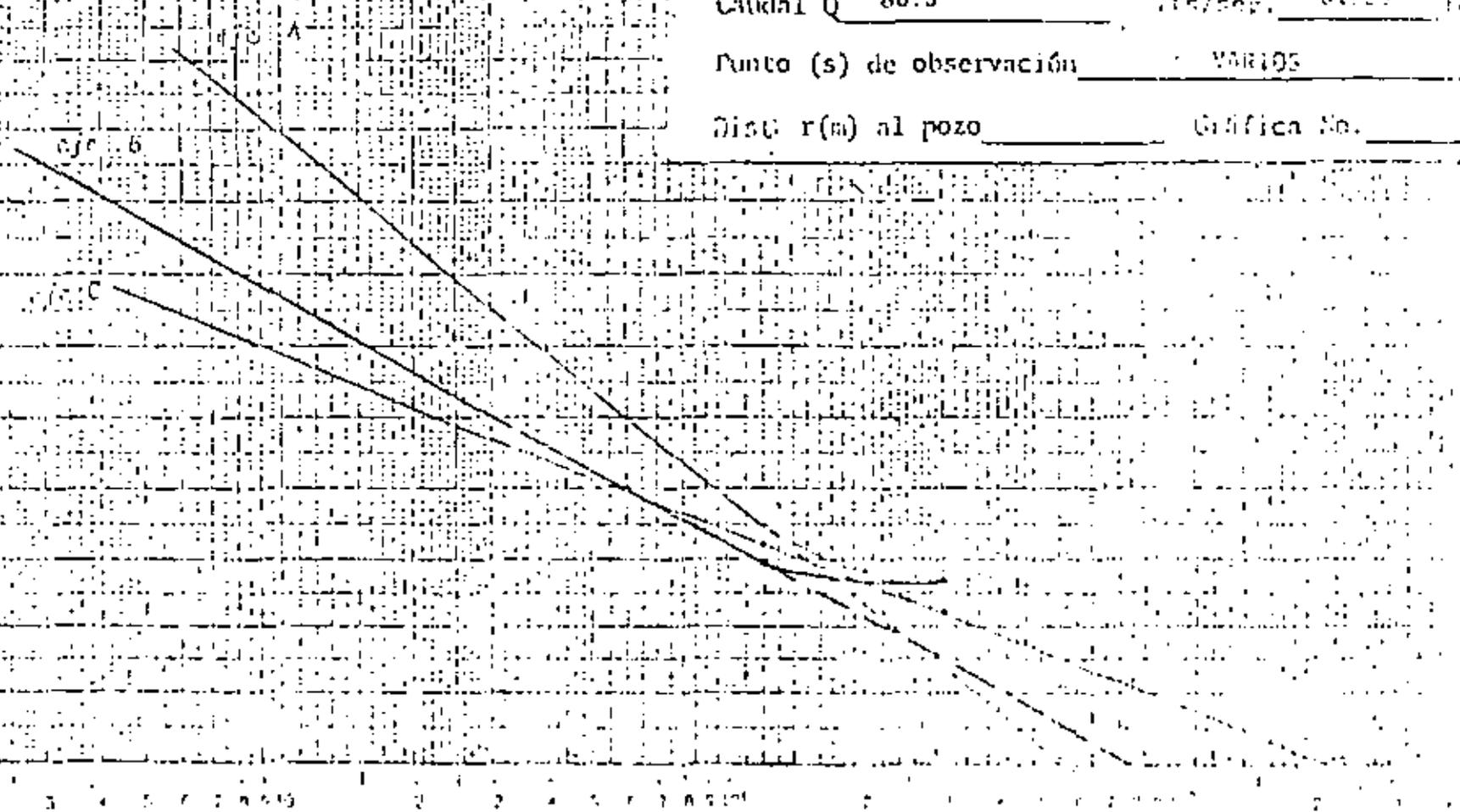
Tipo de prueba ABATIMIENTO

Hora inicial 11:00 HRS. Final 11:00 duración 1

Caudal Q 80.5 lts/seg. 6.955

Punto (s) de observación VARIOS

Dist. r(m) al pozo \_\_\_\_\_ Gráfica No. \_\_\_\_\_



1940 1942 1940

Para medir las presiones en las capas de arena bajo el fogue - que tiene el souffere inferior se diseñó con los siguientes -

ACUIFERO CONFINADO EN REGIMEN NO PERMANENTE

TRANSMISIVIDAD = 342 M<sup>2</sup>/Día

COEFICIENTE DE ALMAC. =  $1 \times 10^{-4}$

EL ACUIFERO INFERIOR ESTA CONTENIDO EN LA ZONA QUE VA DEL SONDEO B-3 HACIA EL RIO, DE ACUERDO CON LOS SONDEOS DE SUELOS, NO TIENE CONTINUIDAD HACIA EL NORTE.

Para confirmar lo adecuado de éstos datos los aplicamos a dos - puntos:

$$r = 39 \text{ M y } r = 10 \text{ M}$$

$$Q = 1685 \text{ M}^3/\text{Día}$$

$$t = 1230 \text{ MIN.}$$

$$s_{39} = \frac{1685}{47432} \ln \frac{2.25 \times 340 \times 1230}{1 \times 10^{-4} \times 39^2 \times 1440} = 3.28 \text{ M}$$

$$s_{10} = \frac{1685}{47432} \ln \frac{2.25 \times 340 \times 1230}{1 \times 10^{-4} \times 10^2 \times 1440} = 4.41 \text{ M}$$

En las dadas condiciones para la pila No. 3 en el Pivo B -  
para  $Q = 1000$  lts/min y  $t = 1000$  min. se obtienen:

$$\begin{aligned} \text{para } r = 35 \text{ m ; } \quad \delta = 3.40 \text{ m} & \approx 3.09 \text{ m} \\ \text{y para } r = 30 \text{ m ; } \quad \delta = 4.43 \text{ m} & \approx 4.43 \text{ m} \end{aligned}$$

se obtienen valores que satisfactoriamente reproducen el comportamiento observado, con lo que se confirma que los valores son adecuados para el diseño, que en éste caso consistirá en la revisión del sistema proyectado.

Tabla 11.

DAIOS OBSERVADOS AL INTERPRETAR LAS PRUEBAS DE INTUBO EN EL 1979-80.

PROBES	TIPO DE PROBLEMA	GRUFICA.	INADVERTIDA	S	Q (LTS/SIG) QM'ADIA.	Δ (m)	Δ/Q	110	1000	q = 0
EL FIL. 1020 3 - C.										
1-37-1	Abastecimiento	$\log s - \log t$	266 7	0.18	77.45	6692	10.76	1.61	6.22	
1-37-2	Integración.	$\log s - \log t$	100	0.62						
1-37-3	Integración.	$s - \log \frac{t}{t'}$	119	-						
2-37-1	Abastecimiento.	$\log s - \log t$	-	-	100.24	868.0	17.16	2.55	4.25	1.57
2-37-2	Abastecimiento.	$\log s - \log t$	93	1.57	114.88	9926	23.19	2.32	4.24	1.57
3-37-1	Abastecimiento.	$s - \log t$	136	1.19						
4-37-1	Abastecimiento.	$s - \log t$	106	1.40						
1-37-1	Integración.	$\log s - \log t$	55	0.15						
3-37-3	Integración.	$s - \log \frac{t}{t'}$	94	-						
4-37-1	Abastecimiento.	$\log s - \log t$	53	0.73	133.08	11498	30.35	2.63	3.79	4.26
4-37-2	Abastecimiento.	$s - \log t$	89	0.57						
4-37-3	Abastecimiento.	$s - \log t$	52	0.71						
7-37-1	Abastecimiento.	$\log s - \log t$	74	5.76	114.88	9926	23.19	2.32	4.26	4.26
7-37-2	Abastecimiento.	$s - \log t$	77	0.53						
7-37-3	Abastecimiento.	$s - \log t$	76	1.5						
5-37-1	Abastecimiento.				77.45	6710	11.17	1.61	6.22	1.57
97-37-1	Abastecimiento.				17.27	4964	6.17	1.61	6.22	1.57
EL FIL. 1020 2 - C										
2-37-1	Abastecimiento.				67.02	5790	9.84	1.62	6.22	1.57

69

CONSECCION POR CACION DEL ACUIFERO SUPERIOR

CAJON 111/SUBC: 518.0 15/06

	I	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>r</sub>	T <sub>c</sub>	Δ (m)	$\frac{2Q(10^{-3})}{\Delta}$	Q <sub>2</sub> /Q <sub>1</sub>	lts/seg/m
1-10-1	100	6692	518	6174	92	10.76	1.74	573	6.64
1-10-2	119	6692	518	6174	110	10.76			
2-10-1		8660	618	8142		17.69	2.17	460	5.37
3-10-1	93	9976	518	9408	88	23.19	2.66	406	4.70
3-10-2	136	9976	518	9408	129				
3-10-3	166	9976	518	9408	100				
3-10-4	55	9976	518	9408	52				
3-10-5	56	9976	518	9408	89				
4-10-1	53	11598	518	10980	51	30.35	2.76	362	4.19
4-10-2	89	11598	518	10980	85				
4-10-3	52	11598	518	10980	50				
4-10-4	74	9976	518	9408	75	23.29	2.48	404	4.67
4-10-5	77	9976	518	9408	73				
4-10-6	76	9976	518	9408	72				
5-10-1		6718	518	6200		11.37	1.87	548	6.31
6-10-1		4948	518	4430		6.67	1.69	669	7.74
7-10-1		5790	518	5272		8.84	1.67	596	6.90

70

## 7.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS

De las curvas del Test 30 tenemos que para abatir a 40.00 mts. en el pozo tendríamos que abatir 35 mts. en:

$$q = \frac{Q}{24} = (M^3/día) = 558 M^3/día$$

$$Q = 558 M^3/día \times 35 \text{ hrs.}$$

$$Q = 11850 M^3/día = 137.00 \text{ lts/seg}$$

De la gráfica se obtiene el mismo valor 11,800 M<sup>3</sup>/Día = 137.00 lts/seg.

De la gráfica  $s/Q - Q$  se obtiene  $B=0.48$  y  $C=2.08/10^{-7}$  tenemos que la fórmula de descenso en el pozo es:

$$s = B Q + C Q^2$$

$$s = 0.48 \times 10^{-3} Q + 2.08 \times 10^{-7} Q^2 \quad (\text{Curva característica del pozo}).$$

Verificando con 11,800.00 M<sup>3</sup>/Día = Q<sub>Max</sub>

$$\begin{aligned} s_{\text{max}} &= 0.5 \times 10^{-3} \times 11\,800 + 2.08 \times 10^{-7} \times 11\,800^2 \\ &= 0.5 \times 10^{-3} \times 11.8 \times 10^3 + 2.08 \times 10^{-7} \times 1.18^4 \times 10^8 \\ &= 0.5 \times 11.8 + 2.08 \times 1.18^2 \times 10 \\ &= 5.9 + 28.9 \times 10 \\ s_{\text{max}} &= 5.9 + 28.9 = \underline{\underline{34.86}} \end{aligned}$$

que es prácticamente el teórico que tratamos de obtener, lo an-

valor corregido, se tiene:

Acuífero inferior (corregido eliminando la aportación del acuífero superior)

De la gráfica  $Q - s/Q$  obtenemos

$$B_2 = 0.48 \times 10^{-3} \text{ días}^2/\text{M}^2$$

$$C_2 = 2.08 \times 10^{-7} \text{ días}^2/\text{M}^2$$

Verificación con

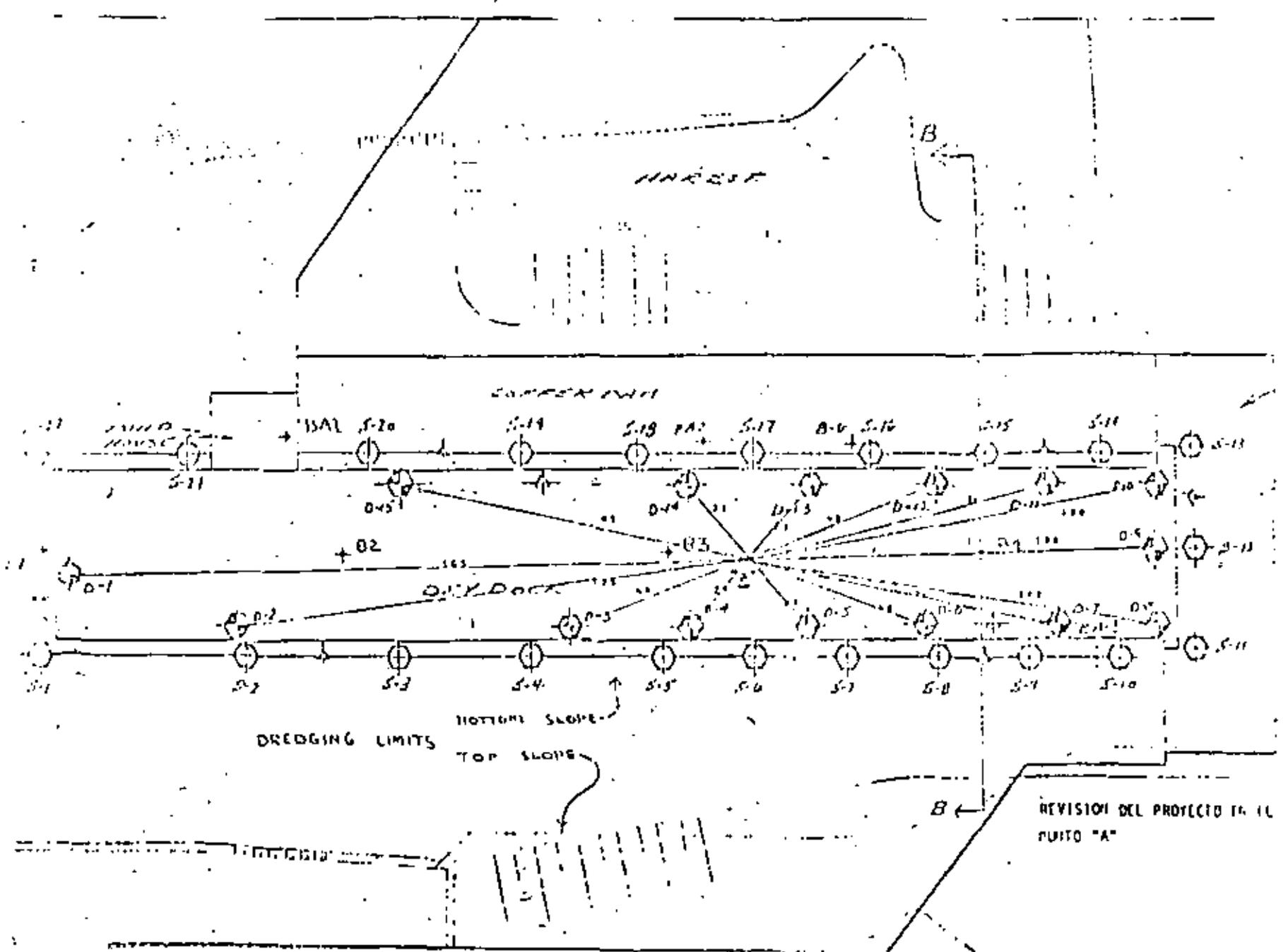
$$Q = 10980$$

$$s_p = 0.48 \times 10^{-3} \times 10980 + 2.08 \times 10^{-7} \times 10980^2$$

$$s_p = 50.35 \text{ mts}$$

Aumento observado  $s_p = 50.35 \text{ mts.}$

igual al teórico



REVISIÓN DEL PROYECTO PARA AL ABATIMIENTO DE  
PRESIONES EXISTENTES EN EL ACUIFERO INFERIOR

Se revisará el abatimiento teórico en el punto "a" (intermedio entre los pozos D7, 8, 9, 10 y 11)

En la revisión se incluyen todos los pozos interiores que interceptan el acuífero inferior y se hará para un caudal de:

$$Q = 6.3 \text{ lts./seg.} = 545 \text{ M}^3/\text{Día}$$

$$\begin{aligned} s_a = & \frac{545}{4 \pi 342} \left( 4 \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 23^2} + 3 \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 48^2} + 2 \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 76^2} \right. \\ & \left. + 3 \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 100^2} + \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 85^2} + \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 125^2} + \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 165^2} \right) \end{aligned}$$

$$s_a = 14.68 \text{ M}$$

EL ABATIMIENTO TEORICO EN "a", DE 14.68 M ES MAYOR QUE EL NECESARIO DE 12.50 M.

UNCIÓN  $W(u)$  DE POZO EN ACUIFERO CONFINADO (Curva de Theis) - Valores tomados de Benitez (1963)

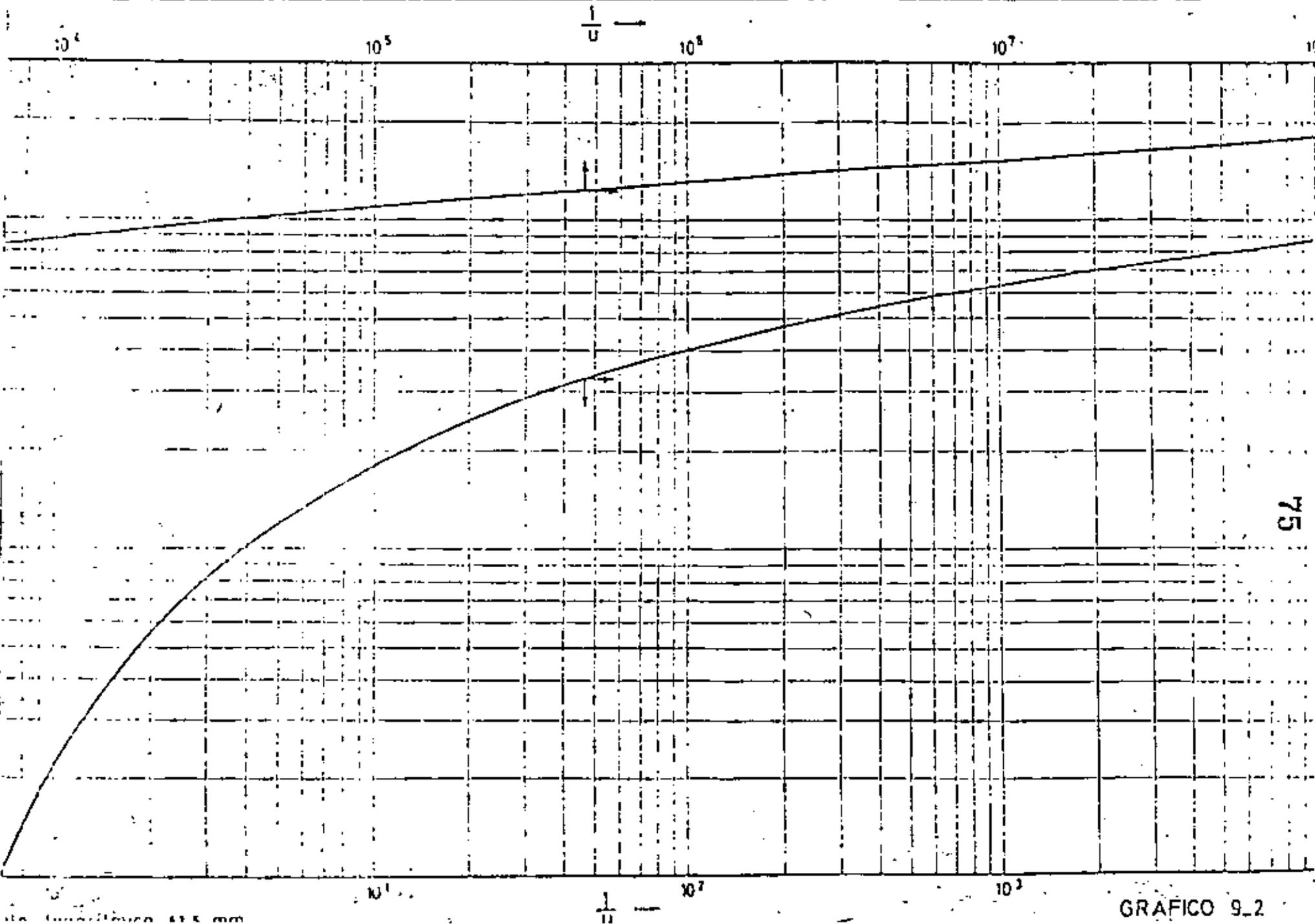
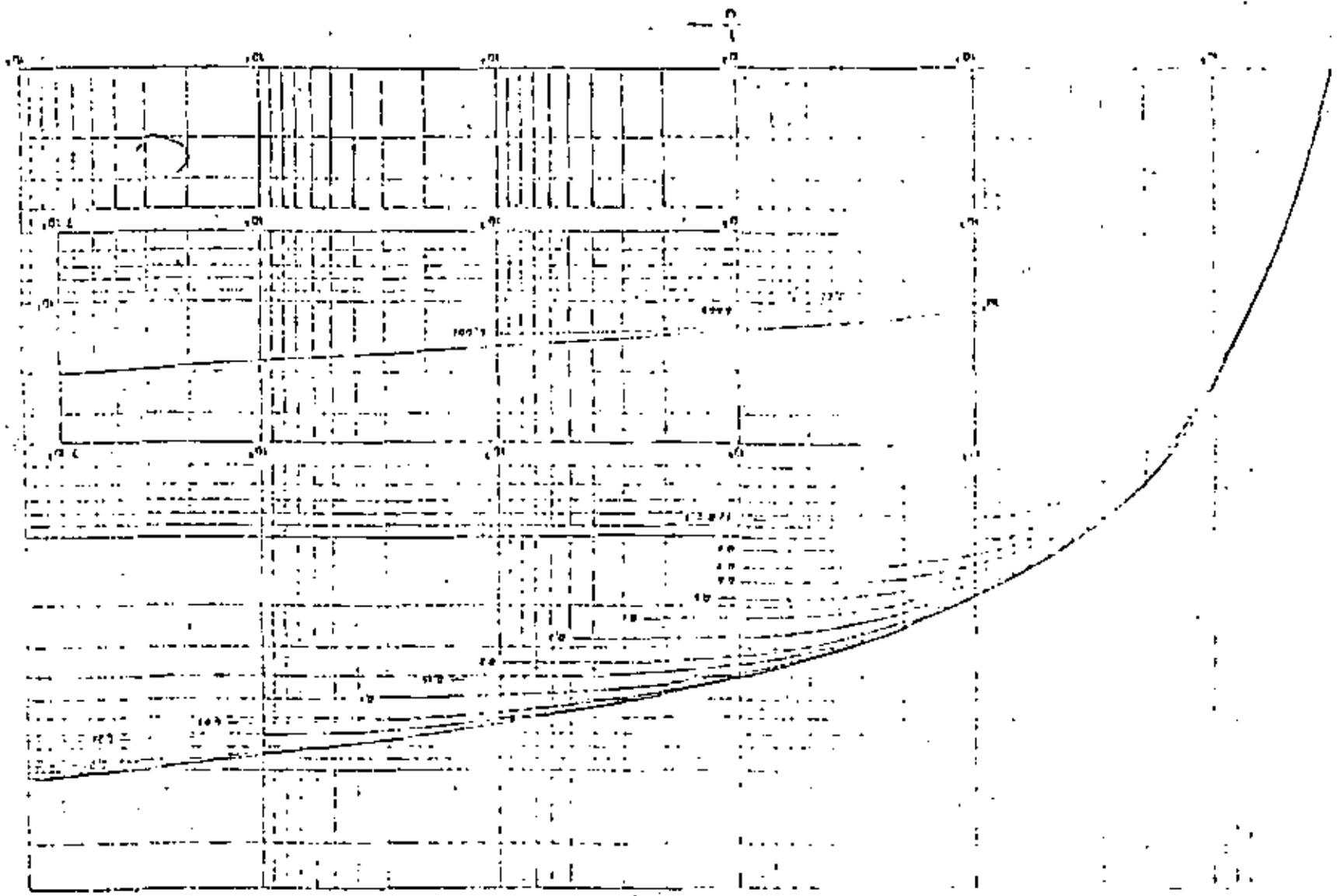
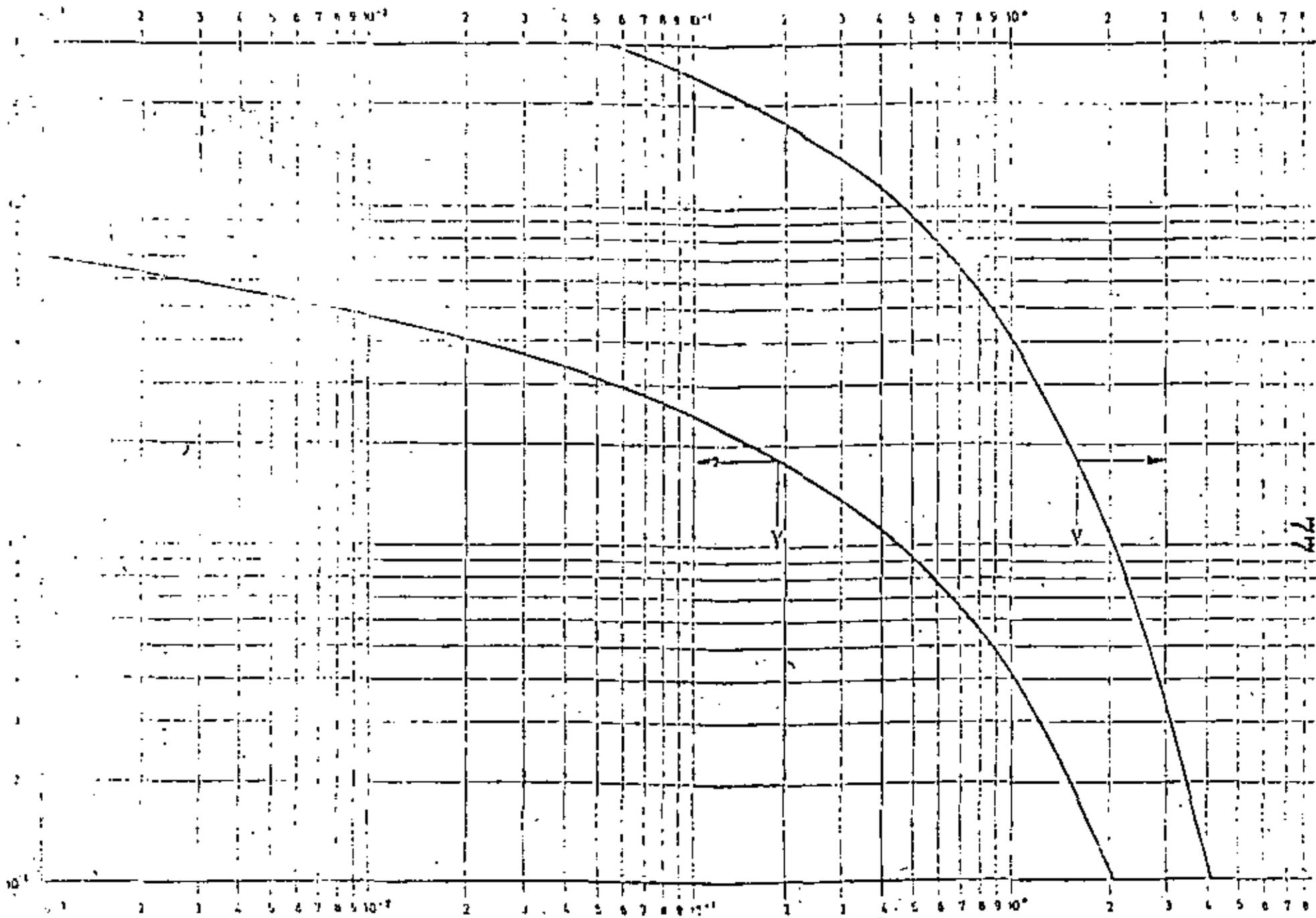


GRAFICO 9.2



TERMINO WENTHILL DE PUERTO EN ACTIVO SECONFINADO

CON LOS BANCOS DE PUERTO 1950



Modelo: 825 mm

Acuífero semiconfinado en régimen estacionario

GRAFICO 9.1

## 9.26 Hidráulica de pozos artes de agua subterránea

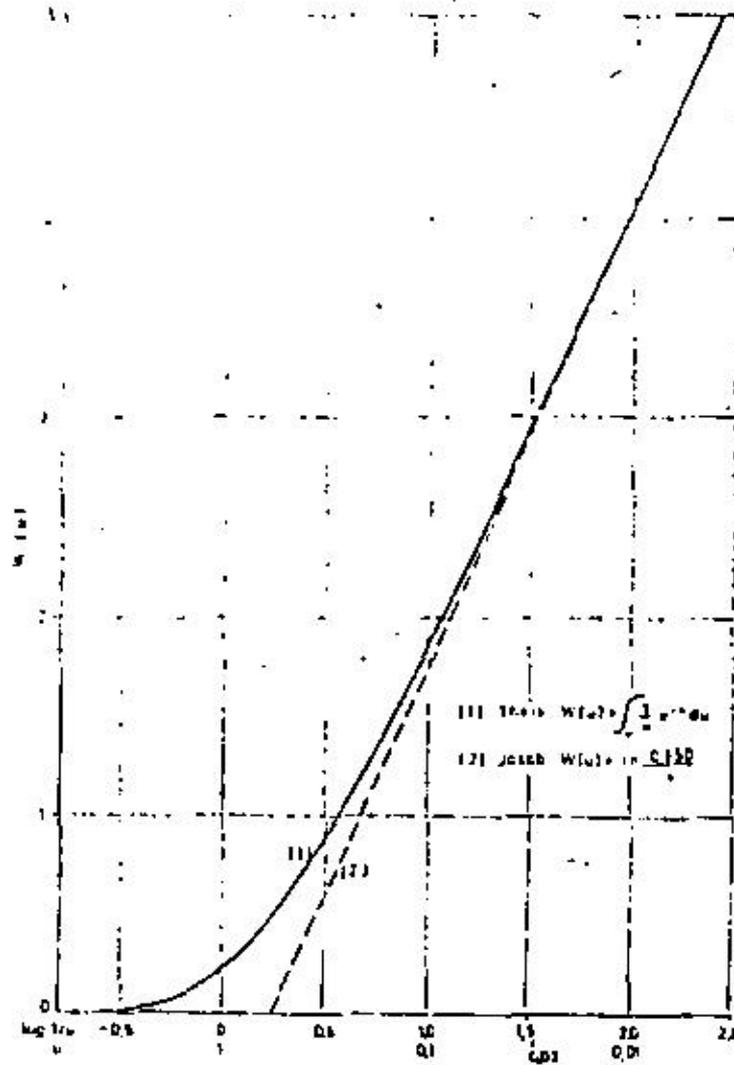


Figura 9.13

Comparación de la fórmula de Theis y de la aproximación de Jacob.

cometido en la simplificación puede apreciarse en la figura 9.13. En ciertas aplicaciones, puede admitirse que la aproximación de Jacob es válida para valores de  $u$  de hasta 0.1, aunque normalmente se toma  $u < 0.03$ .

La aproximación de Jacob puede escribirse:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{\sqrt{2.25 \cdot T \cdot t}}{r} \frac{S}{r}$$

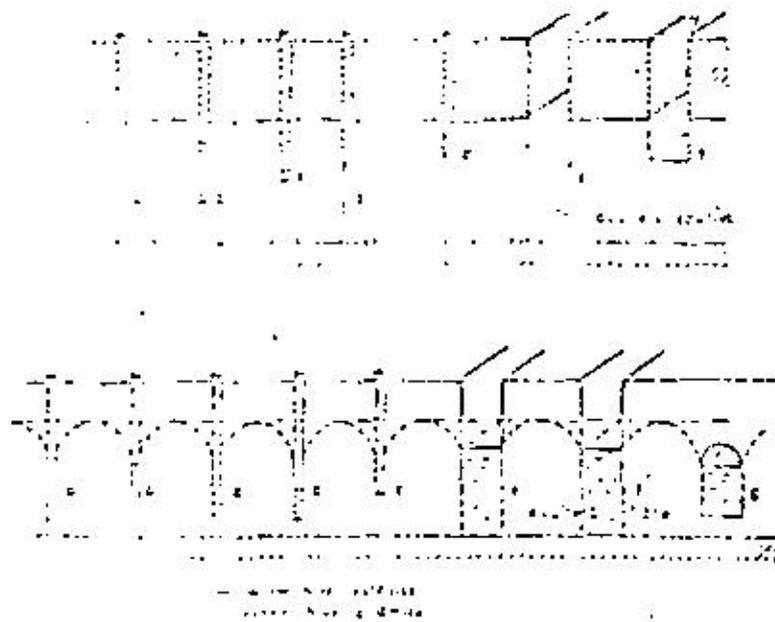


Figura 9.3

Clasificación de los pozos. a) Pozo totalmente penetrante en el acuífero completo. b) Pozo parcialmente penetrante que alcanza la zona parcialmente penetrante. c) Pozo que alcanza la zona totalmente penetrante. d) Pozo que alcanza la zona parcialmente penetrante. e) Pozo que alcanza la zona totalmente penetrante. f) Pozo que alcanza la zona parcialmente penetrante. g) Pozo que alcanza la zona totalmente penetrante.

$l$  = Profundidad útil del pozo. Distancia desde la superficie del terreno hasta la parte más baja de la zona filtrante o zona por donde penetra el agua.

$H, h$  = Nivel de agua con el pozo en funcionamiento. Distancia desde la base del acuífero hasta el nivel del agua. El nivel antes del bombeo se representa por  $H_0, h_0$  y el nivel en el pozo durante el bombeo por  $H_1, h_1$ <sup>19</sup>.

En ocasiones es conveniente referir los niveles del agua a la superficie del terreno. En este caso se empleará la misma simbología avisando previamente dicho cambio de referencia.

<sup>19</sup> Los valores de magnitudes se refieren para los acuíferos libres y filtrantes también expresan valores. Los valores en los pozos se refieren para acuíferos filtrantes y no se refieren para la base de los pozos que no filtran, ya que en general se trata de una diferencia de nivel, o sea, de un pozo.

<sup>20</sup> Si se toma como punto de referencia el fondo del pozo (b) u otro punto cualquiera distante del nivel del suelo, se conservará constante la altura total del pozo (l).

$s$  = Distancia del nivel del agua  $s = h_0 - h$  o  $s_1 = H_0 - H_1$ .

$s_1$  = Descenso del agua en el pozo  $s_1 = h_0 - h_1$  o  $s_1 = H_0 - H_1$ .

$\lambda$  = Longitud de la zona filtrante. Longitud de la zona útil de penetración del agua en la zona filtrante. La magnitud  $\lambda$  se refiere a la distancia desde la parte inferior de la zona filtrante del acuífero hasta la base del acuífero y la magnitud  $\lambda_1$  se refiere a la parte superior de la zona filtrante del acuífero hasta el nivel del acuífero. El nivel del agua en los acuíferos libres.

$b$  = Espesor del acuífero. En el caso de acuífero libre se considera igual al espesor total del acuífero y por lo tanto  $t = H$ .

$r, r_1$  = Diámetro del pozo y radio del pozo. Se entiende por radio de un pozo cualquier línea que atraviesa por el centro del pozo y en su extremo se encuentra con la superficie de perforación. En ocasiones también se entenderá por  $r_1$  lo que se definirá más adelante como radio efectivo del pozo (apartados 9.2 y 9.3).

$R$  = Radio de influencia del pozo. Distancia a partir de la cual se consideran nulos los descensos producidos por el bombeo en el pozo. En general es un concepto matemático que se especificará en los capítulos 9.2 y 9.3.

$\beta$  = Longitud relativa de la zona filtrante. Es el cociente entre su longitud y el espesor del acuífero  $\beta = \lambda/b$ .

$e$  = Excentricidad relativa de la zona filtrante. Expresa la posición de la zona filtrante en el acuífero.

$$e = \frac{s_1 - s_2}{2b}$$

$\frac{\lambda}{2r_1}$  = Esbeltez de la zona filtrante. Expresa la relación entre la longitud de la zona filtrante y su diámetro.

Se dice que un pozo es totalmente penetrante o completo (fig. 9.3 a) cuando su zona filtrante alcanza la totalidad del espesor del acuífero. Si sólo alcanza una parte del acuífero el pozo se llamará incompleto (figura 9.3 b y c). Si el pozo es incompleto pero su zona filtrante se inicia en el techo o en la base del mismo el pozo se llama por razones obvias parcialmente penetrante.

<sup>21</sup> El radio de influencia matemático o teórico puede diferir considerablemente del observado y esta última depende de la estructura del terreno de modo de poder de niveles.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

TIPOS DE POZOS

ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR

ABRIL, 1984

## TIPOS DE POZOS

Existen diferentes tipos de pozos, considerando su profundidad y diámetro pueden denominarse como norias, pozos someros o profundos y también - suelen denominarse según el uso a que van a ser destinados. Se puede generalizar que desde la fase correspondiente a los estudios que se realizan para los diferentes trabajos de Ingeniería, se hace necesaria la perforación de pozos con diferentes finalidades, como pueden ser las de estudios geológicos o de prospección minera, o para determinados procesos constructivos como sistemas de drenaje en presas o estructuras hidráulicas, para inyecciones en materiales poco consolidados, fracturados o fisurados y en las cimentaciones de estructuras hidráulicas o de puentes y túneles, -- también para alojar pilas o pilotes, o para el abatimiento de niveles freáticos para excavaciones en túneles o cimentaciones, también actualmente -- con el desarrollo de la maquinaria para trabajos masivos de explotación de pedreras o descapotes de minerales para su explotación, donde se hace necesario mover diariamente volúmenes entre los 10,000 y 40,000 m<sup>3</sup>, se ha incrementado el uso de perforaciones grandes (entre 6" y 12 1/4" de  $\phi$ ) para la voladura de estos materiales, siendo ya prácticamente de uso común la utilización de técnicas y máquinas de perforación grande para este tipo de trabajo.

La Ingeniería de la Industria petrolera está basada en la perforación, desde el desarrollo de sus estudios geofísicos, pasando por la exploración, -

hasta llegar a la explotación de los yacimientos petroleros, cabe hacer -  
 notar que siendo ésta actualmente la industria con mayor potencial econó-  
 mico, es la que ha permitido el desarrollo de los equipos y sistemas mo-  
 dernos de perforación que se utilizan en los diferentes campos de la Inge-  
 niería.

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

## TIPOS DE POZOS

- I. ESTUDIOS GEOLOGICOS
- II. PROSPECCION MINERA
- III. PROCESOS CONSTRUCTIVOS
  - III.a. DRENAJE
  - III.b. INYECCIONES
  - III.c. PILAS Y PILOTES
  - III.d. ABATIMIENTO DE NIVEL FREÁTICO

III.e. EXPLOTACION DE BANCOS

IV. EXPLORACION Y EXPLOTACION PETROLERA

V. POZOS PARA APROVECHAMIENTO DE AGUA

V.a. ESTUDIOS HIDROLOGICOS

V.b. FINES INDUSTRIALES

V.c. FINES MUNICIPALES

V.d. FINES PECUARIOS

V.e. RIEGO POR BOMBEO

## ANTECEDENTES

Las primeras perforaciones realizadas por el hombre fueron con el fin de extraer agua para usos domésticos o de obtención de salmueras, existiendo muy pocos antecedentes de lo que se realizó en la antigüedad para el aprovechamiento del agua subterránea; sin embargo, se registraron algunos trabajos o quedan ruinas de sistemas de abastecimiento o drenajes y de aprovechamientos: sobre todo a través de galerías filtrantes y acueductos. H.B. Goodrich, reporta la perforación en China de un pozo a 150 mts. de profundidad para obtención de salmuera en el año 221 de nuestra era, posteriormente y en forma accidental durante la perforación de pozos para agua o salmuera se encontró petróleo y gas; sin embargo, se tuvo muy poco desarrollo en la perforación durante el transcurso del tiempo y solo hasta mediados del siglo XIX se encuentran referencias de pozos perforados a 800' (266 mts) de profundidad y de un pozo artesiano en St. Louis Missouri en el año 1859 a una profundidad de 2193 pies (669 mts.) En el año 1859 se perfora el pozo "Drake" siendo éste el primero perforado con el objeto de localizar petróleo, con este pozo se inicia la industria petrolera propiamente dicha y se empiezan a investigar, diseñar y construir equipos y herramientas mas adecuadas a la perforación.

En el año de 1860 aparecen las primeras brocas de conos pero se usan hasta 1880 y a partir de este año con el desarrollo de la geología petrolera y

de proyectos en yacimientos importantes, se produce una expansión de la perforación y se inicia prácticamente el desarrollo, que la ha llevado a su estado actual. Desde 1900 a la fecha la tecnología petrolera ha introducido sistemas y herramientas adecuadas a las diferentes formaciones y nuevas técnicas en el uso de los fluidos de perforación, lo que ha desarrollado en forma paralela los métodos de construcción de pozos para agua, ya que actualmente se han incorporado los adelantos logrados por la industria petrolera, no solo en la perforación sino hasta los derivados del estudio de los fluidos y su existencia y movimiento en las diferentes formaciones geológicas.

#### DISEÑO DE POZOS

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

1. PROPOSITO DEL POZO
2. CAPACIDAD ESPERADA (GASTO QUE SE PRETENDE EXTRAER)
3. CARACTERISTICAS DE LA FORMACION GEOLOGICA
4. CARACTERISTICAS DEL ACUIFERO (S)
5. METODO DE CONSTRUCCION

## PROPOSITO DEL POZO

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

- I. IRRIGACION
- II. ABREVADERO
- III. MUNICIPAL
- IV. INDUSTRIAL
- V. DOMESTICO
- VI. RECARGA DE ACUIFEROS
- VII. DRENAJE

## CAPACIDAD DEL POZO

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

## CARACTERISTICAS DE LA FORMACION GEOLOGICA POR PERFORAR. ☺

Especificando que es lo que se espera atravesar de acuerdo con lo siguiente:

- a) Materiales no consolidados. Si se trata de arenas, gravas, aluviones,

boleos, depósitos de talúd, rellenos, rocas fracturadas, etc.

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

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

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

Si es posible; cuando se conozca en forma aproximada la geología del sitio, en cualquiera de los casos anteriores, detallar las formaciones atravesadas, su nombre o nombres, su estructura, la presencia de fallas, intrusiones, alternancia y contactos, con lo que se contará con una información -- muy valiosa.

## CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA PRODUCTORA

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

En forma general, podemos enumerar la información más importante que de ser posible deberemos buscar, como es; la información de pozos cercanos, la de los materiales atravesados en esos pozos durante su construcción, de los gastos de aforo y/o de explotación, sus niveles estáticos y dinámicos, los registros eléctricos o sondeos geofísicos y las granulometrías de las zonas productoras y/o sus características geológicas, los volúmenes y tipo de agua que se obtienen en los pozos, haciendo notar en especial los casos en que presentan problemas de salinidad o mineralización, que sea necesario aislar o que aún sea posible aprovechar. Cuando se -- cuenta con suficiente información, trataremos de definir si se trata de acuíferos libres o confinados, o varios acuíferos y cuáles formaciones son las productoras, cuáles las confinantes y cuál es su posición, profundidad y características geológicas, así como la profundidad y características de la -- base del acuífero.

## MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN

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

Los métodos de construcción utilizados son los siguientes:

- a) Percusión. Que se lleva a cabo con una perforadora de pulseta, y es necesario conocer su capacidad y las herramientas con que se cuenta.
- b) A. Rotación. Se utiliza una máquina rotaria y el sistema dependerá del fluido de perforación que probablemente pueda ser utilizado, como agua; - lodo o aire, y si la rotaria es para perforación directa o inversa, se debe conocer su capacidad y la herramienta por utilizar y los volúmenes de aire y presiones que se tengan disponibles.
- c) Combinado. Percusión-Rotaria, con martillo neumático y máquina rotaria, se deberá tener el dato de los volúmenes de aire y las presiones disponibles.

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



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PERFORACION DE POZOS PARA AGUA**

**METODOS DE PERFORACION**

**ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR**

**ABRIL, 1984**

## MÉTODOS DE PERFORACION

### PERFORACION A PERCUSION

Este método es el mas antiguo conocido y a la fecha sigue siendo muy utilizado y aunque durante el transcurso de los siglos tuvo algunas pequeñas mejoras, como ha sido el uso de motores de combustión interna, cables de acero, engranes, amortiguadores, sistemas de transmisión, etc., el procedimiento básico de subir y bajar una herramienta de determinado peso para golpetear la formación con un trepapo con puntas en forma de cincel sigue siendo el mismo y actualmente se realiza accionando el trepapo, al cual se le ha agregado peso a través de un barretón, y se maneja a través de un cable conectado a unas tijeras de perforación que permiten el golpeteo constante del fondo del pozo disgregando los materiales, poniéndolos en suspensión en un lodo que se agrega al pozo, siendo extraídos los cortes posteriormente mediante el uso de una cuchara para limpieza.

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

El trepapo o broca. Es la herramienta de ataque y está diseñada conteniendo un filo de penetración que fractura y disgrega la formación, un cuerpo que transmite el peso necesario para el impacto y que con su cambio de sección provoca una agitación mecánica del lodo que se adiciona o-

## 2.

que se forma al ir perforando, logrando poner en suspensión gran parte de los cortes, dependiendo de su tamaño y peso.

Los tipos de brocas son la regular o tipo californiano, dos aguas, la de cruz, cuatro aguas, cuyos alerones proporcionan un mayor soporte en formaciones con tendencia a desviarse, o en espiral que permiten una mayor agitación del lodo dentro del pozo y un mayor giro de la herramienta que permite dar la forma redondeada en materiales suaves, sobre todo en materiales suaves y arcillosos alisando y remodelando las paredes hasta lograr su compactación, los hombros pueden ser oblicuos (normal) o rectos, en el primer caso se trata de evitar el atascamiento y en el segundo permitir golpetear hacia arriba cuando sea necesario.

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

Barretón. Sobre la broca va conectado el barretón que es la pieza que

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

Tijera o Percursor. Es la herramienta conectada a la parte superior del barretón que tiene dos funciones esenciales, en forma similar a los eslabones de cadena, permite el juego entre la herramienta de perforación y el cable reduciendo el chicoteo del mismo, y además nos sirve como un elemento de seguridad, puesto que en un caso de derrumbe de la formación o de haberse atrapado la herramienta permitirá el golpeteo hacia arriba para desatascarla.

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

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

Cable. Un elemento de la mayor importancia es el cable de perforar, del-

## 4

que depende la sarta de perforación y es el que le transmite la fuerza torsora que permite elevar y soltar la herramienta para lograr el impacto necesario, está sometido por lo tanto a un esfuerzo continuo y violentas sacudidas al tensar la herramienta, sufre un desgaste continuo por la fricción con las partículas que contiene el lodo, así como la producida por el roce con las paredes de la perforación al chicotear el cable, el rozamiento al enrollarlo y subir y bajar la sarta y las cubetas de limpieza, a la torsión que se produce en los cambios de dirección, en los contactos con las poleas, etc.

Para poder soportar todos estos esfuerzos, el cable debe reunir varias características, como son la suficiente capacidad a la tensión adecuada a las herramientas que moverá, flexibilidad y resistencia al desgaste por fricción.

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

Debe existir además una relación adecuada entre el diámetro del cable y el de las poleas de la máquina así como debe tenerse el cuidado para que—

el cable asiento debidamente. Los fabricantes de cables nos dan las siguientes tolerancias.

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

DIAMETRO DEL CABLE		DIAMETRO DE LA RANURA	
6.5-8 mm.	(1/4 — 5/16")	+0.4-0.8 mm.	+ (1/64—1/32)
9.5-19	(3/8 — 3/4 )	+0.8-1.6	+ (1/32—1/16)
20-28	(13/16—1-1/8)	+1.2-2.4	+ (3/64—3/32)
30-38	(1-3/16—1-1/2)	+1.6-3.2	+ (1/16—1/8 )
40-50	(1-19/32—2)	+2.4-4.8	+ (3/32—3/16)

25

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

Cable	Diámetro del Tambor o Polea
6 x 7	42 $\phi$
6 x 19	30 $\phi$
6 x 37	18 $\phi$
8 x 19	21 $\phi$
8 x 7	34 $\phi$

Otra regla general puede ser la siguiente:

Diámetro de Tambores	D	400 d	(diámetro de los alambres mas gruesos del cable)
Diámetro de Poleas	D	450 d	

## VARIACION DEL METODO DE PERCUSION UTILIZANDO UN POZO GUIA DINAMITADO.

La perforación de rocas de gran dureza como basalto, riolitas y andesitas sanas, suele en algunos casos, ser muy lenta y presenta gran dificultad y en estos casos cuando se cuenta con equipo puede utilizarse esta variación que reduce los tiempos de construcción.

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

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

Como cebo se utiliza una gelatina que se coloca en el fondo y como detonador un estopín eléctrico, a partir del cebo se rellena el pozo de 6 1/2" de diámetro, con un explosivo a base de nitrato de amonio hasta llegar a los estratos suaves donde se rellena con arena gruesa para evitar un puenteo.

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

ción separada de voladura.

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

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

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

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

No deberán ponerse varios cebos a lo largo de una misma carga, en lugar-

de reforzar la explosión en esos lugares como erróneamente se cree, únicamente provocará el mismo efecto del cordón explosivo reduciendo la velo cidad de la onda y un aumento del costo de los explosivos usados.

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

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

## PERFORACION A ROTACION DIRECTA.

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

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

## METODO DE PERFORACION

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

La broca al girar corta y desmenuza el material conforme penetra en la formación y una vez realizada esta operación se limpia el fondo del pozo y desalojan los cortes con el fluido de perforación que se alimenta a través de la herramienta y que al descargar a través de la broca golpea el fondo del pozo limpiándolo de las partículas quebradas y ayudando en algunos casos a facturar la roca, el fluido prosigue desplazándose hacia afuera del pozo acarreado los cortes a la superficie dejándolo limpio, mientras la tubería y la broca prosiguen su movimiento hacia abajo profundizando el pozo, el fluido descarga en la superficie, donde se separan los cortes utilizando la decantación en fosas para tal efecto o por vibración mediante el uso de mallas adecuadas.

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



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PROBLEMAS ESPECIFICOS DURANTE LA PERFORACION  
Y SOLUCIONES POSIBLES

ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR

ABRIL, 1984

### III. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DURANTE LA PERFORACIÓN Y SOLUCIONES POSIBLES

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

1. Propósito y Objetivo.- Cuales son los requisitos en cuanto a recuperación del núcleo, muestreo, profundidad y tiempo necesario.
2. Litología.- Tipo, profundidad de las formaciones y condiciones estructurales relacionados con la estabilidad del pozo.
3. Equipo de Perforación.- Capacidad, limitaciones y estado actual del equipo.
4. Agua.- Calidad, cantidad y fuentes de obtención.
5. Personal.- Experiencia, capacidad y supervisión.
6. Local.- Acceso de provisiones, plano de perforación y designación de área para excedentes.
7. Clima.- Temperaturas extremas.

Estos factores es necesario condicionarlos durante la planeación --

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

- a. Derrumbes
- b. Pérdidas de circulación
- c. Atrapamiento de herramienta
- d. Caídos
- e. Corrosión
- f. Gas
- g. Desviaciones
- h. Sales
- i. Artesianismo, etc.

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

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

- Saturamiento con agua de una estructura inestable.

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

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

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

**Materiales Pesados.**- Con una suficiente presión hidrostática en la columna del fluido de perforación.

ción puede sostener muchas formaciones inestables.

Cualidades de Filtración.- Manteniendo un eficiente flujo de perforación que permita la entrada de la menor cantidad de agua posible a la formación, con el fin de evitar la hidratación de las arcillas.

Película (cake).- Debe ser delgada para impedir el pistoneo al remover las herramientas.

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

- b. Pérdidas de Circulación.- La pérdida del flujo de circulación es el problema más frecuente y serio que se encuentra en las perforaciones y las causas que lo originan son difíciles de identificar.

Es importante antes de establecer una solución al pro

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

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

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

## 6

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

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

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

Hacer frecuentes exámenes de las propiedades del lodo y mantener las siguientes propiedades:

- a. Peso mínimo
- b. Viscosidad mínima anular
- c. Filtración mínima (restricción y control del "cake").

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

- a. Tapones de Cemento.- La lechada agua-cemento tiene un ángulo de reposo muy bajo y a esto puede deberse que no sean muy eficientes. Se colocan por desplazamiento y a gravedad, con la tubería franca situada unos 5 - 10 m arriba de la zona de pérdidas. Se debe tener mucho cuidado al colocar este tipo de tapones ya que se puede pegar la tubería de perforación, por un mal fraguado de la mezcla o bien porque pueden desprenderse fácilmente pedazos de cemento ya fraguado con el movimiento de la tubería, una vez que se reanuda la perforación. Cabe mencionar que debido a la dureza de estos tapones y cuando la roca presenta una consistencia menor que la del cemento fraguado, la perforación puede desviarse de su posición original.
- b. Tapón de Cemento, Bentonita y Perlita Expandido.- Esta lechada tiene un ángulo de reposo mayor que la anterior. La perlita sirve para formar puentes y detener la pérdida de la lechada en la formación, y para disminuir la densidad de la lechada hasta un mínimo de 1.32 g/cc. Como dato comparativo, la lechada de cemento y agua pesa alrededor de 1.85 g/cc.

Si no se dispone de la perlita, se puede usar en su lugar tierra diatomácea en concentraciones hasta de 40% en peso que reducen la densidad de la lechada hasta 1.33 g/cc, aproximadamente. El tiempo de fraguado inicial del cemento, no se modifica por la adición de esta tierra, pero sí se reduce la resistencia a la compresión.

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

- c. Tapón de Cemento y Bentonita.- Tienen un ángulo de reposo alto, pero la densidad de la lechada no es tan baja como cuando se adiciona perlita. El porcentaje máximo de bentonita puede ser del 12%, pero a partir

del 10% colocado será necesaria la adición de un disper-  
sante (ligno sulfonato cálcico) para evitar altas presio-  
nes de bombeo.

- d. Tapón Diesel - Bentonita.- Estos taponos tienen la ven-  
taja de no expandir la bentonita antes de que entre en  
contacto con el agua de la formación. La lechada se ha-  
ce mezclando desde superficie bentonita con diesel, - -  
aunque también puede hacerse adicionando cemento al die-  
sel y bentonita.

La mezcla debe quedar como un atole bien espeso. Pa-  
ra la colocación de taponos, se deben tener los siguien-  
tes datos:

P = Profundidad inferior a la que se colocará el tapón  
(metros).

L = Longitud descada del tapón (metros).

V = Volumen necesario de la mezcla (litros).

T = Capacidad de la tubería de perforación (litros/m).

C = Capacidad del espacio anular de tubería - pozo -  
(litros/mm).

## 10.

$A_c$  = Recíproco de capacidad entre tubería de perforación-pozo (m/litros).

$A_t$  = Recíproco de la capacidad de la tubería de perforación (m/l).

$E$  = Número de emboladas.

A continuación se dá un ejemplo de colocación de un puente o tapón balanceado en una perforación de 8 3/4" de diámetro, con tubería de perforación de 3 1/2" I.F. de 13.3 lbs/pies.

Se desea colocar un tapón de 25 m de longitud, a 98 m de profundidad.

1. Volumen necesario:  $V = L (C + T)$

donde:

$$L = 25 \text{ m}$$

$$P = 98 \text{ m}$$

$$C = 30.683$$

$$T = 3.87$$

$$V = 25 (30.683 + 3.87) = 863.7 \text{ litros}$$

## 11

2. Litros de diesel para colocar tapón:

$$\frac{A_T}{A_C}$$

donde:

$$A_C = \frac{1}{30.683}$$

$$\frac{A_T}{A_C} = 7.9285$$

o sea: 7.93 litros de diesel delante del tapón = 11t  
de diesel después del tapón.

Si colocamos 160 lts de diesel tendremos  
que bombear 20 litros después para des-  
plazar.

3. Número de emboladas:

$$E = \frac{P - \left[ L + \left( \frac{\text{desplazamiento de la bomba con } 100\% \text{ de eficiencia}}{100\% \text{ de eficiencia}} \right) \right]}{\left( \text{desplazamiento de la bomba con eficiencia real} \right)}$$

Para el ejemplo:

$$E = \frac{98 - (25 + 5)}{4} = 17 \text{ emboladas}$$

## 12

Se ha considerado una bomba Gardner Denver de --  
 $5\frac{1}{2}$ " x 8", con 100% de eficiencia = 4.98 litros/embolada  
 con 80% de eficiencia = 4.0 litros/embolada

4. De acuerdo al programa del tapón:
- a. Colocar tubería franca a 98 m
  - b. Bombear 160 litros de diesel
  - c. Bombear lechada de 865 litros
  - d. Bombear 20 litros de diesel
  - e. Desplazar con 17 emboladas.

NOTA: Las emboladas se deben contar en un sólo  
 vástago y el ciclo completo en un sólo pun-  
 to.

Las siguientes observaciones deben hacerse al colocar -  
 un tapón.

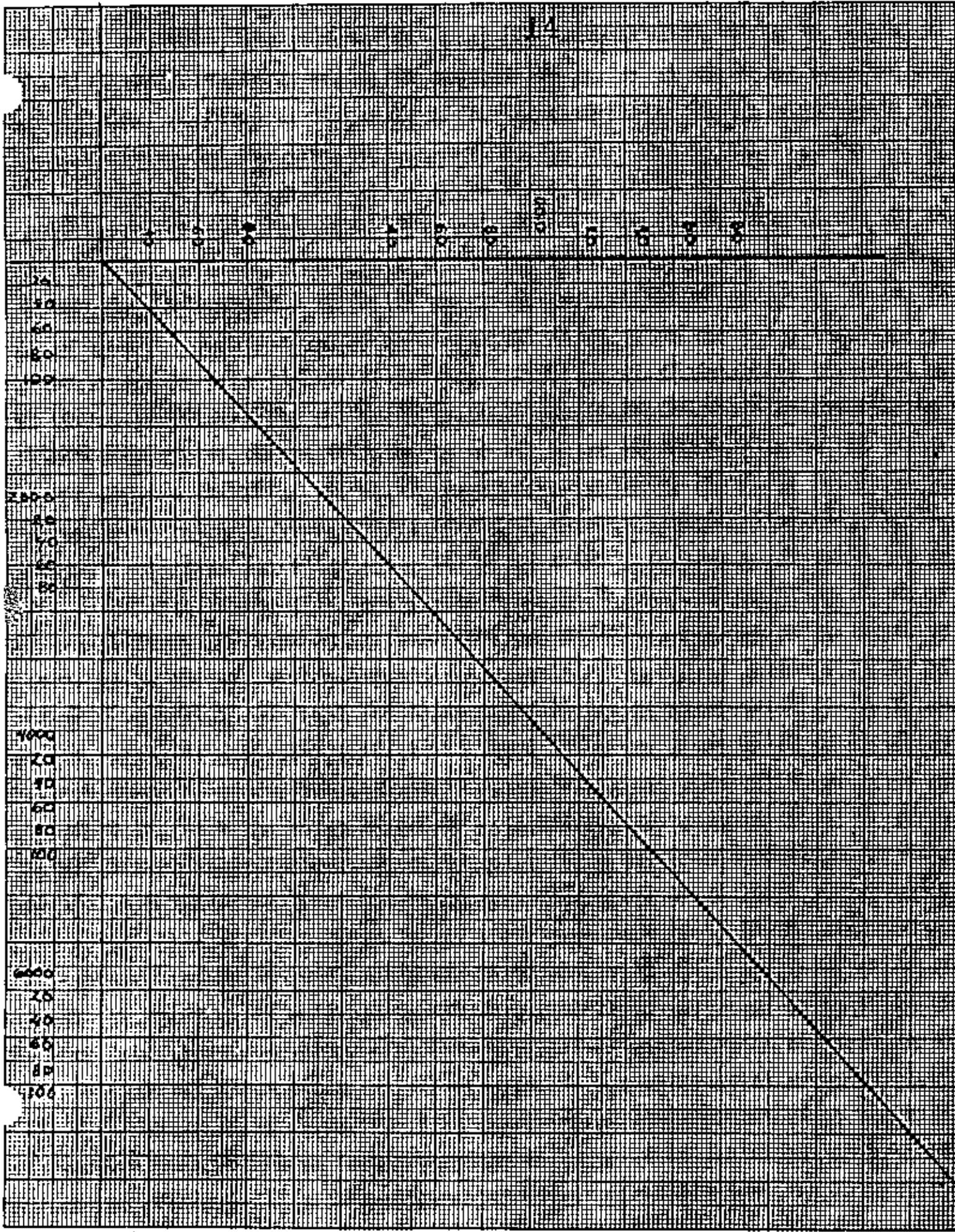
- Reportar profundidad de la tubería franca y volu-  
 men de diesel usado en la mezcla.
- Anotar hora en que se colocó el tapón (al termi-  
 nar de contar las emboladas de desplazamiento).

## 13

- Anotar si circuló en la superficie al desplazar.
- Anotar si se sostiene el nivel después de llenar el pozo.
- Reportar si al sacar la tubería el lodo se tira por el interior de la misma y/o si al desconectar la flecha o kelly se oye succión en el tubo de la rotaria.
- Anotar cualquier aumento de presión al desplazar el tapón.
- Si se tarda más de 90 min en sacar la tubería -- por causa imprevista, vigilar el indicador de peso.
- Reportar a que profundidad se tocó la parte superior del tapón al bajar la herramienta con barrena.

La Fig.13 representa el número de emboladas que se deben dar para desplazar un tapón (usando el equipo indicado en la misma) a diversas profundidades.

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



## 15

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

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

Una vez que se ha colocado el aceite en el pozo, se tratará de sacar la tubería con esfuerzos de tensión dados con la máquina misma, y si esto no diera resultado, se le ayudará al equipo utilizando gatos hidráulicos de capacidad mayor al dado con el equipo de perforación. Si la tubería continúa pegada será necesario llevar un ademe entre el espacio anular con el fin de --

...cortar el bloqueo de la herramienta

Recomendaciones a base del flujo de perforación, para prevenir o reducir las pegaduras.

a. Mínima densidad para mantener la menor presión diferencial y asegurar un contenido bajo de sólidos en la película de arcilla (cake).

b. Una pérdida de filtración baja para reducir la acumulación de arcilla en el "cake" cuando se para la circulación.

c. Fricción mínima entre el "cake" y la tubería que se consigue, manteniendo el lodo libre de arena.

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

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

e. Corrosión.- Se presenta cuando el agua de la formación contiene sales en solución que dañan la herramienta.

ta de perforación. Puede evitarse, parcialmente, agregándole al lodo, aditivos a base de una sustancia que contrarrestre o neutralice a la de la formación.

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

Quando se tienen antecedentes de que puede haber gas en el área en donde se está perforando, será necesario observar el flujo de perforación que sale del espacio anular y ver si no se presentan burbujas de gas o aire. De ser así, se necesitará elevar la densidad del lodo a base de barita y continuar vigilando la salida del flujo de perforación en el espacio anular. Se recomienda, -

además, el no seguir perforando sino solamente circu-  
lando éste lodo durante algún tiempo a fin de dejar es-  
capar en forma lenta la mayor parte de gas.

Si la presión es demasiado grande, no se podrá conti-  
nuar la perforación sin la colocación de preventores -  
en la boca del pozo.

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

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

Cuando se está utilizando un equipo a base de percu-  
sión se puede corregir la desviación rellenando con -  
piedras el tramo que se ha desviado y volverlo a re-  
perforar. Otra solución podrá ser el uso de explosi-  
vos dentro del pozo para corregir la desviación.

La aplicación del peso adecuado a la barrenadora es fundamental para evitar en lo posible las desviaciones, ya que el hecho de aplicarle mucho peso a la formación ayuda a que se produzcan las desviaciones.

- h. Sales.- Situación similar a la de Corrosiones. Ver inciso (e).
- i. Artesianismo.- Se presenta cuando al llegar con la perforación a algún manto acuífero, éste sube por el agujero hasta salir a la superficie, aunque no necesariamente esto siempre ocurre.

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



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PROPIEDADES DE LOS LODOS DE PERFORACION

ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR

ABRIL, 1984

## 1

## PROPIEDADES DE LOS LODOS DE PERFORACION

- 1.- PESO DEL LODO O DENSIDAD
- 2.- VISCOSIDAD DEL LODO
- 3.- RESISTENCIA DE GEL
- 4.- FILTRACION

## MEDIDA DE LAS PROPIEDADES DE LOS LODOS

- 1.- DENSIDAD - BALANZA DE LODOS
- 2.- VISCOSIDAD - CONO DE MARSH
- 3.- RESISTENCIA DE GEL - VISCOSIMETRO DE ROTACION
- 4.- FILTRO - PRENSA.

adversa la velocidad de perforación.

La balanza de lodos Baroid se usa para determinar la densidad de un lodo en el cual se puede leer directamente la densidad en diferentes unidades:

- lb/gal            agua 8.33
- lb/ft<sup>3</sup>            agua 62.4
- Gravedad específica agua<sup>1</sup>.
- Gradiente de presión en psi/1000 ft

2.- Viscosidad del Lodo. Se define como la resistencia a fluir. La viscosidad deseada en una perforación en particular está influenciada por algunos factores, entre ellos; la densidad del lodo, tamaño del barrenado, capacidad de bombeo, velocidad de perforación, presiones requeridas y problemas del barrenado. La viscosidad aparente de un lodo de perforación, se mide con el cono Marsh, y es el tiempo en segundos requerido para vaciar un litro de lodo contenido en el embudo a través del orificio en su fondo.

Cuando se perfora con un fluido a base de agua, a diferencia del lodo de perforación que mantiene limpio el agujero con una velocidad anular que puede considerarse baja, del orden de 70 - 125 pies por minuto, es necesario alcanzar velocidades de retorno de aproximadamente 3000 pies por minuto, por lo que el recorte es removido casi tan rápidamente como se

forma, incrementando con esto la velocidad de penetración sobre todo cuando se atraviesan materiales suaves y la producción de corte es abundante.

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

Existe otra propiedad que se utiliza con una gran ventaja en la perforación con aire, entre menos densidad y viscosidad presenta un lodo de perforación es mayor el rango de penetración de la formación por el incremento de la velocidad de retorno, sin que se tenga un fuerte aumento de las pérdidas de carga por fricción, luego entonces, se perfora mas rápidamente con aire que con agua y mas rapidamente con agua que con lodo; por lo anterior siempre que sea posible y en lugares donde existan pequeñas o grandes pérdidas de circulación, el perforar con aire puede ser usado con ventaja, ésto es posible por el incremento en la velocidad de extracción del corte como ya se mencionó.

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

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

## B r o c a s .

## 5

Son las herramientas que propiamente efectúan la perforación de una formación y están constituidas por unos conos dentados que son los elementos cortadores. Normalmente, cada broca consta de tres conos (brocas tricónicas), aunque hay también de dos rolles. Estos conos cortadores se fabrican en diferentes diseños, de tal manera que cada tipo de cono está diseñado para perforar un material de cierta dureza, conforme ésta aumenta se modifica el diseño aumentando el número de dientes y disminuyendo su tamaño.

Obviamente, en las formaciones suaves se obtendrán rendimientos muy altos en velocidad y en consumo de barrenas, en materiales duros se obtendrán penetraciones muy pequeñas y un gasto excesivo de la barrena.

Los rendimientos que se tengan con las brocas dependerá directamente de la selección del tamaño de los dientes del cono cortador; así, si van a perforarse formaciones suaves, deberán usarse barrenas de dientes largos, lo cual evitará que los rolles se "atasquen" al acumularse el material (arcilla y lutitas) entre los dientes.

En formaciones que presentan alternancia en la estratificación o capas de materiales suaves con firmes o furos, es necesario escoger la que -

nos perfora la formación que nos limita la velocidad de penetración que -- puede ser la de mayor espesor o posiblemente la mas dura o se debe considerar una solución interna.

Quando se encuentran rocas duras o muy duras, poco abrasivas, deberán utilizarse brocas de dientes cortos y para el caso de materiales mas duros y abrasivos que los anteriores, los dientes deberán ser cortos a muy cortos. El número de dientes aumenta de acuerdo a la dureza y su tamaño disminuye hasta cuando la roca es extremadamente dura y muy abrasiva, donde se llega al uso de las brocas de botones de carburo de tungsteno.

Como una guía muy general para darse cuenta del buen funcionamiento del sistema fluido-brocas tricónicas, se deberá observar el tamaño de las esquirlas del corte, el cual deberá estar entre tres y diez mm. de diámetro.

Cada fabricante tiene una diferente nomenclatura para sus tipos de barrenas para utilizarlas de acuerdo al tipo de material de que se trate. En el caso de los martillos de perforación generalmente son de insertos de carburo de tungsteno y construídas como una sola pieza con el zanco sobre el que golpea el pistón, pero también pueden ser utilizadas las brocas tricónicas de uso común conectadas a través de un zanco especial constituído con ese objeto.

Los fabricantes de brocas tricónicas no las garantizan en su uso para --

7.

martillos por no estar construídas para este tipo de trabajo, pero pueden utilizarse adecuadamente y se deberá tener la precaución de solicitar la broca para aire "air blast", en el caso de perforación de basaltos y otras rocas de muy alta dureza es conveniente una revisión periódica para poder detectar cualquier falla con oportunidad.

## PERFORACION A ROTACION UTILIZANDO AGUA COMO FLUIDO DE PERFORACION.

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

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

Al perforar, se crea una diferencia de presiones en la broca puesto que — en el anillo que existe entre la formación y la herramienta, se tiene un — fluido formado por agua con recorte en suspensión y dentro de la tubería, — existe agua prácticamente limpia menos pesada que el fluido que va ascen- diendo a la superficie; la diferencia de presiones creada por la situación — anterior y la de suspender la circulación para hacer una conexión, provo- ca un flujo ascendente en el interior de la tubería de perforación, como es- te fluido tiene corte, al circular hacia dentro obstruye el interior de la — broca, cosa que obliga a sacarla para destapar, esto se impide colocando una válvula check lo mas cercana a la broca, esta precaución pueda evitar que la herramienta sea atrapada en un momento dado en el fondo del barre- no.

Otra de las precauciones que se deben tener, es la de observar si se tie- nen rellenos superficiales en la zona de la localización en cuyo caso será necesario llevar contra-ademes hasta pasar dichas zonas. En zonas don- de la formación superior presenta capas de arena suelta, sobre todo si es- tas se encuentran en zona cercana al nivel freático superficial es muy con- veniente llevar el contra-ademe a un nivel inferior al del nivel freático. — Esto es debido generalmente a que en la zona de oscilación del nivel, se — presentan grietas y en consecuencia grandes pérdidas de circulación que — aunque no sean totales provocan deslaves que pueden ascender hasta la su- perficie y colapsar el pozo, sobre todo en este caso de perforación con — agua. Siguiendo las recomendaciones anteriores se podrá esperar la mí- nima presentación de problemas al perforar con agua en materiales suav- es, siempre y cuando se trate de pozos someros (100 mts.) que puedan — ser perforados rápidamente.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

A N E X O S

ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR

ABRIL, 1984

## AIRE COMPRIMIDO

### Definiciones:

#### Capacidad del Compresor.

Se refiere al flujo del aire o gas comprimido, entregado de acuerdo a las condiciones de temperatura, presión atmosférica y composición del aire a la entrada del compresor.

#### Desplazamiento del Compresor.

Es el volumen desplazado por unidad de tiempo y usualmente se expresa en pies cúbicos por minuto, por ejemplo: En un compresor reciprocante, es igual al área del pistón multiplicado por el desplazamiento del mismo y por el número de emboladas por minuto.

En el caso de multicompresores (booster) el dato que nos da el fabricante, corresponde al desplazamiento de los cilindros de baja presión únicamente, salvo una indicación contraria.

#### Compresión Adiabática.

Se considera compresión adiabática cuando no se agrega o se quita calor al gas durante el proceso de compresión. La ecuación característica que relaciona la presión y el volumen durante este proceso es:

$$PV^k = C$$

que es la relación entre el calor específico a una presión constante y el calor específico a un volumen constante.

## COMPRESIÓN ISOTERMAL

Se realiza cuando la temperatura del gas permanece constante durante la compresión. Para los gases perfectos su producto presión por volumen permanece constante y su proceso es reversible.

### Relación de Compresión

Es la relación entre la presión absoluta de descarga y la presión absoluta de entrada.

### Eficiencia de Compresión

Es la relación entre los HPs teóricos y los HPs agregados al aire o al gas que entrega el compresor.

La potencia agregada es la potencia al freno menos las pérdidas de carga en el sistema.

### Eficiencia Isotermal

Es la relación entre el trabajo teórico calculado bajo una base isotermal y el trabajo agregado al gas durante la compresión.

### Eficiencia Mecánica

Es la relación entre los HPs agregados al aire o gas y la potencia al freno.

### Eficiencia Volumétrica

Eficiencia volumétrica, es la relación entre la capacidad del compresor y el desplazamiento del compresor, este término no se aplica a los compresores centrífugos.

## AIRE LIBRE

Se define como aire libre aquel que se encuentra a las condiciones atmosféricas en cualquier lugar, se refiere a desplazamiento o capacidad.

### Potencia al Freno

Es la potencia que recibe el compresor a través de la flecha.

### Potencia Teórica

Son los HPs requeridos para comprimir el aire o el gas entregado por el compresor sin cambios de temperatura del mismo, a través de los rangos de presión especificados.

### Humedad relativa

La humedad específica es el peso del vapor de agua en una mezcla de aire vapor, por unidad de aire seco.

### Presión absoluta

Es la presión total medida desde el cero absoluto, desde el vacío absoluto

Es la suma de la presión barométrica y la presión medida.

### PRESIÓN DE DESCARGA.

Es la presión absoluta total en la descarga del compresor, comúnmente se define como presión medida, pero a menos que se incluya la presión barométrica, no debe considerarse como "presión de descarga"

### Gravedad Específica

Es la relación entre el peso específico del aire o gas y el peso del gas - seco a la temperatura y presión ambiente.

### Peso Específico

Peso específico de un gas es el peso del aire por unidad de volumen y a menos que se especifique, se refiere al peso por unidad de volumen en las condiciones de temperatura, presión y composición que prevalezca a la succión en el compresor.

### Aire Standar

ASME se define como tal aquel que se encuentra a 68°F, 14.70 y humedad relativa de 35% (Densidad 0.0750) pero en la industria la temperatura del aire Std es de 60°F

## FACTORES QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA NEUMÁTICA

- 1.- **Peso de la Herramienta.** Una herramienta ligera es más fácilmente manejable.
- 2.- **Velocidad.** Entre mayor velocidad se imprima a la herramienta, más pronto se realiza el trabajo.
- 3.- **Potencia.** Con mayor potencia (cuando se necesita) se logra la estabilización de la velocidad a una carga determinada.
- 4.- **Medida.** Debe ser tal que pueda realizar el trabajo fácilmente.
- 5.- **Calidad.** Este es un factor muy importante a tomar en cuenta.
- 6.- **Uniformidad**
- 7.- **Mantenimiento, Costos**
- 8.- **Eficiencia Relativa.** La eficiencia de trabajo comparada con otros métodos para realizar el trabajo.

El escoger la herramienta adecuada hace posible a un operador realizar mejor su trabajo. El costo del uso de la herramienta misma más costo del aire requerido es en ocasiones pequeño comparado con las consecuencias en el costo de una incorrecta selección del equipo.

Adecuada Presión de Aire.

La importancia de una adecuada selección de mangueras y el valor de una adecuada presión de aire es indiscutible, casi sin excepción las mayores pérdidas de carga en cualquier sistema neumático se encuentran en las mangueras y conexiones, desafortunadamente no siempre se le da la atención adecuada a la selección de mangueras y se llega a tener pérdidas de carga exageradas, produciendo un efecto negativo en la producción.

Las pérdidas mayores se encuentran en los sistemas que utilizan mangueras muy largas y o muy pequeñas, así mismo el uso de coples, nipples, reducciones y un diseño geométrico inadecuado, provocan reducciones importantes del aire entregado.

La altitud del sitio de operación afectará el volumen de aire libre requerido que depende no solo de la presión a la entrada de la herramienta sino de la presión atmosférica del lugar.

El factor para convertir su volumen de aire comprimido a un volumen de aire libre se obtiene al dividir la presión a la entrada (psia) entre la presión atmosférica (psia)

A continuación damos una tabla con los coeficientes para obtener el volumen de aire requerido por una herramienta, cuando conocemos su consumo de aire libre al nivel del mar que es un dato que nos entrega el fabricante.

Coeficiente de Corrección por Altitud

Piés	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Metros	0	305	610	915	1220	1526	1831	2136
Coeficiente	1.0	1.02	1.05	1.08	1.11	1.14	1.18	1.22

Piés	8000	9000	10000	12500	15000
Metros	2441	2746	3050	3813	4577
Coeficiente	1.28	1.30	1.34	1.46	1.58

## COMPRESORES

### Propósitos de la Compresión.

La compresión de un gas tiene como objetivo entregar gas a una presión mayor que la existente originalmente.

La compresión tiene varios propósitos como son:

- 1.- Transmitir potencia
- 2.- Proveer aire para combustión
- 3.- Transportar y distribuir gas
- 4.- Circular gases durante proceso
- 5.- Para acelerar reacciones químicas, etc..

El mas interesante en nuestro caso es el de transmitir potencia a través de un sistema de aire comprimido para mover herramientas neumáticas y de proveer la potencia necesaria que dará velocidad al flujo de perforación.

### Métodos de Compresión.

Existen 4 métodos para comprimir un gas.

Dos del tipo intermitente y dos de flujo continuo.

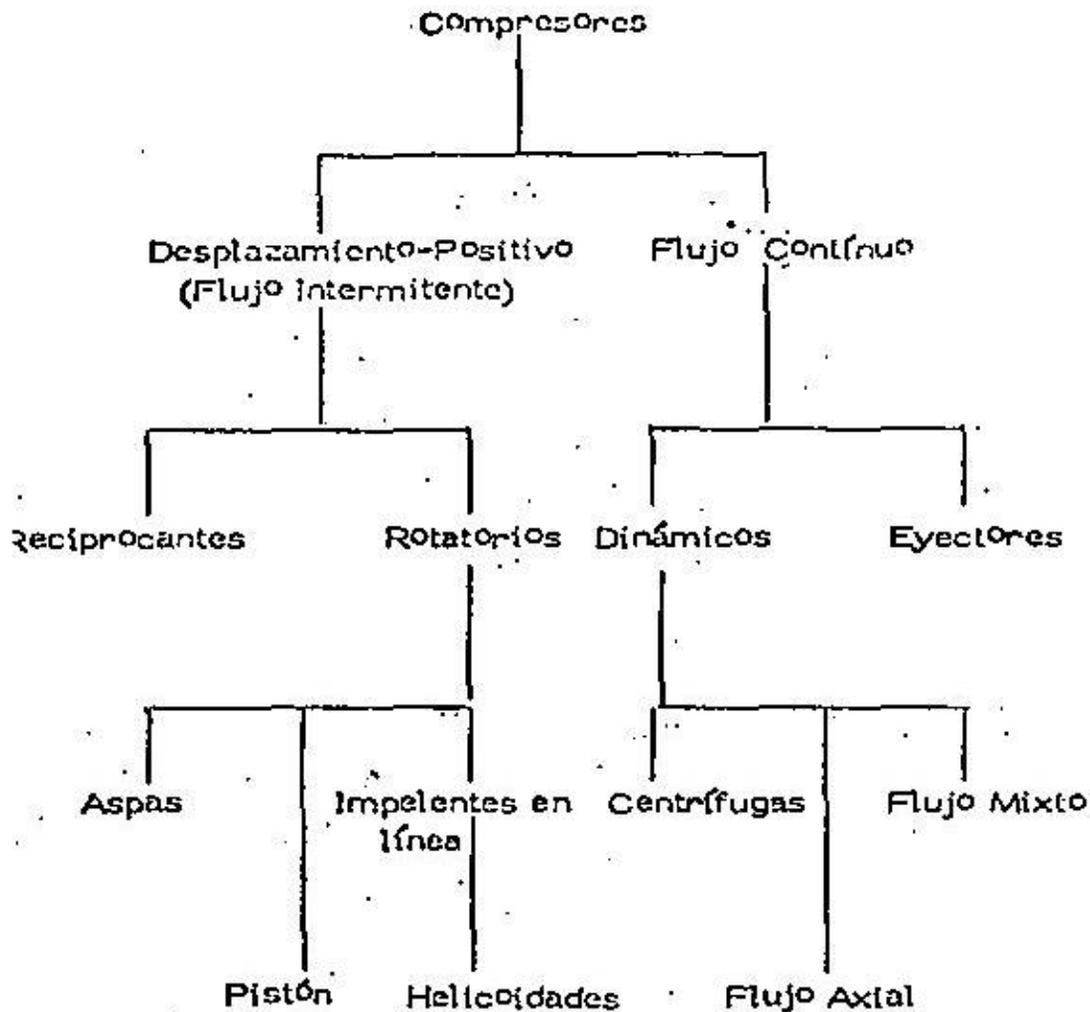
Estos métodos son:

- 1.- Confinar cantidades consecutivas de gas en un depósito, reducir el volumen aumentando la presión y expulsando luego el gas comprimido.
- 2.- Confinar cantidades consecutivas de gas en un determinado depósito, transportarlo sin cambio de volumen a la descarga y comprimir el gas al retornar desde el sistema de descarga y expulsar entonces el gas comprimido fuera del depósito.
- 3.- Comprimir el gas por la acción mecánica producida por la rotación a altas velocidades de impelentes o rotores de paletas que imparten velocidad y presión al gas que está circulando, la velocidad es posteriormente convertida en presión en los difusores fijos o paletas según el caso.
- 4.- Forzar la mezcla del gas al pasar por una espina de alta velocidad sobre el mismo o diferente tipo de gas (vapor de agua) y convertir la alta velocidad de la mezcla en presión en un difusor.

Los compresores que usan los métodos 1 y 2 son del tipo intermitente y son conocidos como compresores de desplazamiento positivo, los que utilizan el tercer método son conocidos como dinámicos y los que utilizan el cuarto método son conocidos como eyectores y normalmente operan con vacío en la succión.

## TIPOS DE COMPRESORES.

10.



Compresores de Desplazamiento Positivo. Son aquellas unidades que confinan volúmenes sucesivos de gas en un depósito y lo elevan a una - una mayor presión.

- 1) Compresores Recíprocantes. - El elemento de desplazamiento y - compresión es un pistón que tiene un movimiento recíprocante dentro de una camisa.

2) Rotatorios. - En este caso la compresión y desplazamiento es producido por la acción positiva de elementos a rotación.

2a) De Aspas. - En los que aspas radiales se desplazan en un rotor excéntrico montado en un cuerpo cilíndrico. El gas atrapado entre las aspas al rotor, es comprimido y desplazado.

2b) De Pistón. - Aquí se utiliza un líquido como el pistón para comprimir y desplazar el gas manejado.

3b) Impelentes en línea. Dos impelentes de forma tabular comprimen gas y lo acarrean desde la entrada hasta la descarga. No hay compresión interna.

4b) Helicoidales. - Dos rotores interconstruidos cada uno con forma helicoidal comprimen y desplazan el gas.

Compresores Dinámicos. Son máquinas rotatorias de flujo continuo en el que la rápida rotación de los elementos acelera el gas, convirtiendo la carga de velocidad en presión, parte en los elementos de rotación y parte en los difusores estacionarios o paletas.

a) Centrífugas. - La aceleración del gas es provocada por uno o mas elementos rotatorios usualmente curvados en los extremos, -

el flujo principal es radial.

b) Axiales. - En este caso la aceleración es obtenida por la acción de rotores de aspas (paletas) redondeadas en los extremos, el flujo principal es axial.

e) De tipo mixto. Los impelentes tiene una forma combinada de - ambos tipos axial y centrífugo.

Eyectores. - Son artefactos que mezclan el gas al paso en una cámara de alta velocidad, convirtiendo posteriormente la velocidad de la mezcla en presión en un difusor.

PRECAUCIONES QUE SE DEBEN TENER CUANDO SE UTILIZAN BROCAS PARA AIRE DURANTE LA PERFORACION.

- 1.- Monte o desmontelas cuidadosamente para no dañar las roscas o trasroscarlas.
- 2.- Cuando utilice una broca nueva, aplíquese poco peso durante un corto período, antes de aplicar todo el peso necesario -- sobre todo cuando se tienen temperaturas bajas.
- 3.- Mantenga la mayor presión posible que permita el paso del -- mayor volumen de aire a través de los baleros de la broca.
- 4.- Dele rotación a la herramienta al estarla sacando del agujero y limpie e inspeccione la broca después de cada viaje -- hasta que los cortadores giren libremente a mano.
- 5.- Nunca perfore con la broca sin circulación de aire.
- 6.- Nunca deje caer o no introduzca la broca bruscamente dentro del pozo cuando se atraviesen boleas o rocas fracturadas.
- 7.- Nunca perfore usando barras de perforación torcidas.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

FUNCIONES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR

ABRIL, 1984

## 1

## FUNCIONES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

- 1.- ENFRIAMIENTO DE LA BROCA
- 2.- REMOVER EL CORTE DEL FONDO DEL BARRENO
  - 2.1. PESO ESPECIFICO DE LA ROCA
  - 2.2. TAMAÑO DEL RECORTE
  - 2.3. DENSIDAD DEL FLUIDO
  - 2.4. VISCOSIDAD DEL FLUIDO
  - 2.5. VELOCIDAD DE CIRCULACION
    - 2.5.1. BOMBA DE LODOS
    - 2.5.2. ESPACIO ANULAR
    - 2.5.3. VELOCIDAD DE RETORNO
- 3.- PREVENCION DE DERRUMBES
- 4.- LUBRICACION DE LA TUBERIA
- 5.- IMPEDIR LA CORROSION
- 6.- SOSTENER LOS CORTES EN SUSPENSION
- 7.- DEPOSITAR CORTES EN LAS FOSAS
- 8.- FACILITAR MOVIMIENTOS DE LA TUBERIA DE PERFORACION Y -  
ADEME.

profundas como es el caso de los pozos para abastecimiento de agua potable de la Cd. de Monterrey y algunos otros.

## FUNCIONES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

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

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

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

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

Es sumamente importante el último punto, ya que puede suceder que en secciones del barreno donde se han erosionado mucho las paredes, el es-

pacio anular sea muy grande y la velocidad del fluido no sea suficiente para mantener los cortes en movimiento hacia afuera del pozo, lo cual produce acúñamiento o atascamientos de la tubería de perforación.

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

Lo dicho anteriormente es válido para cualquier fluido de perforación. A continuación se da un ejemplo del cálculo del retorno anular del corte para una perforación considerando que la velocidad de retorno recomendada es entre 70 y 125 pies/min = 23.3 a 41.6 m/min:

- a. Considerando que contamos con bombas duplex de 5 1/2" x 8", se obtienen los gastos siguientes:

Una embolada doble = 6.2 lts

60 emboladas por minuto = 372 lts/min = 98 gal/min

4

70 emboladas por minuto = 434 lts/min = 115 gal/min

80 emboladas por minuto = 496 lts/min = 131 gal/min

- b. Volumen del espacio anular, considerando la utilización para este ejemplo de una tubería de diámetro 3 1/2" I.F. que desplaza un volumen dentro del pozo de 6.2 lts/metro lineal.:

Perforación  $\phi$  9 1/2" = 46 lts/metro lineal

Perforación  $\phi$  10" = 51 lts/metro lineal

Perforación  $\phi$  7 7/8" = 31.4 lts/metro lineal

Utilizando perforación  $\phi$  9 1/2" con tubería de 3 1/2" I.F.

Tendremos que el volumen del espacio anular es de:

46.6 - 6.2 = 39.8 lts/ml

- c. Velocidad de retorno

Con 60 emboladas:  $\frac{372 \text{ lts/min}}{39.8 \text{ lts/ml}}$  = 9.4 m/min

Con 70 emboladas:  $\frac{434 \text{ lts/min}}{39.8 \text{ lts/ml}}$  = 10.9 m/min

Con 80 emboladas:  $\frac{496 \text{ lts/min}}{39.8 \text{ lts/ml}}$  = 12.46 m/min

Podemos observar que en este ejemplo será necesario utilizar dos bombas del tipo disponible para alcanzar la velocidad recomendada, para lograr la mayor eficiencia durante la perforación del pozo de 9 1/2" de  $\phi$  con una tubería de perforación de diámetro 3 1/2" I.F. o substituir las 2 bombas por una de mayor capacidad.

pacio anular sea muy grande y la velocidad del fluido no sea suficiente para mantener los cortes en movimiento hacia afuera del pozo, lo cual produce acuñamiento o atascamientos de la tubería de perforación.

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

Lo dicho anteriormente es válido para cualquier fluido de perforación. A continuación se da un ejemplo del cálculo del retorno anular del corte para una perforación considerando que la velocidad de retorno recomendada es entre 70 y 125 pies/min = 23.3. a 41.6 m/min.

a. Considerando que contamos con bombas duplex de 5 1/2" x 8", se obtienen los gastos siguientes:

Una embolada doble = 8.6 lts.

60 emboladas por minuto = 516 lts/min = 140 gal/min.

## 6

70 emboladas por minuto = 592 lts/min = 164 gal/min.

80 emboladas por minuto = 688 lts/min = 192 gal/min.

- b. Volumen del espacio anular, considerando la utilización para este - - ejemplo de una tubería de diámetro 3 1/2" I.F. que desplaza un volumen dentro del pozo de 6.2. lts/metro lineal.

Perforación  $\phi$  9 1/2" = 46 lts/metro lineal

Perforación  $\phi$  10" = 51 lts/metro lineal

Perforación  $\phi$  7 7/8" = 31.4 lts/metro lineal

Utilizando perforación  $\phi$  9 1/2" con tubería de 3 1/2" I.F.

Tendremos que el volumen del espacio anular es de:

$$46.6 - 6.2 = 39.8 \text{ lts/ml}$$

- c. Velocidad de retorno

Con 60 emboladas:  $\frac{516 \text{ lts/min}}{39.8 \text{ lts/ml}} = 13.0 \text{ m/min}$

Con 70 emboladas:  $\frac{592 \text{ lts/min}}{39.8 \text{ lts/ml}} = 14.9 \text{ m/min}$

Con 80 emboladas:  $\frac{688 \text{ lts/min}}{39.8 \text{ lts/ml}} = 17.3 \text{ m/min}$

Podemos observar que en este ejemplo será necesario utilizar dos bombas del tipo disponible para alcanzar la velocidad recomendada, para lograr la mayor eficiencia durante la perforación del pozo de 9 1/2" de  $\phi$  con una tubería de perforación de diámetro 3 1/2" I.F., o substituir las 2 bombas por una de mayor capacidad.

Lo anterior debe ser considerado como la base del rendimiento que se obtiene sobre todo en la perforación de materiales suaves donde al ir penetrando la formación vamos teniendo una gran cantidad de cortes que deben ser desalojados rápidamente para poder perforar y no provocar un atascamiento de la herramienta o un fracturamiento en la estructura de la formación que nos produzca caídas graves o pérdidas muy importantes del fluido de perforación que puedan llegar a ser totales.

El procedimiento de cálculo mostrado es el mismo que se utiliza para el caso de la perforación con aire substituyendo únicamente la acción de bomba por la del compresor.

3.- Prevención de Derrumbes..- Dando una suficiente presión hidrostática diferencial dentro del agujero, se pueden mantener formaciones poco consolidadas en su lugar. La columna de fluido en un pozo ejerce una determinada presión en cualquier dirección en un punto que se encuentre a una profundidad determinada. Teóricamente esta presión puede ser aumentada hasta que sea suficiente para mantener en su lugar cualquier formación, que de otra manera sin este soporte podría derrumbarse dentro de la misma. En la práctica, en la mayoría de los casos los fluidos empiezan a perder agua hacia la formación atravesada, por lo que, cuando esto se considera de importancia, es necesario mejorar las características del fluido de perforación, tratando de evitar que el agua filtrada altere la formación y --

que el depósito del gel en las paredes llegue a tener espesores importantes que nos puedan provocar el taponamiento de las formaciones permeables y/o el atascamiento de la herramienta por una pegada diferencial al adherirse la sarta de perforación con el lodo que se deposita en las paredes del pozo, lo que nos provoca la retención de la sarta por la pequeña fuerza de adherencia, pero multiplicada por un área muy grande dándonos una acción similar a la de un pilote hincado, esta es una de las pegaduras menos deseadas por la dificultad de su rescate. En algunas arcillas y -- otras formaciones que en forma natural no están en contacto con el agua, -- cuando un fluido de perforación las alcanza en cantidad suficiente, se expanden y con ello cierran el calibre del pozo impidiendo la libre circulación, -- asimismo, cuando la columna de lodo (fluido de perforación) se llena de burbujas de gases, decrece su peso unitario y consecuentemente se reduce la presión hidrostática del lodo. También cuando se saca la herramienta, se ejerce una acción de pistón o émbolo que succiona, especialmente cuando el lodo tiene una apreciable resistencia de gel, o cuando se ha permitido la formación de una capa importante de bentonita gelificada (cake) por la pérdida de agua hacia la formación. Cuando se presentan algunas pérdidas de circulación se reduce la altura de la columna dentro del pozo y se disminuye proporcionalmente la presión hidrostática, cosa que puede causarnos problemas similares a los ya enunciados.

En el caso de la perforación con aire se pierden las características de prevencción de derrumbes y control de presiones de fluidos existentes en la --

formación, por lo que es evidente que no debe utilizarse en formaciones sueltas ó fácilmente desmenuzables que no presenten una compactación suficiente que evite su desmoronamiento sino solo en el caso de formaciones compactas (ésto es, independiente de su dureza).

a.5. Lubricación de la Tubería de Perforación de las Paredes de Perforación, del Ademe y de la Broca. Un buen fluido de perforación cubre todo con una película que sirve para lubricar, reduciendo pérdidas por fricción durante la rotación.

a.6. Impedir la Corrosión. Un buen fluido de perforación tiene un adecuado porcentaje de coloides que tienen que impedir la corrosión. Para condiciones corrosivas muy severas, es aconsejable agregar inhibidores químicos, como el nitrato o el cromato de sodio.

a.7. Sostener todos los Sólidos en Suspensión en el Fluido dentro de la Perforación, Particularmente Durante Interrupciones de la Perforación. La fuerza de gel de un fluido debe ser suficiente para prevenir que los cortes y otros sólidos se asienten en el fondo del agujero. De una manera similar, los materiales sueltos en grietas e intersticios deben ser sostenidos y evitar su entrada a la perforación. La fuerza de gel varía sobre límites amplios, según el peso, viscosidad y medida de los cortes o partículas de caídos que contenga el lodo.

a.8. Sostener todos los Sólidos en Suspensión en el Fluido dentro de la Perforación, Particularmente Durante Interrupciones de la Perforación.

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

a.8. Depositar todas las Arenas y Cortes en la Zanja o en la Fosa de Se-

## 10

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

a.9. Facilitar Movimientos de la Tubería de Perforación y de Ademe. --

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

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

## PROPIEDADES DE LOS LODOS DE PERFORACION

1. -- Peso del Lodo o Densidad. -- La densidad de un lodo de perforación -- debe controlarse con objeto de suministrar suficiente carga hidrostática -- para impedir la entrada al pozo de fluidos de la formación, pero no tan -- grande que ocasione pérdidas de circulación o que afecte de una manera --



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

SELECCION DEL EQUIPO

ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR

ABRIL, 1984

Todos los datos anteriores nos servirán para llegar a la selección de un sistema de perforación y a un diseño para construcción que prácticamente puede considerarse definitivo, sobre todo en aquellos casos en los que se cuenta con amplia información, sin embargo dicho diseño podrá ser modificado según la información que se obtenga durante su construcción.

### SELECCION DEL EQUIPO

Una vez escogido el equipo queda (n) definido (s) el (los).

1. Método (s) de Construcción.

### DISEÑO DEL POZO

Con el diseño ya definiremos los siguientes datos:

1. Diámetro y profundidad de la exploración
2. Registro eléctrico
3. Selección del tipo de ademe y contra-ademe cuando sea necesario y los diámetros de ampliación para alojarlos.
4. La cementación del contra-ademe o del pozo en determinadas zonas, para impedir su contaminación o para obtener agua de mejor calidad, -- cuando sea necesario.
5. El tipo de cedazo con ademe ranurado o de rejilla que deberá utilizarse con el objeto de lograr el mayor gasto específico y una velocidad adecuada de entrada del agua para evitar la extracción continua de finos,

con la consecuente formación de cavidades y posibles colapsos del pozo, -tratando en todo de prolongar al máximo la vida útil del pozo y del equipo, de bombeo.

6. La verticalidad permisible en su construcción, lo que dependerá en forma principal del uso al que se destinará el pozo y el tipo de bomba que quedará alojada en él, aunque aquí la formación influye en forma notable, así como el procedimiento de construcción.

7. El desarrollo del pozo

8. El aforo del pozo

De la correcta selección de los conceptos anotados anteriormente depende el mayor o menor éxito en el aprovechamiento del acuífero y hay que hacer notar nuevamente, que en gran parte de los pozos por perforar no es posible contar con toda la información necesaria, por lo que en algunos casos - se tendrá la necesidad de hacer cambios de procedimiento o de diseño durante el desarrollo de los trabajos. Una vez realizada la perforación exploratoria y recorrido el registro eléctrico ya se contará con una información muy valiosa de las características de la formación y del potencial del acuífero, con lo que ya se tendrá en ese momento bases más firmes para juzgar y diseñar la terminación del pozo.

Al describir más adelante cada una de las operaciones para la construcción del pozo se darán los procedimientos de diseño con detalle.

1. DISEÑO DEL POZO
2. ANALISIS DE ALTERNATIVAS
  - 2.1. DEMANDA
  - 2.2. RECURSOS ECONOMICOS
  - 2.3. PROGRAMAS TENTATIVOS
3. TOMA DE DECISIONES
4. RIESGO
5. DECISION - SOLUCION
6. ESPECIFICACIONES - PROGRAMAS
7. IMPLANTACION DEL PROGRAMA
8. CONTROL
  - 8.1. CALIDAD
  - 8.2. PROGRAMA (ACTIVIDADES - TIEMPO)
  - 8.3. COSTO

## 4

Una vez seleccionado el equipo de acuerdo con el método que usaremos - para construir los pozos y de haber establecido su diseño y con el estudio realizado de la demanda y con el dato de los recursos económicos de que se disponen y con los costos probables, ya estaremos en posibilidad de programar su construcción dentro de determinado lapso de tiempo o - en diversas etapas, y hacer el análisis correspondiente de aquellas alternativas que se juzguen convenientes, con el fin de contar con la mayor información para efectuar las valuaciones necesarias y llegar a la toma de decisiones.

## TOMA DE DECISIONES.

La toma de decisiones es la parte mas importante del proceso que hemos establecido para alcanzar nuestro objetivo.

## RIESGO

Toda toma de decisiones implica un riesgo, que será mayor o menor según la información, experiencia, el criterio y la cuantificación que se haga al respecto.

## DECISION - SOLUCION

Al tomar una decisión estamos eligiendo la solución, lo que nos permitirá definir las características y funcionamiento del proyecto y estar en posibilidad de establecer las especificaciones y los programas.

## ESPECIFICACIONES

## Y PROGRAMAS

y podremos llegar ya a la implantación del programa.

## 5

## IMPLANTACION DEL PROGRAMA

Y a establecer para la realización del mismo un adecuado sistema de control durante su desarrollo.

## CONTROL

- a) Calidad
- De Programa      b) Actividades - Tiempo
- c) Costo

la aplicación de estos controles y la obtención de datos reales de campos nos permitirá retroalimentar nuestro proceso y tomar las soluciones correctoras durante los trabajos para lograr en la mejor forma nuestros objetivos.

## SELECCION DEL EQUIPO

El programa establecido consideró una selección de equipo con el empleo de determinado método de construcción para llevar a término los trabajos dentro de un lapso de tiempo, es lógico que cualquier cambio en el método o en el número de equipos que se utilicen para llevar a cabo el programa, nos lo modificará positiva o negativamente.

Se considera ésto de la mayor importancia sobre todo en el caso que nos ocupa de pozos para riego por bombeo porque puede significar la utilización de un predio durante un ciclo agrícola o en el peor de los casos la pérdida de una cosecha ya establecida, por lo tanto es muy importante ver que el equipo que se utilice tenga la capacidad y características adecuadas para realizar el trabajo propuesto y además dentro del tiempo fijado en los programas autorizados.

Para llegar a la selección adecuada del o los equipos por utilizar, deberá tomarse en cuenta lo anterior.

El o los métodos estarán casi siempre limitados por las características de la formación, los diámetros y la profundidad que deba ser alcanzada y en cada una de las exposiciones de los diversos procedimientos se enlistarán las ventajas o desventajas que proporciona su uso.

La gran variedad de perforadoras nos dá un rango muy amplio no solo en lo que se refiere a la selección del método adecuado sino que en aquellos que son del mismo tipo se presentan con un gran número de variaciones en tamaños, capacidades, dimensiones, montaje y en el procedimiento para trasladarlos e instalarlos.

Hay que hacer una revisión de todas estas características para escoger o revisar que el equipo por utilizar cumple con todos los requisitos necesarios que nos impone el diseño del pozo para su terminación en el plazo fijado.

## ADEMES

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

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

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

## SELECCION DEL TAMAÑO ADECUADO

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

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

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

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

GASTO G.P.M.

ADEME RECOMENDADO

Menos de 6 lts/seg

6" D.I. (15 cm)

## 9

## GASTO G.P.M.

De 5 a 12 lts/seg.

De 10 a 25 lts/seg.

De 20 a 40 lts/seg.

De 40 a 80 lts/seg.

De 80 a 120 lts/seg.

De 120 a 200 lts/seg.

De 200 o más lts/seg.

## ADEME RECOMENDADO

6 a 8" D.I. (15 a 20 cm)

8 a 10" D.I. (20 a 25 cm)

10 a 12" D.I. (25 a 30 cm)

12 a 14" D.E. (30 a 35 cm)

14 a 16" D.E. (35 a 40 cm)

16 a 18" D.E. (40 a 45 cm)

18 o más D.E. (50 cm. o más)

Cabe hacer la aclaración de que al pedir tubería entre 6" a 12" de diámetro, se estará hablando en diámetros interiores y a partir de 14" de diámetro, se habla de diámetros exteriores. En los casos en que la instalación dentro del ademe de materiales o mecanismos, es lógico que deberá escogerse un tamaño de ademe que dé una holgura suficiente para la instalación de los mismos.

Espe<sup>s</sup>or de la pared.- El esfuerzo a la ruptura de tubería de acero para varios diámetros y espesores ha sido calculado suponiendo que el nivel del agua en su interior es rápidamente abatido y el nivel del agua exterior permanece estático.

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

## 10

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

## RELACION PERFORACION - ADEME

La relación mas importante que hay que observar en los pozos es el del tamaño de la perforación con respecto al ademe por colocar, esto por supuesto depende de la formación que se atraviese; en formaciones geológicas recientes que son relativamente suaves y poco consolidadas (cenozoico y mesozoico) la regla es construir grandes agujeros para un determinado tamaño de ademe; en estratos más antiguos (paleozoico) donde las formaciones son duras y las paredes no son fáciles de destruir, se pueden usar satisfactoriamente tamaños mas pequeños en la perforación; cuando se esperan problemas durante el entubado es aconsejable usar tubos de ademe pesado para vencer las fricciones en las paredes.

En sitios donde existe estratificación alternada de materiales de mayor o menor dureza, es necesario ampliar el diámetro de la perforación por las desviaciones que se presentan en los cambios de formación, así mismo, -

## 11

se debe utilizar esta solución en los lugares donde se atraviesen fallas geológicas que dan lugar a muchas alteraciones y desviaciones.

Tomando en cuenta lo anterior en los pozos por construir se recomienda - los siguientes diámetros, cuando hay que colocar filtro de grava:

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

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

## CEDAZOS

En materiales poco consolidados y en ciertas condiciones en materiales consolidados, en la zona bajo el nivel freático, debe proveerse al ademe de

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

#### TIPOS DE CEDAZOS

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

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

#### SELECCION DEL DIAMETRO Y LA ABERTURA ADECUADA.

La selección del diámetro está en función del tamaño de la bomba que va a ser colocada, se puede considerar que la solución ideal en este caso es el de utilizar una rejilla y ademe del doble del tamaño de los tazones de la

bomba, pero en el caso de pozos que se usen un tiempo relativamente corto, deberá uno reducir el diámetro al que permita el acceso libre de la bomba por ser una solución económica.

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

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

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

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

terior (trapezoidal).

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

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

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

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

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

e) Cuando la formación atravesada presente una granulometría poco uni-- forme se deberá seleccionar la abertura con base en el material más fino.

## 15

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

## FILTROS DE GRAVA

Selección del tamaño y granulometría adecuada.

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

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

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

La grava debe consistir en un material limpio, granular bien redondeado-

## 16

de preferencia de una gravedad específica mayor que 2.5, no se deberá tener más del 1% del material con un peso específico menor que 2.25.

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

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

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

El espesor de la capa filtrante debe ser 4" como mínimo y 8" como máximo.

#### DESARROLLO DE POZOS

Esta es una de las actividades más importantes para la terminación de un pozo para extracción de agua, de un adecuado desarrollo puede depender el buen funcionamiento del pozo construido y en un momento dado el no efec--

## 17

tuar un buen desarrollo puede provocar que aunque se atravesase un buen acuífero, no se tenga la capacidad específica real del acuífero.

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

Existen varios métodos de desarrollo de pozos y los mas comunes son los que enlistamos a continuación:

BOMBEO

SUCCION

SUCCION Y BOMBEO

FRACTURAMIENTO

LAVADO

No es posible anticipar como responderá un pozo a determinado desarrollo, por lo que en el caso de la utilización de cualquier método se deberán ir observando los resultados que se van obteniendo e ir incrementando la ac-

ción de desarrollo conforme vayan aumentando los gastos y disminuyendo las extracciones de arena, hasta que se obtenga agua limpia, libre de sólidos, después de una interrupción momentánea de la acción de desarrollo.

#### METODO DE DESARROLLO CON AIRE CON DOBLE TUBERIA (AIR - - - LIFT).

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

La operación de desarrollo se inicia con un 20 a 25% de sumergencia y se prosigue hasta el fondo del pozo, el proceso de descenso es lento, estacionándose el tiempo suficiente para permitir la limpieza y desarrollo en toda la zona de donde se presenta el acuífero, esta acción se altera con descargas y paros que provocan un mejor reacomodo del material y una menor -- extracción de las arenas, cuando el agua obtenida se presenta libre de impurezas o con una pequeña cantidad de finos, el sífoneo se prolonga aproximadamente 2 hrs. ya sin ninguna interrupción que nos provoque el acomodo

do final del filtro.

Como una continuación de la operación anterior, se hace el desarrollo antes del aforo y al iniciar el bombeo las extracciones de agua se hacen con la válvula casi cerrada, lo cual nos produce bajas velocidades de entrada de agua al pozo y nos previene de succiones fuertes que puedan provocar fuerzas importantes dentro del pozo y los movimientos consiguientes, que pueden ocasionar colapsos de la rejilla, así se prosigue el bombeo incrementando el gasto y controlando la reducción del contenido de arenas en el agua, se continua aumentando paulatinamente el gasto hasta que se obtiene el deseado, ya sin extracción de arenas.

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

## PERFORABILIDAD DE LAS ROCAS

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

Las formaciones geológicas presentan características muy variables en cuanto a dureza, estructura, compacidad, etc., y a continuación enumeramos algunas características que consideramos importantes y que influyen en la perforabilidad de las rocas.

### ROCAS IGNEAS.

Las rocas ígneas son particularmente difíciles de perforar, especialmente cuando se encuentran en estado inalterado o poco intemperizado. Lo anterior provoca que generalmente se tenga una vida muy corta de las bro-

cas y velocidades de penetración muy bajas. En general pueda decirse -- que las rocas ígneas ácidas, altas en contenido de cuarzo como por ejemplo las granodioritas; son muy duras, quebradizas y abrasivas, las básicas, que contienen menos cuarzo y mas minerales ferromagnesianos como por ejemplo; el gabbro, basalto, etc., son menos abrasivas, pero debido a la textura y disposición natural de los minerales ferromagnesianos tienden a ser rocas mas difíciles de perforar a pesar del hecho de ser menos duras y abrasivas.

#### ROCAS SEDIMENTARIAS.

Como las rocas sedimentarias son formadas por la acumulación del sedimento; en un medio acuoso o seco o una combinación de ambos mas el efecto agregado de la evaporación durante el proceso, su naturaleza es muy variable y depende como es natural del tipo de rocas que las originan, de su composición química, tamaño de partículas, tipo de cementante que contienen y de las cargas que soportan o hayan soportado. Todo lo anterior hace que su grado de perforabilidad sea muy variable, pudiendo encontrar rocas muy difíciles de perforar por su dureza o abrasividad, como algunas areniscas y otras como algunos tipos de lutitas cuya dificultad de perforación no estriba en su dureza o abrasividad sino en su coeficiente de abundamiento que nos provoca problemas al hidratarse y cerrar el pozo y en algunos otros casos se tiene el problema para su perforación de la falta de cementante, como es el caso de algunos rellenos del cuaternario.

## ROCAS METAMORFICAS

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

En los 3 tipos de rocas hay varios factores a considerar durante la perforación que se agregan a lo ya mencionado, como son:

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

Las diaclasas que ocurren prácticamente en todos los tipos de rocas conocidas y son producidas por las tensiones a que están siendo sometidas, así como el fracturamiento y/o el fallamiento, nos provocan una pérdida de eficiencia durante la perforación, debido a pérdidas de circulación que pueden ser desde ligeras hasta totales, con la consiguiente disminución de velocidad de retorno aún en aquellos casos en que la pérdida del fluido es mínima, creando durante el recorrido, zonas con variaciones importantes en las velocidades de circulación por los cambios bruscos de áreas, esto produce en algunos casos la acumulación y el anillamiento de corte y la disminución del potencial del fluido utilizado para el acarreo de los cortes, además de lo anterior, el fracturamiento provoca que se tenga que usar menos velocidad de rotación de la herramienta de perforación para evitar la rotura de diamantes, insertos de carburo de tungsteno o de los dientes de la broca y la transmisión de impactos severos al equipo a través de la herramienta de perforación.

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

El grado de intemperismo de las rocas generalmente nos permite una mayor facilidad de perforación en las rocas superficiales, aumentando su dureza conforme se penetra a capas más profundas que son generalmente - -

mas antiguas y han estado sometidas a mayores cargas durante un mayor lapso de tiempo.

Puede concluirse que la clasificación geológica no es el único punto a considerar cuando se va a efectuar una perforación y que la dificultad de realizarla será tan variable como sea la presencia de todos los factores mencionados, por lo que deberá hacerse un análisis muy cuidadoso para poder llegar a la programación y selección de los sistemas mas adecuados de perforación y a tener una idea mas clara de las posibilidades de variación de los costos, que serán influidos directamente por las dificultades naturales de realización de la obra y que aún vistos desde el punto de vista de una misma clasificación geológica presentan un amplio rango de variación que debe ser tratado objetivamente en cada caso.

Quando se carece de información, que es en un gran número de casos, se pueden encontrar condiciones totalmente diferentes a las planteadas, llegando hasta el caso en que se llega al cambio no solo de procedimiento sino hasta de tipo de perforadora durante el proceso ya de trabajo.



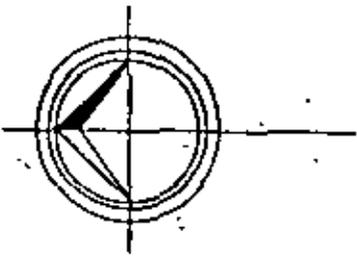
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

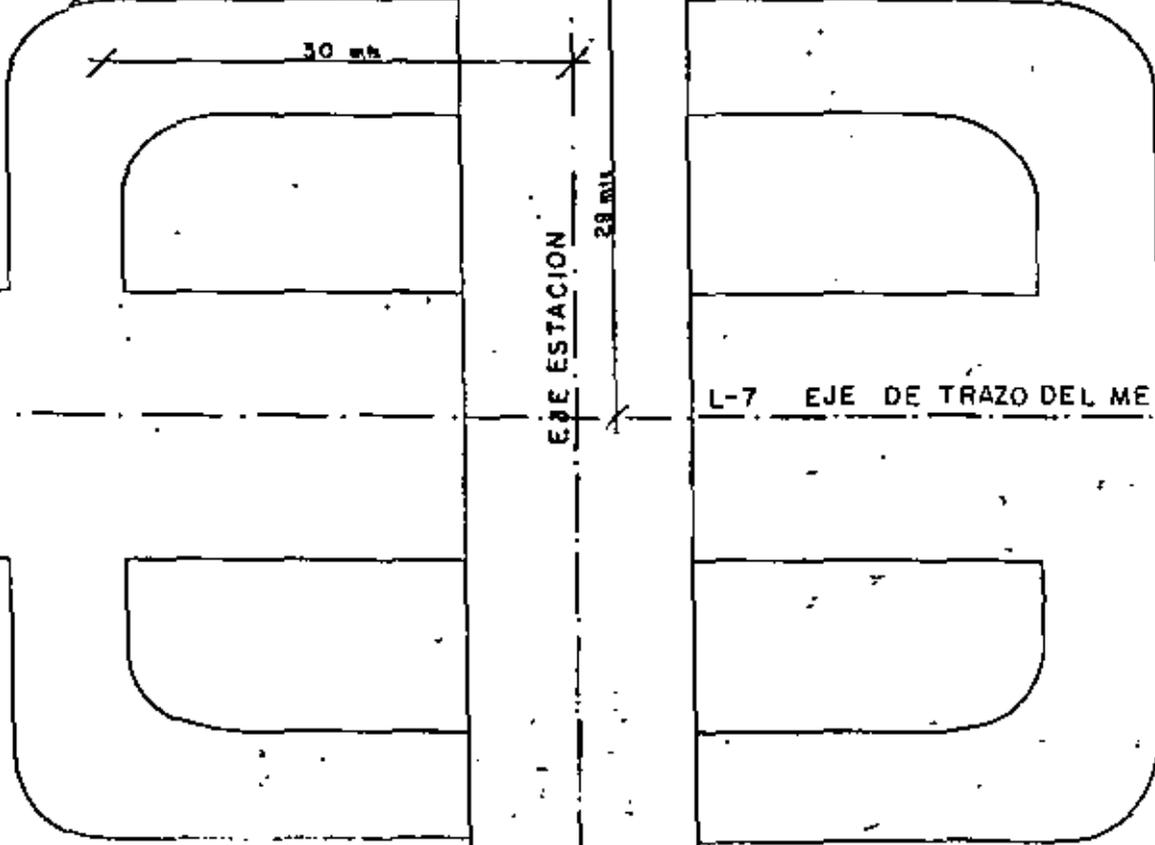
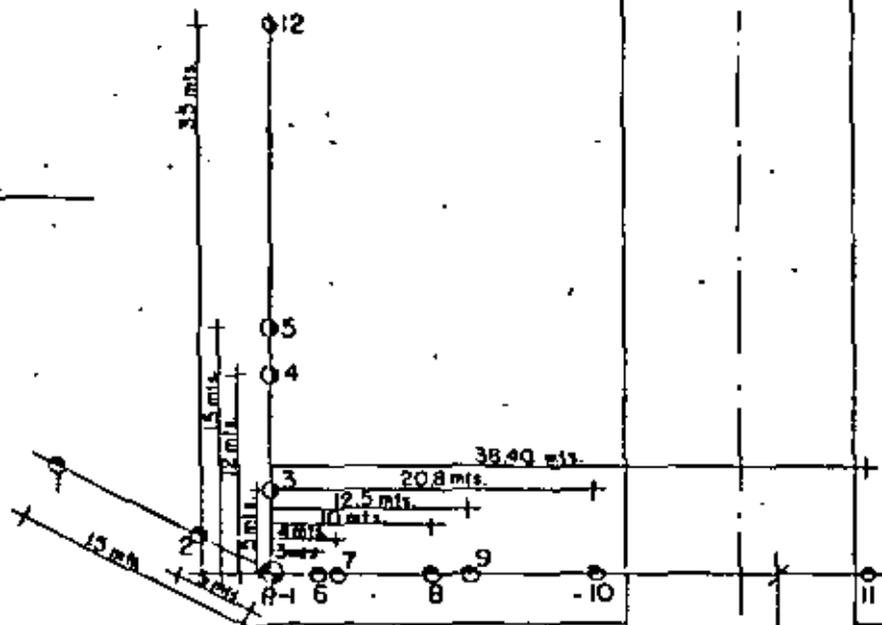
A N E X O S

ING. ANDRÉS BÉNTON CUELLAR

ABRIL, 1984



ESTACION TACUBAYA  
LINEA 7 METRO  
PRUEBA DE BOMBEO  
MODULO DE BOMBEO  
LOCALIZACION



EJE ESTACION

L-7 EJE DE TRAZO DEL METRO

FIG. 1

Tomando en cuenta lo anterior se llegan a los siguientes valores representativos de cada punto del módulo de bombeo.

PUNTO	TRANSMISIVIDAD M <sup>2</sup> / DIA	RADIO DE INFLUENCIA R (M)
PAET-1	5.0	52.0
PAET-2	2.1	
PAET-7	22.6	
PAET-9	24.1	50.0
PAET-10	24.1	50.0
PAET-11	65.7	
PAET-3	29.1	
* PAET-5	4.6	
* PAET-12	39.0	50.0

\* Estos dos puntos presentan una piezometría bajo el nivel de excavación, por lo que no se consideran para el cálculo.

Podemos aceptar y considerar que los siguientes datos son los representativos del Módulo.

Transmisividad . . . . . 24.1 M<sup>2</sup>/DIA  
Radio de influencia . . . . . 50.0 M

#### DATOS PARA DISEÑO

Para abatir las cargas piezométricas en los estratos y lentes de arenas, gravas y limos que contienen el acuífero intermedio, se utilizarán los siguientes datos de diseño.

## CALCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO NECESARIO

Debido a la anisotropía existente, se tendrá una variación de transmisividad, que incrementará o disminuirá los caudales que se extraigan en cada pozo, para lograr el abatimiento necesario.

Considerando los datos que se tomaron como representativos de los sitios donde se establecieron los piezómetros del módulo de bombeo tenemos:

TABLA DE FRECUENCIA

TRANSMISIVIDAD M2/DIA	No. DE TESTIGOS	SUMA	FRECUENCIA %	FRECUENCIA ACUM %
0 - 10	3	3	33.3	33.3
10 - 20	0	3	0	33.3
20 - 30	4	7	44.5	77.8
30 - 40	1	8	11.1	88.9
40 - 50	0	8	0.0	88.9
5 - 50	1	9	11.1	100.0

$$T_m = \bar{x} = 24.03 \text{ M2/DIA}$$

$$\sigma = 20.03 \text{ M2/DIA}$$

rango de variación de transmisividad, de 2.1 a 65.7 M2/DIA

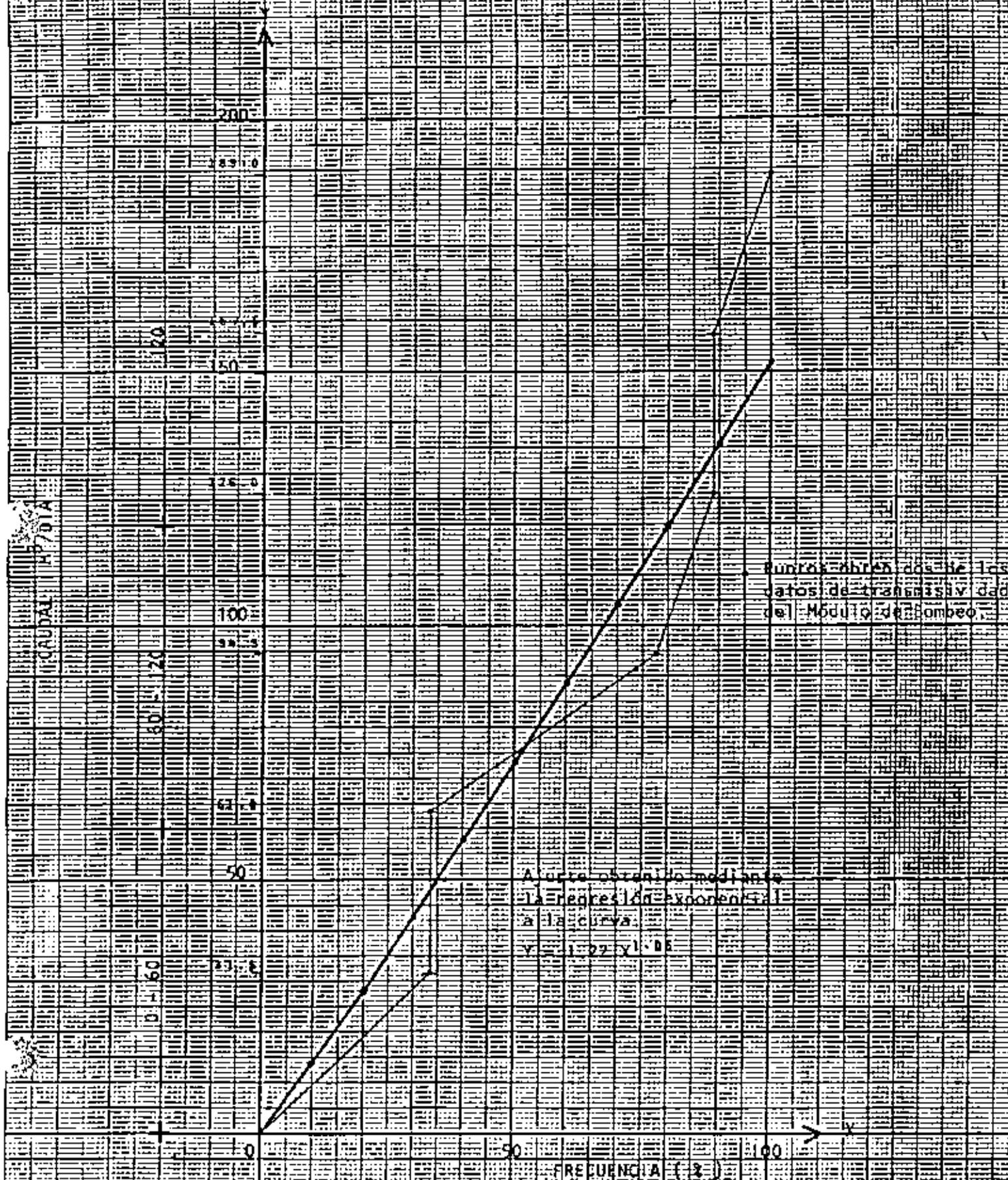
Considerando la desviación estandar, para el diseño del equipo de bombeo se deberá considerar que en general, se moverán gastos entre 13 M3/DIA - hasta 139 M3/DIA, con un caudal medio de 76 M3/DIA y con valores extremos cercanos a 7 M3/DIA (mínima) y 180 M3/DIA, (máxima) y aproximadamente con la frecuencia de bombeo siguiente:

CAUDALES		FRECUENCIA	FRECUENCIA
M3/DIA	L.P.S.	%	ACUM %
0 - 60	0 - 0.7	42	42
60 - 120	0.7 - 1.4	38	80
$\geq$ 120	$\geq$ 1.4	20	100

Las frecuencias fueron obtenidas mediante una regresión de los datos de transmisividad considerados como representativos del sitio de localización del módulo de bombeo.

Será necesario utilizar en la construcción de los pozos ademe ranurado de 8" de  $\phi$  interior, con el objeto de que la bomba entre libremente y opere en forma adecuada.

SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO  
 LINEA 7  
 PRUEBA DE BOMBEO ESTACION TACUBAYA  
 GRAFICA DE REGRESION





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

DISEÑO Y TERMINACION DE POZOS

ING. JOSÉ MA. BOLIVAR DEL VALLE

ABRIL, 1984

DISEÑO Y TERMINACION DE POZOS DE AGUA

	INDICE	PAG.
I.-	<u>INTRODUCCION</u> .....	1
II.-	<u>TIPOS DE POZOS DE AGUA</u> .....	4
	A.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS POZOS DE DESARROLLO NATURAL .....	4
	B.- CASOS EN QUE RESULTA CONVENIENTE LA CONSTRUCCION DE POZOS CON FILTRO GRANULAR .....	4
III.-	<u>FACTORES DE DISEÑO</u> .....	6
	A.- DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ADEME .....	6
	B.- PROFUNDIDAD DEL POZO .....	7
	C.- LONGITUD DEL CEDAZO O REJILLA .....	8
	D.- RESISTENCIA DE LOS ADEMES .....	12
	E.- APERTURA DE LAS RANURAS DE LA REJILLA .....	21
	F.- DISEÑO DEL FILTRO GRANULAR .....	21
IV.-	<u>EJEMPLO DE DISEÑO</u> .....	29
V.-	<u>ALGUNOS ERRORES COMUNES EN EL DISEÑO DE POZOS</u> ..	33
	A.- RELACION CAUDAL-LONGITUD DEL CEDAZO .....	33
	B.- RELACION CAUDAL-DIAMETRO .....	33
	C.- FLUJO A TRAVES DEL FILTRO .....	33
VI.-	<u>TERMINACION DEL POZO</u> .....	37
	A.- AMPLIACIONES .....	37
	B.- EL ADEMADO DEL POZO .....	37
	C.- TAPON DE FONDO .....	38
	D.- METODOS DE ENGRAVADO .....	39
	E.- DESARROLLO Y AFORO .....	40

INDICE DE FIGURAS

		PAG.
FIG. 1	Relaciones Abatimiento-Rendimiento-Capacidad específica .....	10
FIG. 2	Limites de Profundidad para Ademes de Acero .....	16
FIG. 3	Curvas Granulométricas .....	24
FIG. 4	Curva maestra para establecer el tamaño típico de grano.....	25
FIG. 5	Corte de Terminación de Pozo .....	32
FIG. 6	Incremento del Caudal en Función del Diámetro del Pozo .....	34
FIG. 7	Corte de Terminación de Pozo .....	35

INDICE DE TABLAS

		PAG.
TABLA 1.-	Metales utilizados en la fabricación de rejillas. ....	15
TABLA 2.-	Propiedades mecánicas del Ademe de P.V.C....	17
TABLA 3.-	Áreas Libres de Cedazos .....	18
TABLA 4.-	Caudal admitido por m. de Cedazo .....	19
TABLA 5.-	Cuadro comparativo de Cedazos .....	20

### 1.- INTRODUCCION

Como premisa inicial debe quedar bien asentado que un pozo de agua no es solamente un agujero con algunas aberturas por donde penetra el agua, sino una obra hidráulica que debe proyectarse y construirse en forma técnica y económica.

Si solo consideráramos la inversión inicial un pozo bien construido (evidentemente bien proyectado), puede parecer caro -- comparado con uno hecho líricamente, pero se puede asegurar -- que en la gran mayoría de los casos, este aparente ahorro resulta sumamente caro a la larga.

Un pozo bien diseñado ofrece las siguientes ventajas:

- Larga vida.
- Caudal constante a través del tiempo, siempre que no existan problemas regionales que lo afecten.
- Agua libre de sólidos en suspensión.
- Preserva al equipo de bombeo.

El pozo de agua es una obra muy particular, pues no es posible su correcto diseño hasta que no se inicie la obra; en -- otras palabras el diseño del pozo requiere necesariamente de una perforación exploratoria, en la cual se colecten muestras representativas de los estratos atravesados y en la que se -- correrá además un registro eléctrico de potencial y resistividad (en otros países se ha vuelto práctica rutinaria el correr además un registro radiactivo).

El registro eléctrico es motivo de otra exposición por lo que no será tratado aquí, pero recalcaremos nuevamente que junto con las muestras de perforación es una herramienta esencial -- para un buen diseño.

Por lo que respecta a las muestras provenientes del sondeo -- exploratorio, lo normal, en pozos de agua es coleccionar simplemente muestras de canal, tomadas en el retorno del fluido de perforación, en el caso, de las perforadoras rotatorias y en el material cucharado en el caso de las de percusión.

La práctica usual consiste en coleccionar una muestra cada 2 m. perforados, pero sería conveniente adicionarle muestras de cada cambio litológico, sea cual fuere su posición.

Las muestras deberán ser lavadas y secadas antes de ser envasadas, y en cada una de ellas se anotará el pozo e intervalo de donde provienen.

El origen en cuanto a posición de las muestras no siempre es fácil de determinar con exactitud sobre todo si la perforación se efectúa por percusión o una rotaria directa: En el -- primer caso la barrena corta un cierto intervalo entre cada -- cucharado y la muestra obtenida será una mezcla de él; como el tramo es relativamente corto, el error es prácticamente despreciable. En cambio en la perforación rotaria directa con lodos, si se muestrean estratos situados a cierta profundidad, el material es fácilmente perforable y si además la bomba de que -- se dispone no fuera de tamaño adecuado, se produce un remolido de la muestra o simplemente se requiere cierto tiempo para que el corte ascienda a la superficie, por otra parte algún -- material inestable de un tramo ya perforado puede caer al fondo y retornar con la verdadera muestra contaminándola.

El método aconsejable para obtener una muestra representativa en composición y posición, consiste en:

- Levantar la barrena unos centímetros al llegar al punto de -- muestreo y circular lodo hasta obtenerlo limpio de corte.
- Reiniciar la perforación colectándose la primer muestra que -- retorne.

Evidentemente este sistema de muestreo incrementa el costo de la perforación exploratoria, pues implica una parada cada 2 m. lo cual en materiales blandos puede significar más tiempo esperando muestra que perforando, razón por la cual no es muy -- utilizado en la perforación para agua.

Otro sistema más expedito aunque menos confiable consiste en calcular la velocidad del lodo en el retorno a la superficie e partir del caudal de la bomba y del área de retorno:

$$v = \frac{Q}{A}$$

y posteriormente el tiempo de retorno a partir de dicha velocidad y la profundidad de donde proviene la muestra:

$$t = \frac{l}{v}$$

## II.- TIPOS DE POZOS DE AGUA

Cuando la barrena se encuentre en el punto de profundidad l se dejará transcurrir un tiempo t para coleccionar la muestra.

No obstante la práctica más usual, aún cuando no sea la más aconsejable es no considerar el tiempo de retorno y situar los contactos litológicos por comparación con el registro eléctrico.

Sea cual sea el criterio adoptado para el muestreo, el paso siguiente será la elaboración de la columna estratigráfica -- con una descripción lo más amplia posible de los estratos; por ejemplo:

"Arenas de color gris oscuro, de tamaño medio a fino y con algo de limo".

A continuación se correlacionará dicha columna estratigráfica con el registro eléctrico y se seleccionarán el o los acuíferos que se pretenden explotar. Será este el primer paso del diseño del pozo.

Comentamos al principio que antes de poder diseñar el pozo -- era necesaria la perforación exploratoria que constituya la base de el proyecto, ahora una vez efectuada esta, corrido el registro eléctrico, y con otros datos provenientes de la bitácora de perforación como pérdidas de fluidos, penetración, etc., ya tendríamos una idea de la calidad del futuro pozo y con esta idea y las necesidades de agua se procederá al proyecto definitivo pero quedando siempre un cierto margen de incertidumbre, que no se despejará hasta que completamente finalizada la obra se pueda proceder a su aforo.

Desde luego parte de esta incertidumbre se disipa si el trabajo se realiza en una región ya conocida, pero aún entonces un pozo de agua implica siempre un cierto factor de riesgo que disminuirá en proporción directa a la calidad técnica y experiencia del constructor.

En estas charlas trataremos del diseño de pozos adensados y por tanto con rejilla, puesto que los pozos perforados en formaciones rocosas estables, que no requieren ademe, son de diseño más simple y por consiguiente los criterios que exponemos son válidos para este segundo caso.

Por otra parte debemos distinguir dos tipos de pozos, aunque uno de ellos se construya muy poco en México: es el caso de los pozos de desarrollo natural, o sea, pozos en los cuales el ademe está en contacto con la formación. A pesar de no ser comunes en nuestro medio este tipo de pozos ofrecen ventajas que en muchos casos los tornan muy convenientes.

El otro tipo de pozos, es el que nos es más común, o sea los pozos con filtro granular.

### A.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS POZOS DE DESARROLLO NATURAL

#### A-1 VENTAJAS

Requieren de menor diámetro en la perforación y por tanto, se abarata éste.

Se facilita la limpieza y desarrollo del pozo.

Pozos de mayor capacidad específica, lo que además de abatir los costos de explotación prolonga la vida útil del pozo.

La construcción del pozo se abarata también al eliminarse el filtro granular.

#### A-2 DESVENTAJAS

Su empleo está limitado por condiciones litológicas, y en caso de no utilizar las muestras de perforación adecuadamente, el pozo puede resultar productor de sólidos provenientes de acuífero.

Su diseño requiere de información fiel proveniente de la perforación exploratoria y de técnica más sofisticada por parte del diseñador del pozo.

El desarrollo del pozo necesariamente deberá efectuarse en forma concienzuda, pues en caso contrario se corre el riesgo de malograr la obra.

### B.- CASOS EN QUE RESULTA CONVENIENTE LA CONSTRUCCION DE POZOS CON FILTRO GRANULAR.

Acuíferos de arena fina uniforme o de areniscas de grano fino poco compactadas. Este tipo de formaciones, debido al pequeño tamaño de sus gránulos, obligan el uso de ranuras sumamente finas, que pueden estar fuera de los alcances de los fabricantes de cedazo. Por otra parte, ranuras muy finas implican bajos porcentajes de área libre, que como veremos es perjudicial para el buen funcionamiento del pozo. En cambio la utilización del filtro granular permite aumentar el tamaño de la ranura del cedazo.

Pozos que por alguna razón, como puede ser el haberse perforado con una perforadora rotaria inversa, presenten un gran espacio anular y por tanto no existe buen contacto entre la formación y el ademe. Algo semejante ocurre cuando un acuífero muy potente permite abatir costos utilizando cedazos de pequeño diámetro.

Formaciones interestratificadas poco potentes y heterogeneas. En estas condiciones, sobre todo si el pozo es profundo, resulta prácticamente imposible determinar con precisión la localización de los distintos estratos y diseñar un cedazo de ranuras múltiples, lo que obliga a utilizar un filtro granular que se seleccionará de acuerdo al material más fino, que será el que presente mayores problemas.

### III.- FACTORES DE DISEÑO

#### A.- DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ADEME

Los pozos de agua poco profundos o con niveles de bombeo cercanos al fondo del pozo, se diseñan generalmente con un solo diámetro pero en caso contrario, resulta más económico reducir el diámetro unos metros abajo de la profundidad a que se pretenda colocar la bomba. Por consiguiente trataremos por separado la cámara de bombeo sea o no filtrante y el resto del pozo que llamaremos porción filtrante.

#### A-1 CAMARA DE BOMBEO

El mejor criterio para una buena selección del diámetro de la cámara de bombeo consiste en escoger el tubo de ademe con un diámetro nominal (medido en pulgadas), cuatro números mayor que el que suponemos va a requerir la bomba del pozo.

Por ejemplo si esperamos utilizar una bomba de 12" (30.48 cm) de diámetro conviene seleccionar un diámetro para la cámara de 16" (40.64 cm).

El mínimo diámetro que deberá permitirse será el que permita una holgura de 1" alrededor del tazón de la bomba, o sea que en el caso del ejemplo como mínimo se seleccionará un ademe de 14" (35.56 cm)

La holgura de 2" recomendada permite que la bomba de turbina entre libremente en el pozo, con su eje vertical y sin curvas, aún cuando la verticalidad del pozo no sea perfecta. Además esta holgura, permite reducir las pérdidas por fricción al mínimo, aún cuando la bomba se encuentre por debajo de algún tramo filtrante.

#### A-2 PORCION FILTRANTE

El diámetro de la porción filtrante debe seleccionarse solo en función de la velocidad de entrada del agua al pozo:

$$Q = v A$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

DONDE:

- v = Velocidad de entrada del agua al pozo.
- Q = Caudal
- A = Área libre de entrada del caudal.

Se ha comprobado práctica y experimentalmente que si la velocidad de entrada del agua al pozo no rebasa los 3 cm/seg. se obtienen las siguientes ventajas:

Las pérdidas por fricción al penetrar el agua al pozo se reducen a un mínimo.

Esta baja velocidad no provoca o disminuye considerablemente el arrastre de finos hacia el pozo.

Se reducen apreciablemente los fenómenos de incrustación y corrosión.

Durante la perforación exploratoria del pozo se tienen varios indicios de su futura calidad, además de la observación de las muestras registro eléctrico y la experiencia previa en la región. Estos datos, debidamente aquilatados, nos permiten suponer con cierta aproximación el caudal que se puede esperar en esa explotación, si bien es este, junto con la localización, el factor de riesgo que siempre implica este tipo de obras.

Por lo que respecta al área libre disponible, depende de la longitud de la porción filtrante, tamaño de ranuras del cedazo y porcentaje de área libre del mismo. La selección de estas variantes será tratada en breve.

**B.- PROFUNDIDAD DEL POZO.**

La profundidad de un pozo se selecciona de acuerdo con la estratigrafía de la zona, obtenida en un sondeo exploratorio, en la columna establecida en pozos cercanos, o en la propia perforación exploratoria del pozo.

Es conveniente que el pozo atraviese el acuífero completamente, "pozo completo" pues esta situación ofrece las ventajas siguientes:

Mayor capacidad específica del pozo.

Disponer de mayor capacidad para deprimir el pozo y por tanto obtener más agua.

No es raro que se encuentren aguas de mala calidad en la parte inferior de los acuíferos, por lo que en esos casos se debe clausurar esta zona para que se evite este problema. Esta zona se sellará con un tapón de cemento o de arcilla convenientemente compactada con la herramienta.

**C.- LONGITUD DEL CEDAZO O REJILLA**

**C-1 ACUIFEROS ARTESIANOS HOMOGENEOS**

En este tipo de pozos se deberá tratar de que la depresión no rebase el techo del acuífero artesiano. El cedazo se deberá instalar centrado en el acuífero y abarcando entre el 70% y el 80% del mismo; 70% cuando el espasor no exceda de 10 m. y 80% si sobrepasa esta medida.

**C-2 ACUIFEROS ARTESIANOS NO HOMOGENEOS**

En este tipo de acuíferos resulta conveniente colocar la rejilla en el estrato más permeable, lo cual se podrá determinar mediante una prueba de permeabilidad o un estudio granulométrico de las muestras de perforación o bien mediante el registro eléctrico del pozo. Si no es posible ninguna de las soluciones anteriores mediante una inspección visual cuidadosa en que se atiendan primordialmente los aspectos de granulometría y limpieza.

Si se opta por el método sencillo de la curva granulométrica se podrá estimar la permeabilidad relativa de la muestra estableciendo el "tamaño efectivo" de la misma. El tamaño efectivo es aquel que se establece por el 90% retenido o bien lo que es lo mismo por el 10% que pasa.

La permeabilidad relativa de dos muestras se establece elevando al cuadrado el tamaño efectivo de las muestras, por ejemplo:

Muestra	Tamaño efectivo	Permeabilidad relativa.
1	0.2 mm	0.04
2	0.1 mm	0.01

En el ejemplo, la muestra 1 tiene una permeabilidad unas 4 veces mayor que la muestra 2.

**C-3 ACUIFEROS LIBRES HOMOGENEOS**

Para el diseño de la rejilla en este tipo de acuíferos presenta dos situaciones contradictorias, pues por una parte el disponer de un cedazo lo más largo posible reduce la convergencia del flujo y por tanto la velocidad de entrada del agua, con lo que se consigue mayor capacidad específica. Por otra parte el instalar un cedazo lo más corto posible aumenta la capacidad de abatimiento y por tanto de obtener mayor caudal.

(9)

O sea, si se pretende que el costo del agua extraída sea el menor posible o por cualquier política de extracción deseamos poco abatimiento, la rejilla deberá encarar la mayor parte del acuífero. Pero si se pretende el mayor caudal se deberá colocar solo en la parte inferior de él, aunque en este caso el costo unitario del agua extraída será mayor y crecerá también la posibilidad de arrastre de sólidos al tener también una mayor velocidad de entrada.

En términos generales se puede decir que el mejor diseño para un acuífero libre homogéneo consiste en colocar el cedazo en la parte inferior del acuífero con una longitud variable entre el 30% y el 50% del acuífero y abatir el nivel estático hasta una cota ligeramente superior a la de la rejilla.

Trataremos este tema con mayor amplitud para que se entienda más claramente el porqué de los porcentajes antes citados. -- Primero debe quedar establecido que la óptima explotación de un pozo se logra cuando se logra un abatimiento tal que ofrezca un valor máximo para el producto de el caudal por la capacidad específica.

Explotación óptima si  $Q \times \frac{Q}{Ah}$  es máximo.

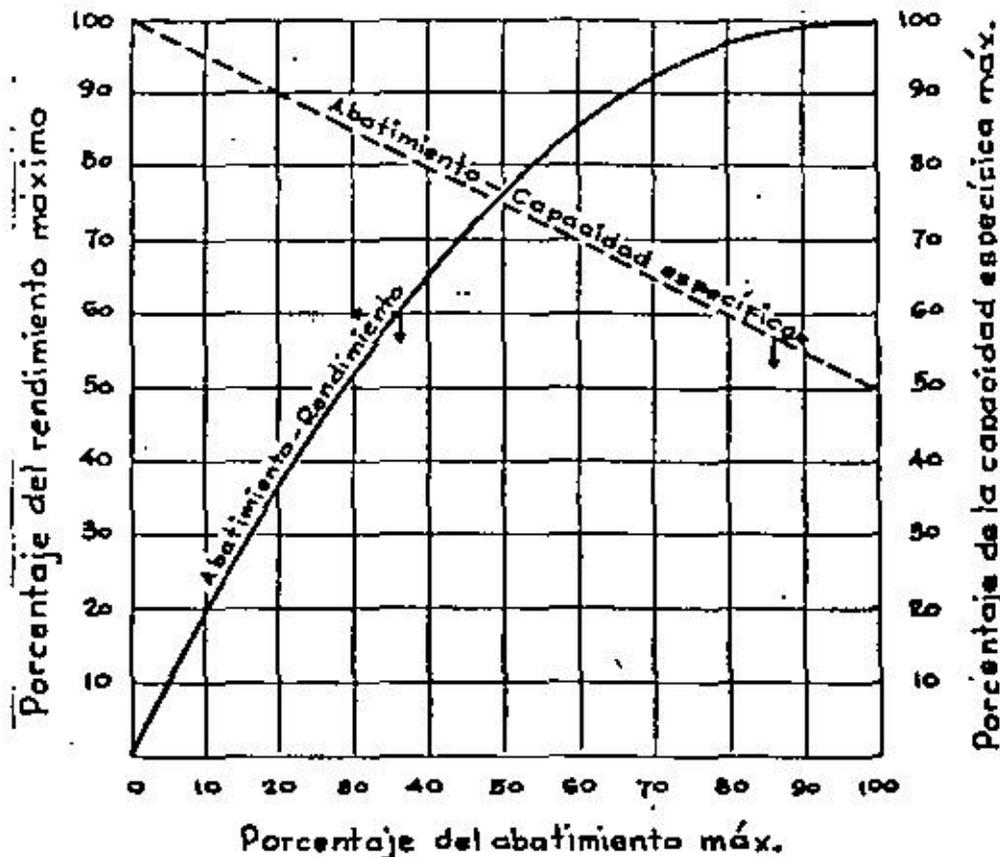
Observemos la figura 1, en ella la curva continua muestra la relación entre abatimiento y rendimiento y al "0" corresponde a la ausencia de explotación (pozo parado), mientras que el 100% lo hará cuando el abatimiento llegue al fondo del pozo. El rendimiento máximo es la cantidad de agua que el pozo producirá cuando se provoca el máximo abatimiento.

La línea recta interrumpida muestra la relación entre el abatimiento y la capacidad específica. Podemos ver que la máxima capacidad específica corresponde a la ausencia de abatimiento y la mínima cuando ocurre el máximo abatimiento. Conviene hacer notar que la mínima capacidad específica es solo el 50% de la máxima.

Vamos a demostrar el uso de la curva con un ejemplo. Supondremos un pozo con una profundidad de 145 m. con un nivel estático a 30 m., por tanto el espesor saturado será de 115 m. Se bombeó el pozo a 120 lt/seg. y se estabilizó el nivel dinámico a 55 m., o sea que el abatimiento fué de 25 m.

Cuál sería el posible rendimiento del pozo con un nivel de 80 m. (50 m. de abatimiento)?

FIG. 1



Porcentaje de abatimiento con 120 lt/seg.

$$25/115 = 0.217 = 22\%$$

En la gráfica podemos ver que a un porcentaje de abatimiento máximo de 22% corresponde un porcentaje de rendimiento de 38%.

Porcentaje de abatimiento correspondiente a 50 m. l

$$50/115 = 0.43 = 43\%$$

En la gráfica

43% abatimiento = 68% de rendimiento.

Si el 38% del rendimiento son 120 lt/seg.:

$$\begin{matrix} 38 & - & 120 \\ 68 & - & X \end{matrix} \therefore X = 215 \text{ lt/seg.}$$

O sea que un abatimiento de 50 m. (hasta el nivel de 80 m.), se podrían esperar 215 lt/seg.

Veamos ahora que capacidades específicas corresponden a estos valores.

$$\begin{matrix} 22\% \text{ de abatimiento} & = & 88\% \text{ de capacidad específica} \\ 43\% \text{ de abatimiento} & = & 79\% \text{ de capacidad específica} \end{matrix}$$

Para finalizar veamos cual de los dos caudales resulta más adecuado por acercarse más al caudal óptimo.

$$\frac{120}{25} \times 120 = 576 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{seg.}^2$$

$$\frac{215}{50} \times 215 = 924 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{seg.}^2$$

924 > 576 ó sea que resulta más conveniente el caudal de 215 lt/seg.

¿Y que significado tiene la unidad m<sup>3</sup>/seg.<sup>2</sup>? Es la aceleración que se le imprime a un metro cúbico a lo largo de un metro.

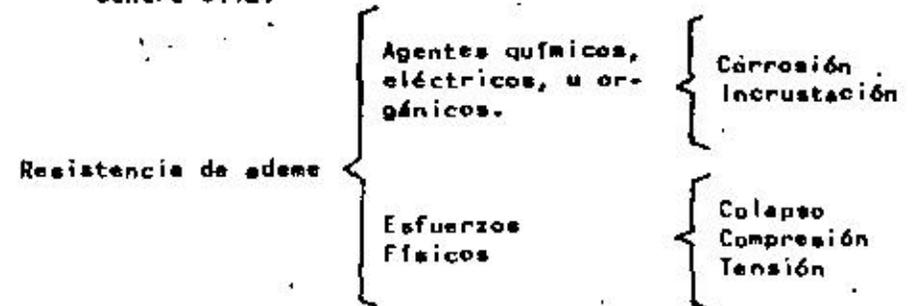
Si volvemos a la gráfica podemos hacer diversas tentativas para establecer cuál es el máximo producto de rendimiento por capacidad específica y llegaremos a la conclusión de que este corresponde a un abatimiento de 67% con el cual se obtiene un rendimiento del 88% y una capacidad específica del 67%. Este es la razón de recomendar abatir el acuífero hasta el 30% inferior.

### C-4 ACUIFEROS LIBRES HETEROGENEOS

En este tipo de acuífero son válidas las reglas establecidas para los acuíferos artesianos heterogéneos con la única salvedad de que la rejilla se colocará en la parte inferior del acuífero más permeable.

### D.- RESISTENCIA DE LOS ADEMES

Al seleccionar el material de que se construirá una rejilla y en general todo el ademe de un pozo se deben considerar esencialmente dos tipos de fenómenos que actuarán contra ella:



La característica de un agua a ser corrosiva o incrustante no siempre se puede establecer desde el momento de la construcción de un pozo, pero si se cuenta con análisis químicos de sus aguas se puede prever este inconveniente aunque sin saberse la intensidad del fenómeno.

### D-1 AGUAS CORROSIVAS

La corrosión es un fenómeno o conjunto de fenómenos cuyo resultado es la destrucción del material corroído con su disgregación o puesta en solución.

Los indicadores de corrosión que permiten sospechar la posibilidad del fenómeno son:

- a) Bajo pH  
pH < 7 agua corrosiva. (N)
- b) Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>). Su presencia contribuye a la corrosión. El oxígeno disuelto es común en acuíferos libres poco profundos.
- c) Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S). Este gas produce un olor característico de huevo podrido. Si el gas se puede detectar por su olor o sabor, su concentración es suficiente para provocar una severa corrosión.

- d) Sólidos disueltos totales. Si el total de sólidos excede de 1000 p.p.m. el agua es lo suficientemente conductora de la electricidad para poder ocasionar corrosión electrofítica, sobre todo si existen distintos metales en contacto.
- e) Dioxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En concentraciones de más de 50 p.p.m. el agua es corrosiva.
- f) Cloruros (Cl). En concentraciones de más de 500 p.p.m. se debe esperar corrosión.

La corrosión, cualquiera que sea su origen, ataca preferentemente la zona de cedazo del pozo, pues la ranura re presenta una zona con caras libres accesibles a su ataque. El resultado inmediato, generalmente, consiste en un aumento del tamaño de la ranura que permite el paso, al pozo, de material fino, e veces en cantidades que obligan al abandono del pozo. La bomba es otro elemento susceptible a su ataque, pero no será tratada aquí.

**D-2 AGUAS INCRUSTANTES**

Son aquellas que depositan minerales en el cedazo provocando su obturación, o bien en los poros del acuffero cercano al pozo. En los dos casos el efecto resultante es una disminución de la producción del pozo o un aumento en el nivel de bombeo, provocado por mayores pérdidas de carga.

Los indicadores de incrustación son los siguientes:

- a) Dureza total de carbonatos. Si excede de 300 p.p.m. se puede esperar incrustación por acumulación de carbonato de calcio.
- b) Hierro total (Fe). Si el contenido excede de 2 p.p.m. -- este ión puede precipitar provocando incrustación.
- c) Magnesio total (Mn). Si excede de 1 p.p.m., el pH es alto y existe oxígeno, es muy posible que el manganeso se precipite provocando incrustación.
- d) pH. Si excede de 7.5 el agua puede resultar incrustante.
- e) Películas bacterianas. Existen en las aguas subterráneas bacterias no perjudiciales a la salud, pero que requieren de la presencia de hierro y magnesio para su ciclo vital. Son conocidas como "bacterias ferruginosas" (Crenothrix) y aparentemente oxidan y precipitan el hierro y

magnesio disueltos en el agua. Los minerales junto con los organismos (materia gelatinosa) forman una masa que obstruye cedazo y poros del acuffero, pudiendo en corto tiempo cerrar completamente el paso del agua al pozo. Para corregir esta situación se utiliza el cloro que mata los organismos y posteriormente ácido clorhídrico (HCl) que disuelven el Fe y Mn precipitados.

Como vimos en el párrafo anterior, y esto lo podemos generalizar a cualquier incrustación de las presentes en las aguas subterráneas, el tratamiento a la incrustación es a base de substancias altamente agresivas (Cl y HCl), por lo cual, si se espera incrustación, el material seleccionado para el cedazo de el pozo deberá ser resistente a la corrosión.

**D-3 ESFUERZOS FISICOS**

Por lo que respecta a los esfuerzos físicos a que está sometida la tubería debe decirse que cualquier tubo es más resistente a la tensión que a la compresión, por lo cual resulta una buena práctica el dejar la tubería colgada en el pozo, en lugar de apoyada en el fondo. Los esfuerzos que resultan críticos, son entonces el de compresión y los de presión lateral. La resistencia que opone una rejilla o tubo a ellos es directamente proporcional al módulo de elasticidad del material.

Como una guía para seleccionar el cedazo se presentan varias tablas:

En la primera de ellas se presentan varios tipos de metales utilizados en E.E.U.U. y Europa pero que no se fabrican en México a excepción del acero, pero que pueden ser utilizados en casos muy especiales si se importaran.

En la figura 2 se muestran límites de profundidad para el uso de tubo de acero liso, según fórmula de la A.P.I. Debe considerarse que si se tratara de tubo ranurado, decrece la resistencia mecánica.

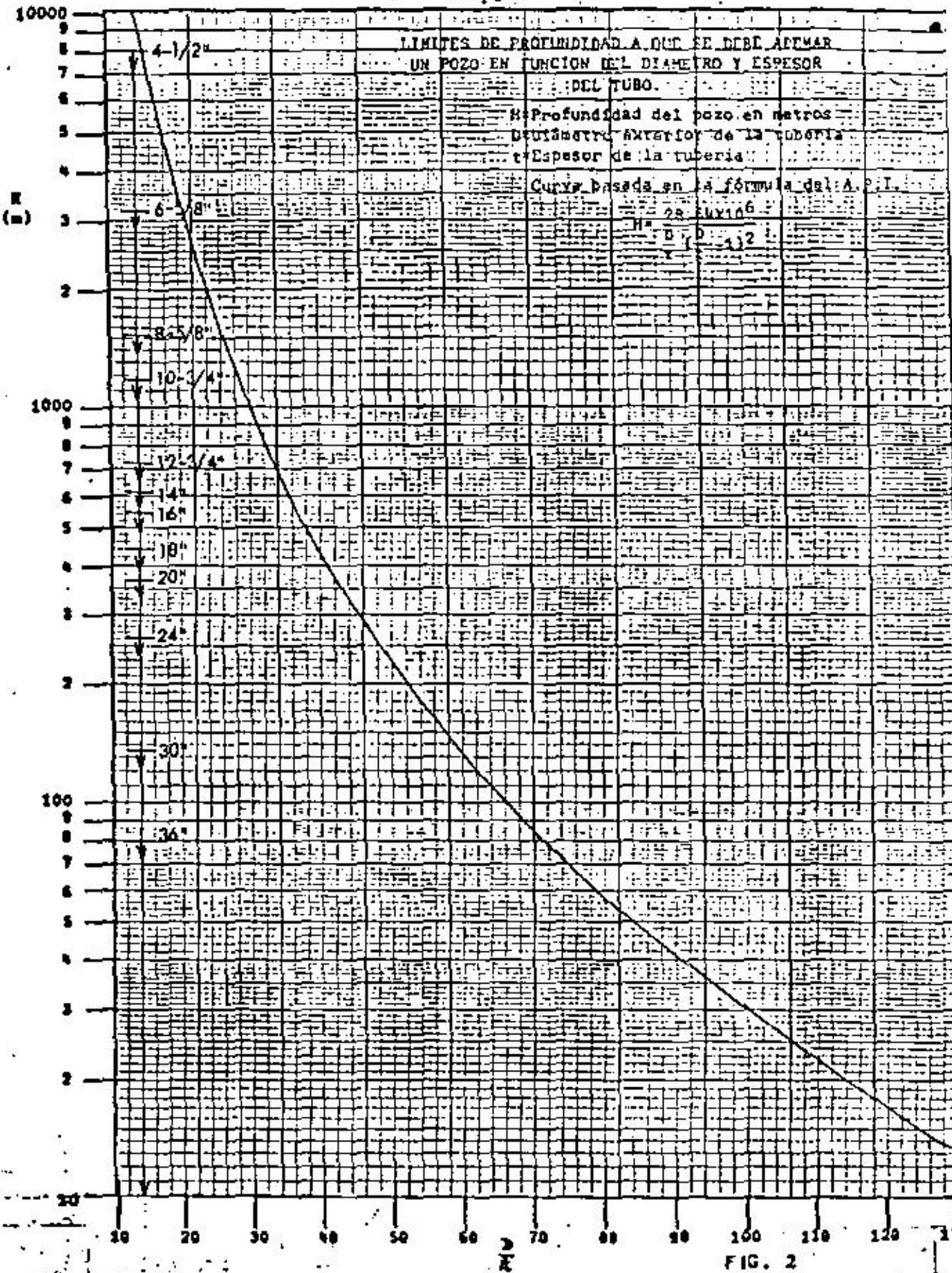
En la siguiente tabla aparecen las propiedades mecánicas del ademe y cedazo de P.V.C., este material tiene la gran ventaja de ser intacable por la corrosión e incrustación, unido a varios tamaños de ranura, buenos porcentajes de área libre y de fácil instalación, en cambio su resistencia mecánica es menor que la del acero.

Las dos tablas subsecuentes presentan comparativamente las características hidráulicas de los cedazos de fabricación nacional y la última es un resumen de las propiedades de los mismos.

**METALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE REJILLAS  
Y SUS VENTAJAS**

Nombre del metal	Análisis	Factor de costo	Recomendado para:
MONEL . . . . .	70 % níquel 30 % cobre	1,5	Grandes cantidades de cloruro de sodio combinado con oxígeno disuelto, tal como agua salada. Usualmente no necesita instalarse en pozos para agua potable.
SUPER NIQUEL . . . . .	70 % cobre 30 % níquel	1,2	Casos como el anterior, pero con aguas no tan corrosivas.
EVERDUR . . . . .	90 % cobre 3 % silicón 1 % manganeso	1,0	Dureza total muy alta, altos contenidos de cloruro de sodio (sin oxígeno disuelto presente). Alto contenido de hierro. Es el metal más usado para pozos municipales e industriales. Es extremadamente resistente al tratamiento con ácido.
ACERO INOXIDABLE . . . . .	74 % acero 18 % cromo 8 % níquel	1,0	Sulfuro de hidrógeno. Oxígeno disuelto. Dióxido de carbono. Bacterias ferruginosas. Resistencia. Ocupa el segundo lugar, después de everdur, en el uso para pozos municipales e industriales.
LATÓN COBRIZO SILÍCIO . . . . .	83 % cobre 15 % zinc 1 % silicón	0,9	Tiene los mismos usos que el everdur, pero no es tan bueno ni tan resistente. Se usa en aguas relativamente inactivas.
HIERRO SARMCOB . . . . .	99,84 % hierro puro (doblemente galvanizado)	0,6	No es resistente a la corrosión, pero la experiencia indica que funciona satisfactoriamente en algunas áreas. Se usa para pozos de irrigación en zonas donde las aguas son relativamente neutras.
ACERO . . . . .	99,35/99,72 % hierro 0,08/0,15 % carbono 0,20/0,50 % manganeso (doblemente galvanizado)	0,5	No es resistente a la corrosión. Generalmente se usa en pozos provisionales como pozos de prueba o pozos de drenaje. Sin embargo, ha dado duración satisfactoria en algunas áreas del Sur-Oeste de los Estados Unidos, donde las aguas no son ni corrosivas ni incrustantes.

· TABLA No. 1



17

**PROPIEDADES MECANICAS.  
DEL ADEME P.V.C.**

DIAMETRO NOMINAL EN PULGADAS	4	6	8	10	12	14
Diámetro exterior en mm (1)	114.5	168.6	219.5	273.3	324.2	355.1
Espesor de pared en mm (D)	6.5	6.7	8.4	10.5	12.5	13.6
$RD=D/t$	17	26	26	26	26	26
Resistencia a la tensión en Ton (tiempo hasta falla 100,000 hr. = 11 años)	6.2	9.5	15.6	23.8	34.4	40.60
Resistencia a la tensión equivalente a m tubo colgado.	1937	2065	2025	1966	2011	1933
Resistencia a la compresión en Ton (Tiempo 100,000 Hr.)	11.9	18.2	30.0	45.70	66.0	77.0
Resistencia a la compresión equivalente a m. de tubo cargado.	3718	3956	3896	3776	3859	3666
Resistencia al colapso en Kg/cm <sup>2</sup> .	15.15	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
<b>TUBO RANURADO.</b>						
Resistencia a la tensión 6 ranuras	1.24	1.9	3.1	4.76	6.88	8.12
Resistencia equivalente a m. tubo colgado	387	413	402	393	402	386
Resistencia a la tensión 6 ranuras	2.48	3.8	6.24	9.52	13.76	16.24
Resistencia equivalente a m tubo colgado	775	826	810	786	804	773
Resistencia al colapso en kg/cm <sup>2</sup> (ranura de 0.5 a 3mm.)	14.4 a 11.8	3.9 a 3.2	3.9 a 3.3	3.9 a 3.4	3.9 a 3.3	3.9 a 3.4

TABLA No. 2



TABLA

CAUDAL EN l/seg., ADMITIDO POR 1m. DE

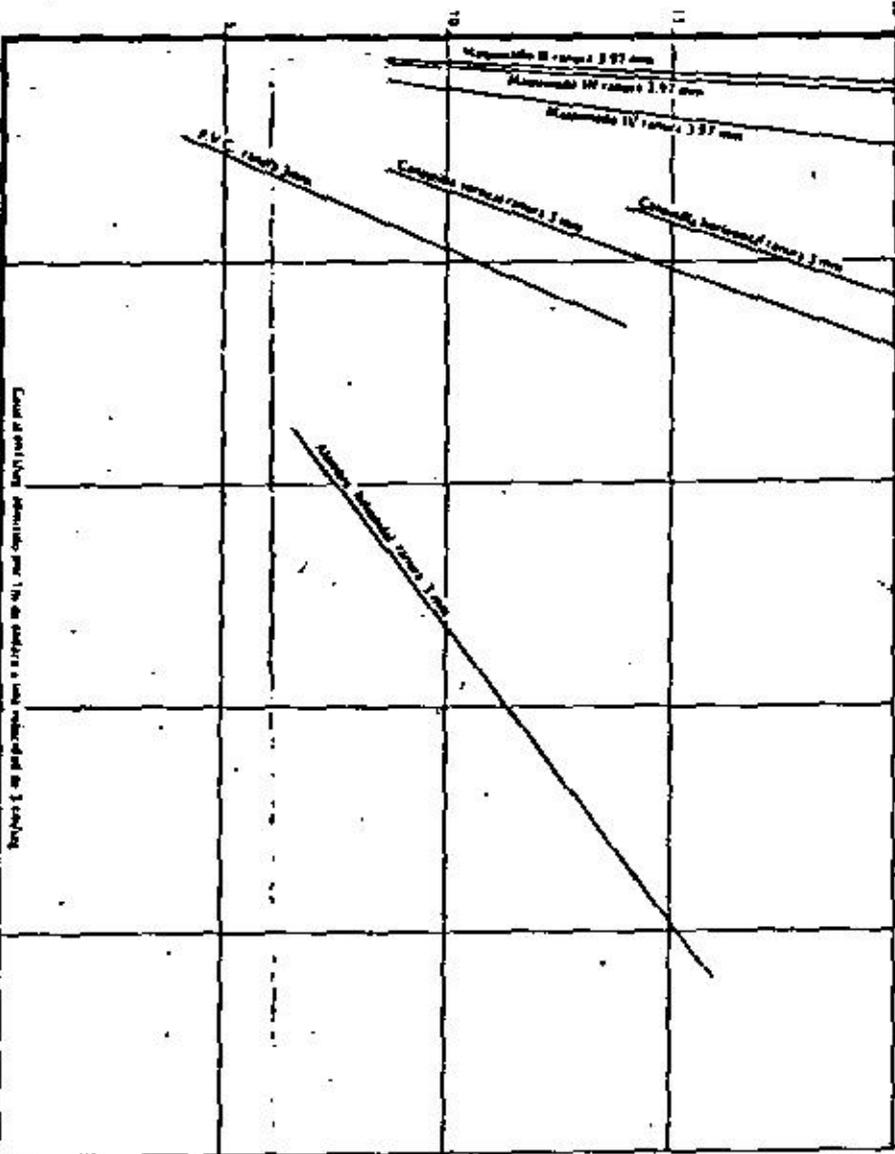
TIPO DE CEDAZO	MADRINADO TIPO II			MADRINADO TIPO III			MADRINADO TIPO IV			RANURA TIPO CONCHA			CAI VI
	Ancho Ranura en mm.												
Dist. entre ranuras en pulgadas.	3.97	4.78	6.35	3.97	4.78	6.35	3.97	4.78	6.35	3.18	4.78	6.35	1
4													0.95
6													1.17
6 5/8				0.46	0.62								1.42
8													1.55
8 5/8	0.50	0.60	0.79	0.62	0.75	1.00	1.00	1.20	1.59	0.22	0.37	0.54	1.72
10													1.99
10 3/4	0.58	0.70	0.93	0.75	0.90	1.19	1.24	1.50	1.99	0.23	0.37	0.59	2.22
12													
12 3/4	0.68	0.82	1.09	0.87	1.05	1.39	1.43	1.72	2.29	0.69	1.08	1.53	
14	0.81	0.97	1.29	1.06	1.27	1.69	1.68	2.02	2.69	0.79	1.18	1.59	
16	0.87	1.05	1.39	1.18	1.42	1.89	1.93	2.32	3.09	0.93	1.44	1.94	
18	0.93	1.12	1.49	1.31	1.57	2.09	2.18	2.62	3.48	0.99	1.45	2.01	
20	1.06	1.27	1.69	1.49	1.80	2.39	2.43	2.92	3.88	1.00	1.58	2.19	



Colocando pajas en la boca para asegurar un buen flujo de agua



Diámetro nominal en pulgadas



No. 2  
RSOS TIPOS DE CEDAZOS PARA POZOS DE AGUA

Tipo	MATERIAL INICIAL				MATERIAL					TIPO DE MATERIAL INICIAL					
	2 mm	3 mm	3 mm	4 mm	0.7 mm	1 mm	1.5 mm	2 mm	3 mm	0.5 mm	1 mm	1.5 mm	2 mm	3 mm	
100					1 100	8 200	12 400	15 600	22 100						
150					1 200	9 400	13 600	16 800	24 200						
200					1 300	10 600	14 800	18 000	26 400						
250					1 400	11 800	16 000	19 200	28 800						
300					1 500	13 000	17 200	20 400	31 200						
350					1 600	14 200	18 400	21 600	33 600						
400					1 700	15 400	19 600	22 800	36 000						
450					1 800	16 600	20 800	24 000	38 400						
500					1 900	17 800	22 000	25 200	40 800						
550					2 000	19 000	23 200	26 400	43 200						
600					2 100	20 200	24 400	27 600	45 600						
650					2 200	21 400	25 600	28 800	48 000						
700					2 300	22 600	26 800	30 000	50 400						
750					2 400	23 800	28 000	31 200	52 800						
800					2 500	25 000	29 200	32 400	55 200						
850					2 600	26 200	30 400	33 600	57 600						
900					2 700	27 400	31 600	34 800	60 000						
950					2 800	28 600	32 800	36 000	62 400						
1000					2 900	29 800	34 000	37 200	64 800						

E.- APERTURA DE LAS RANURAS DE LA REJILLA

E-1 POZOS DE DESARROLLO NATURAL

La base para seleccionar la apertura de las ranuras de la rejilla es la curva granulométrica acumulativa de las muestras.

Formación homogénea. Se seleccionará un tamaño tal que retenga del 40 al 50% del material muestreado. Se seleccionará el tamaño que retenga el 40% si las aguas no son corrosivas y 50% si lo son. Se seleccionará 50% en el segundo caso previendo que la corrosión pueda agrandar las ranuras y para evitar un posible peso de la arena al pozo y también resulta apropiado este porcentaje si hay duda sobre la calidad de las muestras.

Se debe considerar que cuando menor sea el porcentaje seleccionado, más cantidad de material penetrará al pozo durante el desarrollo y por tanto más durará este, pero en cambio se dispondrá de más área abierta con lo que disminuye el peligro de incrustación cuando las aguas tienen esta tendencia, y mejoren las condiciones hidráulicas y la capacidad de penetración del desarrollo.

Formación Heterogénea. Si como es el caso más frecuente en la naturaleza el acuífero está constituido por una alternancia de capas de distinta granulometría la mejor política, desde el punto de vista técnico, es tratar cada estrato en forma independiente y diseñar un filtro de ranuras múltiples, pero esto en la práctica frecuentemente no es posible, debido a la dificultad en disponer en corto tiempo de cedazos de diferentes ranuras.

(51)

E-2 POZOS CON FILTRO GRANULAR

Difieren de los de desarrollo natural en el hecho de que en ellos se coloca un filtro granular entre el acuífero y el cedazo, en lugar de formar un filtro natural en el propio acuífero mediante un proceso de desarrollo.

Estos son con mucha ventaja los más comunes en México y por tanto merecen ser tratados por separado. Veremos entonces la selección de tamaño de la ranura de la rejilla, en una sección aparte.

F.- DISEÑO DEL FILTRO GRANULAR

F-1 INTRODUCCION Y DEFINICIONES.

Existen diferentes criterios para diseñar un empaque de grava, pero todos ellos se basan en las curvas granulométricas acumulativas. Por tanto el funcionamiento del fil

CUADRO RESUMEN COMPARATIVO DE LOS CEDAZOS MAS COMUNES

CONCEPTO	MALO	BUENO	MEJOR	OPTIMO
Propiedades Mecánicas (Resistencia, tensión, compresión y colapso).	Alambre Helicoidal.		Cedazo P.V.C.	Tubo ranurado Tipo Concha, Tipo Canastilla
Tamaño ranura	Tubo ranurado, Tipo concha		Tipo Canastilla	Cedazo P.V.C. Alambre Helicoidal.
Area de infiltración	Tubo ranurado, Tipo Concha	Tipo Canastilla	Cedazo P.V.C.	Alambre Helicoidal.
Resistencia corrosión	Alambre Helicoidal.	Tubo ranurado, Tipo Concha, Tipo Canastilla.		Cedazo P.V.C.
Resistencia incrustación	Tubo ranurado, Tipo Concha, Tipo Canastilla	Alambre Helicoidal.		Cedazo P.V.C.

TABLA No. 5

tro dependerá de la calidad de las muestras que se obtengan en la perforación exploratoria.

Una vez establecida la existencia de uno o más acuíferos, se tomarán las muestras representativas de los distintos estratos que los constituyen, elaborándose a cada uno su curva granulométrica; a partir de ellas se determinará - cual es el estrato cuyos gránulos presentan mayor riesgo de penetrar al pozo, o sea el más fino y bien clasificado respecto a tamaño y será este material el que se utilice para el diseño del filtro de todo el pozo.

Los constructores alemanes han utilizado en ocasiones filtros con granulometrías múltiples en pozos con acuíferos muy finos, pero la utilidad del método aún en pozos someros es muy discutible pues resulta sumamente caro por requerir de grandes diámetros de perforación, filtros muy gruesos que dificultan el buen desarrollo del pozo, tubería desperdiciada, etc., por consiguiente nos limitaremos a mencionarlo solo a título informativo.

Como veremos más adelante algunos métodos proporcionan - filtros uniformes (un solo tamaño) y otros de mayor graduación o no uniformes. En general resultan más convenientes los no uniformes por su mayor capacidad de filtración, si bien al constructor le resulta mucho más difícil conseguir con los abastecedores de gravas una granulometría con varios tamaños, según las proporciones que solicite. Este puede ser un factor determinante en la selección de uno u otro método.

Para iniciar la discusión de los diferentes métodos es necesario el manejo de los siguientes conceptos:

$d_x$ : Tamaño de las partículas tal que el X% es más pequeño, o sea 100 - X será el porcentaje retenido por una malla de abertura X.

Coefficiente de uniformidad:  
 Coeficiente de Uniformidad =  $\frac{d_{60}}{d_{10}}$

Si se trabaja con un porcentaje retenido:  
 $C. U. = \frac{d_{40}}{d_{90}}$

Tamaño efectivo: Tamaño del tamiz que retiene el 90% de la muestra, o bien deja pasar el 10%

Tamaño típico de los granos,  $d_t$ : Se obtiene presentando en la figura la curva granulométrica acumulativa del material y buscando la intersección con la curva de trazos.

F-2 METODOS DE DISEÑO

F-2.1 Método de Bieske (1962).- Se basa en el tamaño típico ( $d_t$ ) de la muestra, y a partir de él calcula un tamaño homogéneo del filtro granular, multiplicándolo por un factor de filtración normalmente igual a 4.

En el ejemplo de la fig. 3  $d_t = 0.90$  (fig. 4)  
 tamaño del filtro =  $0.90 \times 4 = 3.60$  mm

F-2.2 Método de Nold (1962).- También se obtiene con el tamaño de filtro homogéneo, a partir del coeficiente de uniformidad del acuífero.

Coefficiente de uniformidad del acuífero.	Tamaño de grano homogéneo del filtro granular	
Entre 3 y 5	$d_{90} \times 5$	$d_{95} \times 4$
3	$d_{75} \times 5$	$d_{85} \times 4$

En el ejemplo de la Fig. 3 :



Coefficiente de uniformidad = 3.3  
 $d_{90} \times 5 = 1.25 \times 5 = 6.25$  mm  
 $d_{95} \times 4 = 1.65 \times 4 = 6.6$  mm

o sea que se podría utilizar un filtro homogéneo con tamaños variables entre 6.6 y 6.25 mm.

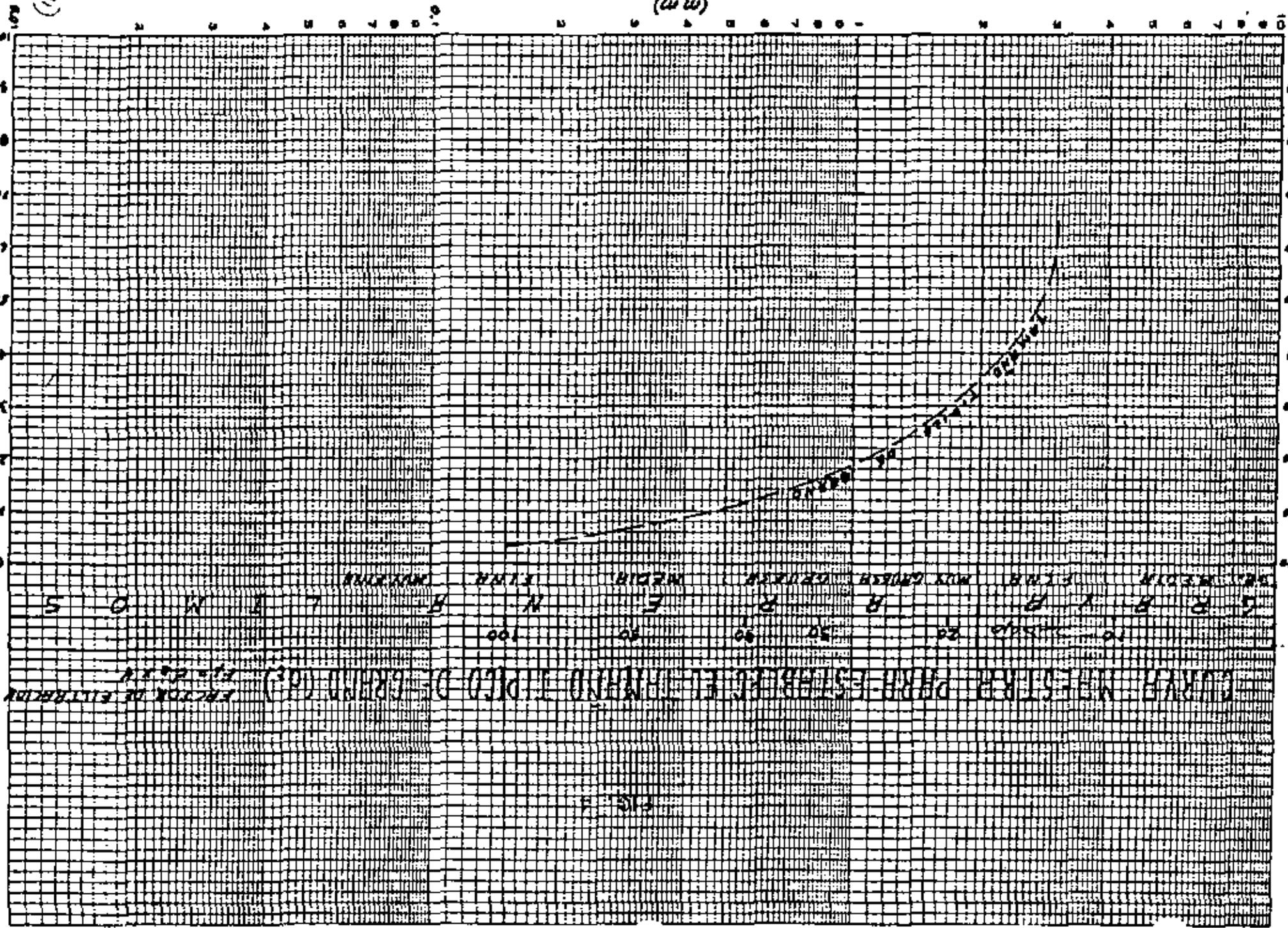
F-2.3 Método de Stov (1962).- Proporciona filtros de tamaño -- graduado según el siguiente criterio:

Tamaño del grano del acuífero	Multiplíquese por	Obtiene el tamaño del filtro.
$d_{85}$	5	$d_{85}$
$d_{50}$	5	$d_{50}$
$d_{15}$	5	$d_{15}$

Además se debe cumplir la condición en el filtro de que:

$$\frac{d_{85}}{d_{15}} \leq 5$$

(20 W)



(8)

FACTORY OF FILTERING

ESTABILIZACION DE UN PICO DE GRANO (20)

100 PER CENT  
 70 PER CENT  
 50 PER CENT  
 30 PER CENT  
 10 PER CENT

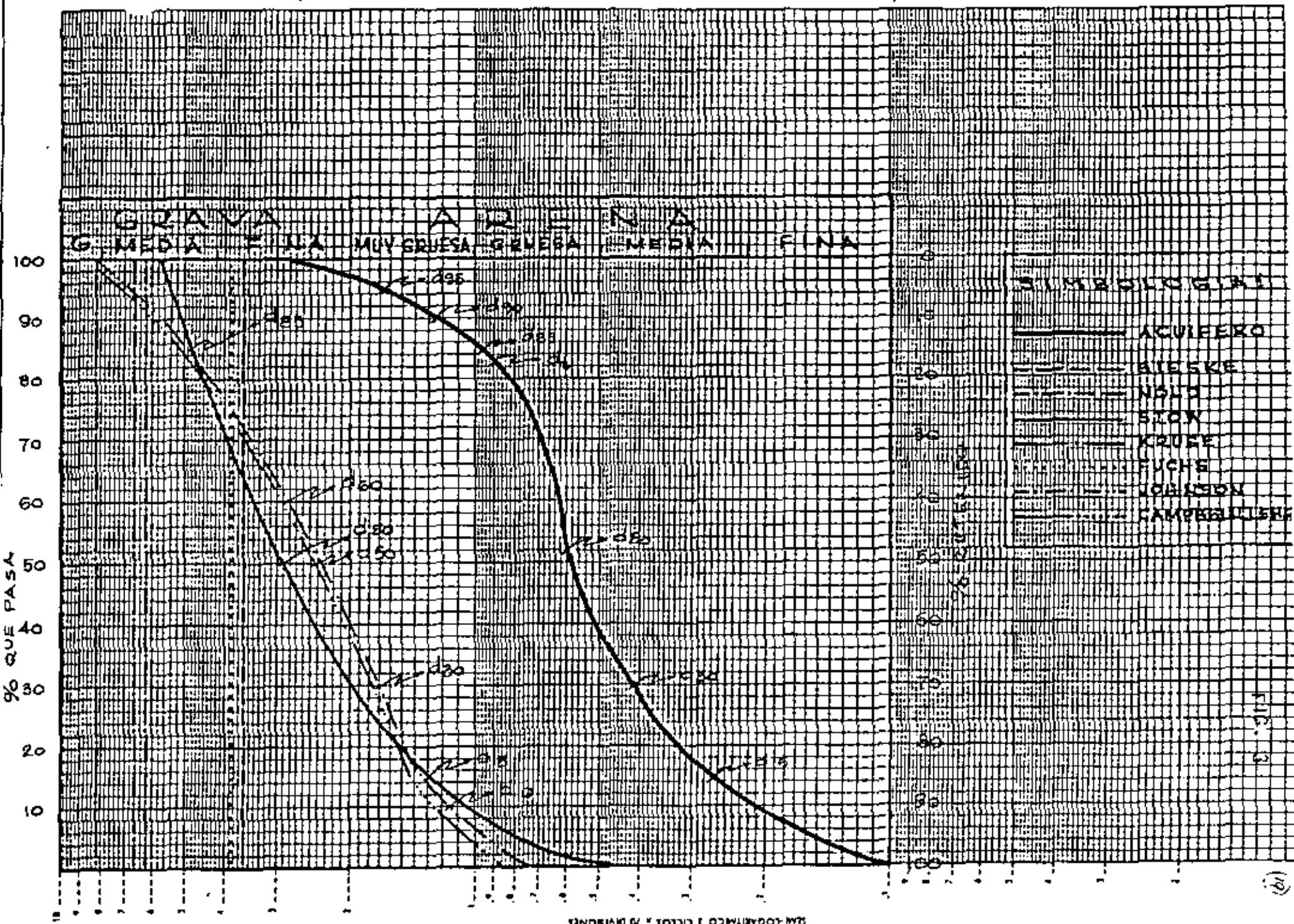


FIG. 3

(b)

De no ser así se modificarán los dos tamaños, para que la condición anterior se cumpla.

En el mismo ejemplo:

$$d_{85} \times 5 = 0.96 \times 5 = 4.8$$

$$d_{50} \times 5 = 0.60 \times 5 = 3.00$$

$$d_{15} \times 5 = 0.265 \times 5 = 1.3$$

$$\frac{d_{85}}{d_{15}} = 3.69 < 5, \text{ se cumple la condición.}$$

F-2.4 Método de Kruse (1960).- Considera la relación Filtro + acuífero (F/A) en su d50. los valores recomendados para estabilizar las arenas son los siguientes:

ACUÍFERO	FILTRO	F/A MÁXIMO
Uniforme	Uniforme	9.5
No uniforme	Uniforme	13.5
Uniforme	No uniforme	13.5
No uniforme	No uniforme	17.5

En el ejemplo se trata de una arena no uniforme y suponemos que no podemos conseguir un filtro graduado; Entonces:

Acuífero - No uniforme  
 Filtro - Uniforme  
 F/A = 13.5 como máximo  
 A d50 = 0.60  
 F d50 = 8.10 máximo

En la práctica se ha observado que:

- A igual F/A se produce menos movimiento de arena con filtros no uniformes que si lo son.

- Para F/A bajas el movimiento de arenas al principio del desarrollo aumenta proporcionalmente al coeficiente de uniformidad del acuífero.

- Si se selecciona un filtro no uniforme, resulta adecuado que a partir del F d50 calculado se trace para el filtro una curva más o menos semejante a la del acuífero, si es posible sin rebasar un coeficiente de uniformidad de 3.

F-2.5 Método de Fitch (1963).- Es recomendable preferentemente a acuíferos no uniformes, sin que lo excluya de los uniformes.

El filtro se diseña de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$F d_{50} = 4 A d_{85}$$

$$F d_{50} = 16 A d_{50} \quad \text{Cuando el acuífero es uniforme}$$

$$F d_{50} = 10 A d_{50} \quad \text{Cuando el acuífero no es uniforme}$$

Se seleccionará el menor valor obtenido o un rango entre los dos valores.

En el ejemplo: No es uniforme.

$$A d_{85} = 0.96 \text{ mm}$$

$$A d_{50} = 0.60 \text{ mm}$$

$$F d_{50} = 0.96 \times 4 = 3.84 \text{ mm}$$

$$F d_{50} = 10 \times 0.60 = 6.00 \text{ mm}$$

F.2.6 Método de Johnson (1966).- Es uno de los métodos más recomendables si se tiene la posibilidad de obtener un filtro graduado en la zona donde se construyen los pozos, y al se cuenta además con un cedazo con buen porcentaje de área libre.

Para la selección del filtro se procede del siguiente modo:

-Se elaborará la curva granulométrica del material más fino.

-En la curva se obtendrá su d30 o sea el 70% retenido y se multiplicará por un factor variable entre 4 y 9.

8

- 4 Si el material del acuífero es fino y uniforme
- 6 Si el material es más grueso y menos uniforme
- 6-9 Si fuera muy poco uniforme y tuviera limas.

- El producto de esta multiplicación será el tamaño d30 del filtro granular.

-Con base en este punto se traza una curva con coeficiente de uniformidad igual o menor que 2.5

-Esta será la curva del filtro y se permitirán tolerancias de  $\pm 8\%$ .

En el ejemplo:

$$d_{30} = 0.41 \text{ mm y tomaremos un factor de 4}$$

$$d_{30} \text{ del filtro} = 1.64 \text{ mm}$$

Se trazó la curva cuyo coeficiente de uniformidad fue:

$$\frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{2.85}{1.18} = 2.42$$

-2.7 Método de Campbell-Lehr (1973).- Se basa en la llamada -- "Relación del empaque de grava" que se obtiene:

$$\text{Reg} = \frac{50\% \text{ Filtro}}{50\% \text{ Formación}}$$

Si la Reg vale entre 4 y 5, los pozos normalmente tienen una alta eficiencia y el agua producida estará libre de arena.

Si Reg varía entre 7 y 10 la eficiencia disminuye notablemente.

Valores de Reg del orden de 10 pueden significar pozos productores de arena en cantidades moderadas.

Valores del orden de 20 implican filtros completamente -- ineficientes.

A mayores coeficientes de uniformidad en la formación se podrá disminuir el  $d_{50}$  del filtro, como ejemplo de un caso práctico podemos citar un coeficiente de uniformidad de 1.5 para un material acuffero de 8.3 sin que produjera -- arena.

En el ejemplo:

$$d_{50} = 0.6 \quad \text{y tomaremos Reg} = 4$$

$$\text{entonces: } d_{50} = 0.6 \times 4 = 2.4 \text{ mm}$$

La curva se trazó con un coeficiente de uniformidad semejante al empleado en el método de Johnson.

#### IV.- EJEMPLO DE DISEÑO

Supondremos que se ha efectuado una perforación exploratoria hasta 235 m. en la cuál se ha encontrado la siguiente columna estratigráfica:

Prof.	Litología
0-5 m	Suelo vegetal
5-17 m	Arenas de grano medio. El registro eléctrico muestra alta salinidad.
17-93 m	Arcillas plásticas de color café con poca arena.
93-142 m	Alternancias de estratos delgados de arenas finas, medias, gruesas, gravillas y mezclas de estos materiales.
142-196	Limos arcillosos
196-225	Arenas finas
225-230	Granito intemperizado
230-235	Granito sano.

Nivel estático = 6.50 m

Caudal requerido = un mínimo de 100 lt/seg. o más si -- fuera posible.

Durante la perforación se tuvieron pérdidas considerables de -- lodo en el tramo 100-142 m y en el 200-210 m, por lo que se -- puede esperar el caudal requerido con un nivel dinámico que según -- experiencias de la zona para 100 lt/seg. oscilaría entre 40 y -- 60 m.

Las aguas de la región no tienen propiedades incrustantes ni -- corrosivas.

En base a la información obtenida se decide clausurar el acuí- -- fero superior de agua de mala calidad y explotar el localizado -- entre 93 y 142 m y el de 196 a 225.

#### DIAMETRO DE TUBERIAS

Cámara de Bombeo.- Un caudal de 100 lt/seg. requiere una bombe -- con tazón de 12" o sea que el diámetro óptimo de la cámara de -- bombeo sería de 16". Además este tamaño permitiría si el eforo -- lo aconsejara instalar tazones de 14"

Para 100 lt/seg. se tendrían niveles del orden de los 50 m., -- pero como podemos explotar más caudal y en previsión de futuros -- abatimientos regionales prolongaremos la cámara hasta 96 m.

Entonces:

Cámara de bombeo: 0-96 m. en 16" ciega

Porción Filtrante.- En este caso, dado que se tienen acuíferos de arenas finas homogéneas se impone un pozo con filtro granular.

El análisis granulométrico indica un filtro con  $d_{10} = 0.8 \text{ mm}$  - por lo que seleccionamos un cedazo de 1 mm.

Los acuíferos no muestran artesianismo o sea que los trataremos como libres y dejaremos abierto el 50% inferior de cada uno.

Utilizaremos cedazo de P.V.C.

Entonces:

$$\text{Acuífero} = (142-93) + (225-196) = 78 \text{ m}$$

$$\text{Cedazo} = 78 \times 0.5 = 39 \text{ m}$$

Calcularemos la ranura previendo un caudal de 150 lt/seg.

Entonces la base de cálculo sería:

$$Q = 150 \text{ lt/seg.} = 150,000 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

$$L = 39 \text{ m}$$

$$v = 3 \text{ cm/seg.}$$

Probaremos por ejemplo un adema de PVC con ranura de 1 mm y 8". En la tabla vemos que ofrece un área libre de 504 cm<sup>2</sup>/m

$$\text{Área libre total} = 504 \times 39 = 19,656 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{150,000}{19,656} = 7.63 \text{ cm}$$

resulta una velocidad muy alta

Probaremos 12", entonces el área libre es de 700 cm<sup>2</sup>/m.

$$A_{12} = 700 \times 39 = 27,300 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{150,000}{27,300} = 5.49 \text{ también alta}$$

$$\text{Con } \beta = 14", A_1 = 840 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$v = \frac{150,000}{32,760} = 4.57 \text{ cm/seg.}$$

Resulta entonces necesario contar con una mayor longitud de cedazo con lo que disminuiríamos la velocidad, perderemos caudal, y ganaremos capacidad específica. Dejamos con cedazo el 80% inferior de cada acuífero. Entonces:

$$L = 78 \text{ m} \times 0.8 = 62.4 \text{ m}$$

$$\text{Con } \beta = 12": A_{12} = 700 \times 62.4 = 43,680 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{150,000}{43,680} = 3.43 \text{ cm/seg.}$$

Esta velocidad resulta ligeramente alta, pero como tomamos una Q excedida de las necesidades la podemos considerar adecuada.

Veamos que caudal podremos manejar sin exceder la velocidad crítica. En la tabla No.4 vemos que 12" con 1 mm admite 2.10 -lt/m entonces.

$$2.10 \times 62.4 = 131.04 \text{ lt/seg.}$$

Hasta el momento hemos diseñado un pozo de las siguientes características:

0-96	=	Ø 16"	Ciega
96-102		12"	Ciega
102-138		12"	Cedazo con ranura de 1 mm
138-198		12"	Ciega
198-222		12"	Cedazo con ranura de 1 mm
222-228		12"	Ciega

Además se va a proteger el pozo de la contaminación del acuífero superior con una cementación de 0-25 m, por lo que en ese tramo colocaremos un casquillo de tubo liso de 24"

El croquis de terminación del pozo sería entonces como se muestra en la fig. 5 y solo restaría solicitar oportunamente los materiales necesarios, poniendo especial atención a la granulometría del filtro granular que se deberá plegar a lo especificado anteriormente al tratar el tema.

(22)

V.- ALGUNOS ERRORES COMUNES EN EL DISEÑO DE POZOS

A.- Para incrementar el caudal se debe colocar cedazo en todo el espesor del acuífero.

Ya hemos visto que esto solo es válido para el caso de acuíferos artesianos, pero que en el caso de acuíferos libres, solo se mejora la capacidad específica con lo que disminuye el gradiente y por tanto el caudal.

Vimos que el mayor caudal se obtiene al colocar el cedazo en la parte inferior del acuífero.

B.- Al incrementar el diámetro de un pozo se incrementa proporcionalmente el caudal.

Esta creencia aunque muy difundida es falsa. En realidad al doblar el diámetro de un pozo, el caudal solo se incrementa en menos de un 10% lo cual evidentemente resulta antieconómico.

En la fig. 6 se muestra el incremento en el caudal relativo al incrementarse el diámetro, asumiendo desde luego que todas las demás características del pozo son semejantes.

C.- Existe un flujo notable vertical a través de los espacios de filtro granular.

Esta idea ha llevado a pensar en comunicar acuíferos mediante el filtro de material granular explotándolos por medio de un cedazo colocado en el acuífero inferior.

Esta suposición es totalmente falsa y para ilustrarlo utilizaremos la figura 7, mediante la cual trataremos de calcular el flujo a través del filtro, en el espacio anular.

La fórmula con la que calcularemos el flujo es:

$$Q = P I A \text{ Donde:}$$

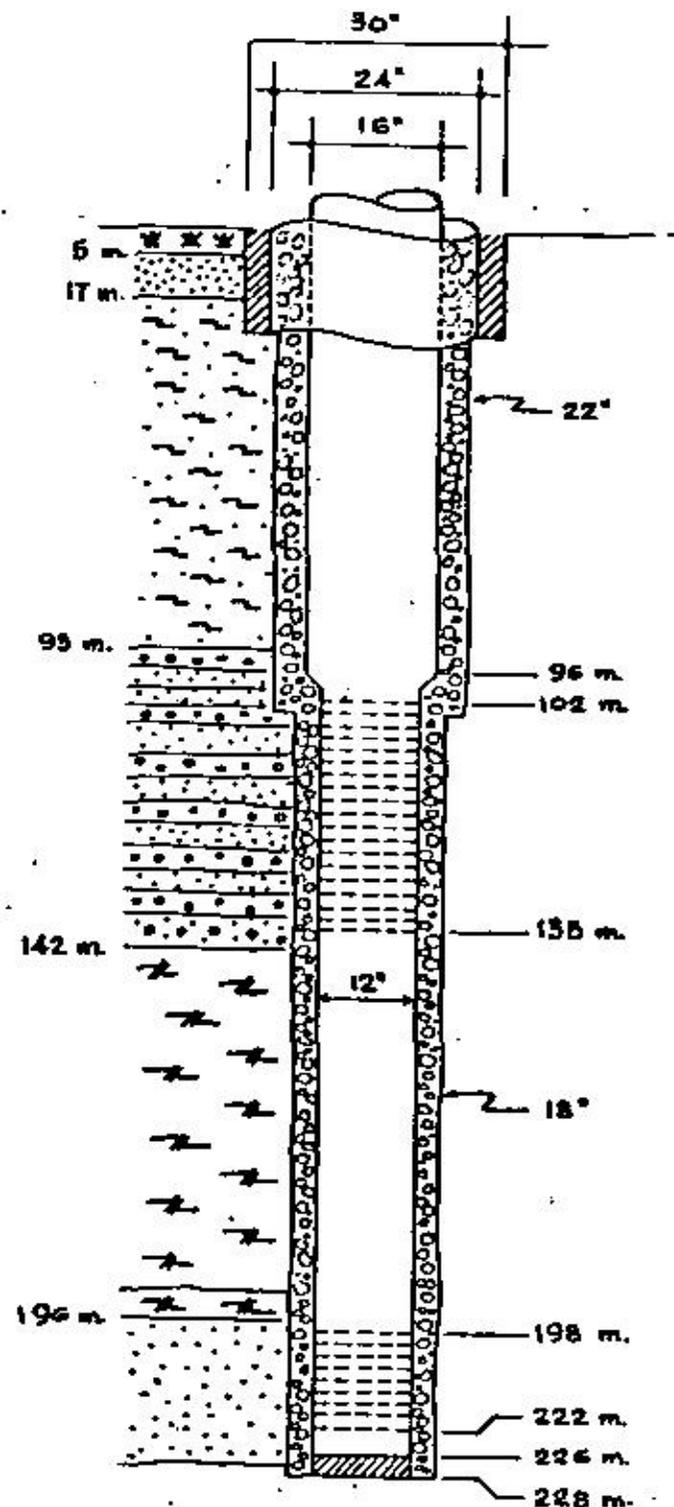
Q = Caudal a través del espacio anular en m<sup>3</sup>/día.

P = Permeabilidad del filtro granular en m/día, bajo un gradiente = 1

I = Gradiente hidráulico que provoca el flujo a través del filtro = 55-10 = 45 m.

A = Área de la sección transversal del espacio anular en m<sup>2</sup>.

CORTE DE TERMINACION DE POZO.



GRAFICA DEL INCREMENTO DEL CAUDAL  
EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL POZO

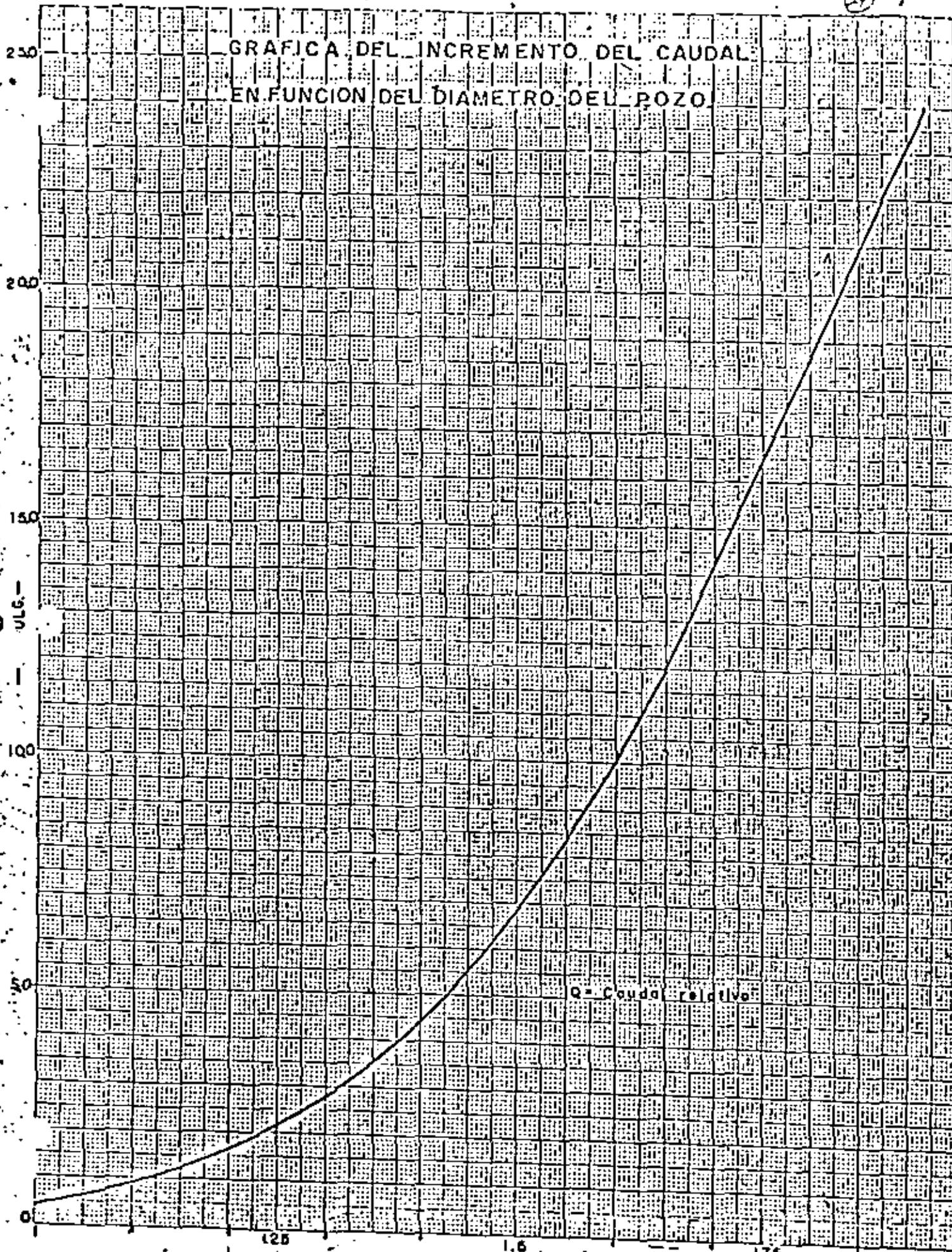


FIG. 6

50

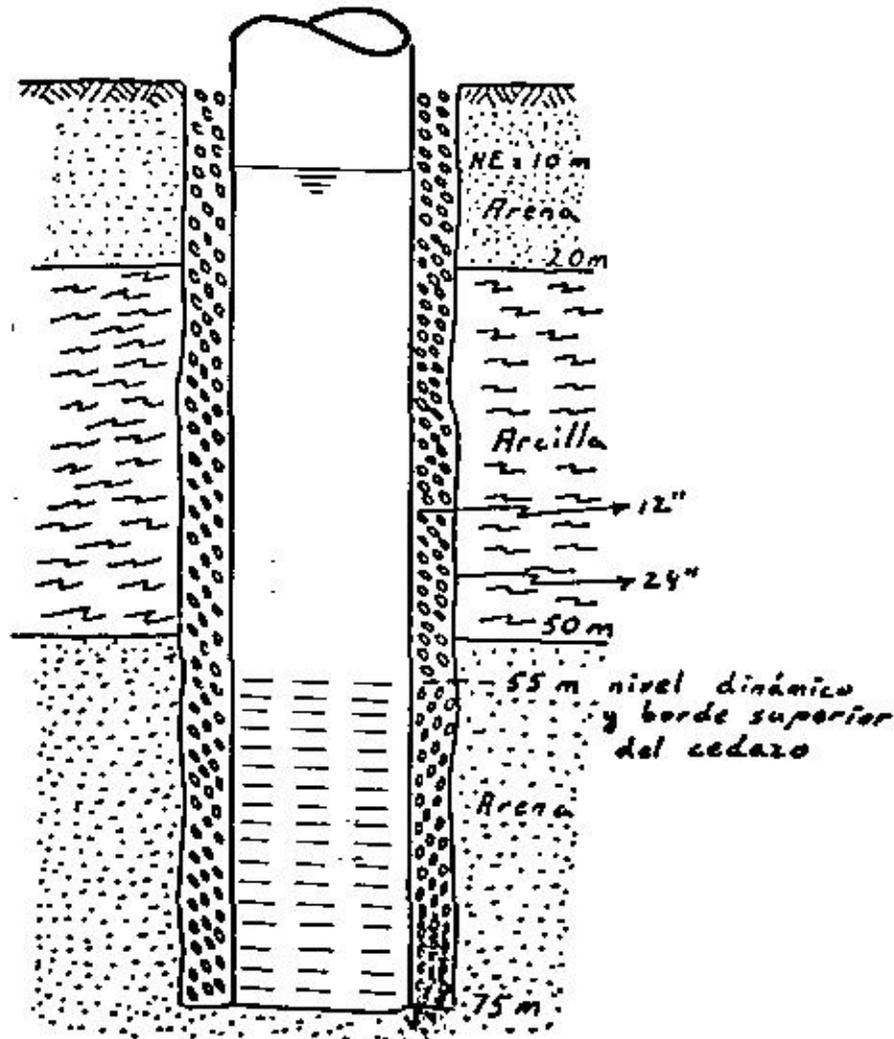


FIG. 6

La distancia a recorrer por el agua del acuffero superior es de aproximadamente 50 m. que es la distancia entre los puntos medios de los dos acufferos.

$$l = \frac{45}{50} = 0.9$$

Area de la sección de filtro

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \text{ donde:}$$

D= diámetro de la perforación = 24" = 0.61 m

d= diámetro exterior tubo = 12" = 0.30 m.

$$A = \frac{\pi}{4} (0.61^2 - 0.3^2) = 0.22 \text{ m}^2$$

Estimaremos la permeabilidad P del empaque de filtro granular, en un límite superior de unos 800 m/día que incluíra la gran mayoría de los filtros utilizados.

Por tanto la cantidad de agua transmitida verticalmente es:

$$Q = 800 \times 0.9 \times 0.22 = 158.4 \text{ m}^3/\text{día} = 1.8 \text{ lt/seg.}$$

55

Puede verse que la cantidad resulta muy baja para un pozo de estas características, y se lograrían resultados mucho mejores colocando un cedazo en el acuffero superior.

## VI.- TERMINACION DEL POZO

### A.- AMPLIACIONES.

Una vez diseñado el pozo, normalmente a partir de la perforación exploratoria que es el inicio del futuro pozo de explotación o a partir de un sondeo exploratorio en pequeño diámetro, se programaran las ampliaciones necesarias para lograr alcanzar el diámetro definitivo del proyecto.

Los pasos necesarios para alcanzar estos diámetros dependen de varios factores entre los que podríamos citar:

-Tipo de perforadora.- Una perforadora rotaria inversa es capaz de perforar en una sola pasada grandes diámetros, - lo cual no es posible para una rotaria directa o una de percusión.

-Tamaño de la perforadora.- En el caso de un mismo tipo de perforadora, normalmente una mayor que otra requerirá de menos pasadas.

-Estado de la perforadora.

-Materiales cortados.- A mayor coherencia se requerirá de un mayor número de pasadas para alcanzar un diámetro dado.

-Profundidad de la perforación.

-Equipo auxiliar.

-Otras.

En cualquier caso se debe considerar que el peso de una ampliación no debe ser constante en el aumento de diámetro, pues el material removido, por ejemplo, en un paso de 10" a 12" es muy diferente al que se debería remover en un paso de 20" a 22", en este ejemplo aunque en los dos casos se ampliaron 2", en el 2º se cortó 2.69 más material. Aún cuando la variación en la eficiencia, no es tan simple como el ejemplo presentado, es suficientemente gráfica para resaltar la necesidad de disminuir la amplitud del paso de ampliación a medida que el diámetro va aumentando.

### B.- EL ADEMADO DEL POZO.

Ya se dijo antes que no todos los pozos requieren de ademe, pero el pozo ademado es con mucha ventaja el más frecuente.

En México, hoy en día, el tipo de ademe más utilizado en los pozos de agua es el de acero soldado a tope y en muy raras ocasiones el de acero con rosca y cople, debido - esencialmente a su costo más elevado, si bien resulta - más conveniente al eliminar en gran medida la posibilidad de errores de soldadura.

Actualmente se está haciendo más frecuente el uso del ademe plástico, que en otros países se ha impuesto en forma rápida.

Sea cual sea el ademe usado la operación del entubado debe hacerse en forma cuidadosa y lo más rápida posible para evitar que el pozo se cierre o azolve, sobre todo cuando se han perforado materiales inestables. En este caso es recomendable perforar algunos metros más de los que se pretenda ademar, para que en caso de que el pozo se azolve durante el proceso del ademado, no impida el entubado tal como fué diseñado.

Resulta muy recomendable el uso de centradores repartidos a lo largo del ademe, pues la posición concéntrica del entubado en la perforación, ayuda a que su colocación ocurra sin problemas.

Por otra parte esta situación garantiza que el filtro granular envuelve completamente al pedazo, evitándose así la entrada de arena al pozo.

Si bien el criterio de espaciamiento de los centradores varía de constructor a constructor parece adecuado colocar un centrador cada 20 diámetros del ademe.

### TAPON DE FONDO

Resulta siempre conveniente el colocar en el fondo del pozo un tapón de cemento que lo aisle impidiendo la entrada de materiales por el fondo; aislamiento que es particularmente importante si se tuvieran arcillas plásticas en el fondo. Este aislamiento es también necesario en el caso de los pozos completos para impedir el acceso de aguas de mala calidad, ya se dijo eran frecuentes en la porción inferior de muchos acuíferos libres.

Por último el tapón de fondo ofrece un soporte al pozo aún cuando el terreno se compactara alrededor de él.

La práctica más usual en la construcción de el tapón de fondo, es el colocar la lechada de cemento en la superficie, antes de el ademado en la parte inferior del tubo, con una longitud de entre 1.5 y 2 m como mínimo.

En un tiempo fué práctica común la de hacer tapones de "punta de lápiz" formando un cono en la parte inferior con la propia tubería. Este modalidad no resulta aconsejable pues impide en un futuro la reperforación del pozo, aunque fuera necesario.

D.- ENGRAVADO Y LAVADO PRELIMINAR

Una vez finalizada la colocación del ademe se procede a la colocación del filtro granular, la cuál es simultánea a la del lavado preliminar.

En la colocación del filtro granular se deben cuidar dos aspectos principales:

Evitar el "puenteo" del filtro, o sea el acunamiento de los gránulos entre el ademe y el terreno, pues este puente impide la colocación de filtro en la zona inferior a él. La posibilidad de puenteo crece con los espacios anulares reducidos, con el tamaño del gránulo y con una circulación deficiente durante la colocación.

En algunos casos es el propio terreno el que forma el puente al agillarse sobre el ademe.

El otro problema que debe evitarse es la segregación del filtro, formando microestratos de distinta granulometría pues el material grueso puede permitir la entrada de arenas al pozo. Esta posibilidad crece cuando se utilizan filtros graduados y cuando no se ha reducido convenientemente la viscosidad del lodo de perforación.

D-1 METODOS DE ENGRAVADO

Existen varios métodos más o menos sofisticados en que esta operación se realiza combinada con movimientos de tuberías, pero que resultan caros y de difícil ejecución, por lo que declinaremos su exposición para comentar solamente los dos más usuales.

- Engravado rápido.- El filtro se deja caer en el pozo en forma continua en grandes cantidades con lo cual se evita la segregación del gránulo pues el material que se retarda en los primeros envíos es alcanzado por el que se adelanta en los siguientes, resultando así una llegada simultánea de materiales heterogéneos respecto a tamaño.

Tiene la ventaja adicional de la rapidez de la operación pero el inconveniente grave de favorecer en forma importante la formación de puentes.

En E.E.U.U. donde la mayoría de los pozos que se construyen son de pequeño diámetro y poco profundos se ha revelado el problema con espacios anulares muy robustos (6 a 10' alrededor del ademe), lo cual presenta serios inconvenientes al hablar de diámetros mayores:

Necesidad de perforar grandes diámetros

Consumo de un gran volumen de filtro

Dificultad en el desarrollo posterior, pues el espesor de propio filtro entorpece la llegada de la agitación al enjarre bentonítico y al acuffero.

-Engravado lento.- El filtro se deja caer al pozo en pequeñas cantidades y dejando transcurrir cierto tiempo, según la profundidad entre envío y envío.

Aunque cada envío sufre segregación, la cantidad de material es tan pequeña que el estrato formado es prácticamente inexistente y por otra parte se dificulta la formación del puente. Pero en cambio la operación es tan lenta que se torna muy cara y se debe controlar la velocidad del lavado pues de ser muy rápido se podría provocar un derrumbe en una zona aún no soportada por el filtro.

-Engravado Semilento.- Sería probablemente el método más aconsejable si se pudiera establecer la "semilentitud", de otro modo que con la sola experiencia.

Consiste en derramar el filtro en pequeñas cantidades, para no formar puentes, pero en forma continua para evitar la segregación.

3-2 LAVADO

Una vez terminada la colocación del filtro se continúa el lavado que ya se habla iniciado, sustituyendo el lodo de perforación y el agua turbia, con agua clara.

Esta operación se finaliza con la colocación en el pozo de un dispersante de arcillas, cuando sea necesario.

E.- DESARROLLO Y AFORO

Como estos temas son motivo de otras exposiciones no serán tratados aquí y nos limitaremos a citarlos solamente, en forma enunciativa para alcanzar la culminación de la construcción de un pozo de agua.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

DESARROLLO DE POZOS

ING. JOSÉ MA. BOLIVAR DEL VALLE

ABRIL, 1984

*Definición de Pozos Artesianos*  
REHABILITACION MECANICA DE POZOS DE AGUA

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

- 1.- Diseño inadecuado del pozo.
- 2.- Deficiencias constructivas.
- 3.- Mala selección de la bomba
- 4.- Obturación de los poros del filtro de grava, del propio acuífero, o de la porción filtrante del ademe, por materiales finos arrastrados por el flujo del agua hacia el pozo, o por incrustaciones de elementos precipitados químicamente (carbonatos y óxidos de Fe principalmente).
- 5.- Por corrosión de la tubería.

Todos los puntos anteriormente mencionados pueden ser controlados,

por lo menos parcialmente, si la obra de captación se ejecuta de acuerdo a las técnicas modernas de construcción de pozos.

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

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

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

b).- Pozos desviados de la vertical.

→ La selección de la bomba deberá hacerse por una persona con experiencia y a partir de datos de aforo realmente representativos del funcionamiento del pozo, por lo que, dicho aforo deberá realizarse con todo cuidado y sin escatimar el tiempo en que se lleve a cabo.

→ La obturación de poros o de la porción filtrante, depende en gran medida al diseño y construcción del pozo, pero influye también el tiempo de operación, pues aún pozos buenos se van tapando con materiales

finos al cabo de cierto tiempo, mismo que, será mucho más largo cuanto mejor sea el pozo.

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

La solución de éstos problemas obligan a la aplicación de una serie de técnicas que trascienden los alcances de una exposición de tan - corto tiempo. Por tanto nos limitaremos a comentar brevemente los métodos de rehabilitación mecánica que en general ofrecen magníficos resultados en cualquier pozo perforado en materiales granulares y también algunos en materiales rocosos en que se apliquen.

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

Los resultados particulares pueden variar notablemente en cada caso pero los más importantes son:

- Aumentar, como ya se dijo, la permeabilidad alrededor del pozo, provocando una mayor capacidad específica.
- Estabilizar la formación en torno al pozo, con lo que disminuye la probabilidad de bombear arena, en forma muy considerable.
- En los pozos en que se ha empleado lodo de perforación es muy frecuente que se forme un enjarre en la pared del sondeo, que disminuye notablemente la permeabilidad.  
Este enjarre se ~~elimina~~ generalmente con el tratamiento, el cual, es más efectivo si se hace combinado con un químico a base de polifosfatos, que ayudan a la dispersión del material arcilloso coloidal, separando los sólidos del lodo, rebajando su viscosidad y quebrando sus propiedades del gel.
- Si el agua tiene propiedades incrustantes o corrosivas, el aumento en la porosidad retrasa el fenómeno, pues redundará en menores velocidades de entrada del agua al pozo y menor abatimiento de nivel dinámico.
- La disminución del nivel dinámico va aparejada con menores columnas de bombeo y el consiguiente ahorro de energía.  
Generalmente éste ahorro por sí solo, paga en muy corto tiempo

- po (frecuentemente menos de un año), el costo del tratamiento.
- En acuíferos constituidos por rocas fracturadas el desarrollo elimina los materiales finos que rellenan las fracturas permitiendo así un paso más franco del agua al pozo.
  - El método de perforación inversa altera menos que el de perforación directa las condiciones del acuífero, debido a que no se utilizan lodos de perforación, salvo en casos excepcionales, y a la baja velocidad de entrada del agua al pozo por el espacio anular. Algo semejante ocurre con los pozos perforados con percusión. En éstos casos el desarrollo se efectúa básicamente para mejorar las condiciones naturales del acuífero.
  - Los pozos de desarrollo natural (sin filtro de grava), en que como su nombre indica, se va creando un filtro natural con los materiales del acuífero, requieren como parte importantísima de su construcción trabajos de desarrollo, para formar el filtro natural.

Quando las condiciones geohidrológicas son las adecuadas, éstos pozos resultan más eficientes y de más larga vida que los tradicionales pozos con filtro de grava. Desgraciadamente en México, debido a que hasta hace poco no se contaba con un cedazo adecuado, éstos pozos son todavía muy raros, pero es de suponerse que en los próximos años se construirán frecuentemente.

- Hasta aquí se ha recomendado el desarrollo como un tratamiento benéfico para la terminación de pozos, pero su importancia es igual o probablemente mayor en pozos en operación, pues generalmente se encuentra que en ellos no se emplearon diseños ni técnicas constructivas adecuadas y además el tiempo que llevan operando ha disminuído su eficiencia.

En éste tipo de pozos los resultados son frecuentemente expectaculares.

En forma general, podemos decir que el desarrollo mecánico se debe hacer en cualquier pozo inmediatamente después de su construcción.

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

A continuación haremos una breve descripción de los métodos más empleados en rehabilitaciones y desarrollos enumerando sus ventajas e inconvenientes.

#### A.a. Sobrebombeo.

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

Es un método de desarrollo poco satisfactorio, pues tiene efecto en un sólo sentido (del acuífero hacia el pozo), por lo que se facilita el que los materiales finos arrastrados formen "puentes" acuñándose entre los gruesos. Además el método es poco enérgico, sobre todo en pozos de alta capacidad específica, donde el provocar un descenso significativo requiere de una gran bomba, generalmente difícil de conseguir. El desarrollo puede también realizarse en pozos con motor de combustión aumentando revoluciones al motor y si es necesario tazones y columna a la bomba y dispuestos de antemano a tener un desgaste excesivo en el equipo. No deja de ser notable el hecho de que siendo éste el menos eficiente método de desarrollo, sea también uno de los más usados.

#### A.b. Lavado a contracorriente.

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

#### A.b.1. Arranque y parada de la bomba.

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

Se tienen tres variantes del método y se escogerá la más adecuada para cada caso particular:

#### A.b.1a. Máximo descenso y recuperación.

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

Con éste sistema se consigue una alta agitación en el pozo y una carga hidráulica máxima en la rejilla por lo que resulta un método de desarrollo de pozos eficaz y que no daña mucho la bomba,

pero en cambio se requiere generalmente una grán bomba, ma  
yor cuanto mejor sea el pozo, y además un buen desarrollo --  
implica mucho tiempo. Estas características negativas limitan  
mucho su utilización.

#### A.b.1b. Máximo descenso sin recuperación.

Igual que en el caso anterior se bombea hasta lograr el máxi-  
mo descenso, se interrumpe el bombeo y después de un corto  
tiempo, antes de que el pozo recupere su nivel, se hace fun-  
cionar de nuevo la bomba.

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

#### A.b.1c. Bombeos cortos.

Se bombea hasta que el agua descargue en superficie, parándose  
se la bomba para que el agua caiga por la tubería de bombeo,

replitiéndose la operación todas las veces que sea necesario.

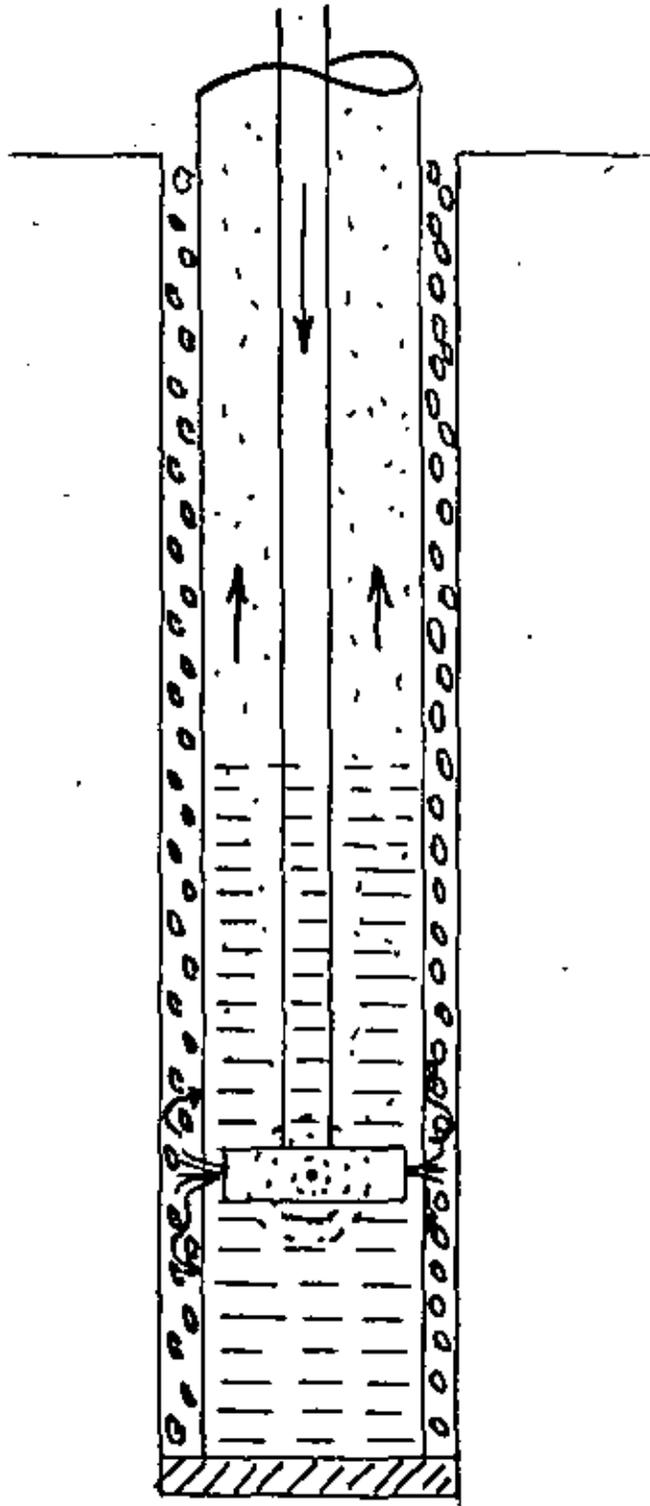
Se producen así oleadas energéticas y casi continuas y tiene la ventaja adicional de no requerir de equipo especial (bomba -- muy potente), como los dos métodos anteriores. En cambio -- no provoca una carga hidráulica tan grande y el arrastre de -- finos hacia el pozo es menos abundante; además castiga tam-- bién mucho la bomba.

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

#### A.b.2. Lavado bajo presión.

Los métodos de lavado bajo presión consisten en el bombeo de agua a presión <sup>por</sup> desde el interior del pozo por medio de una tubería de pequeño diámetro. Son métodos de desarrollo más vigorosos que los de arranque y parada de la bomba, exceptuando el primero de ellos que hemos llamado "chorro vertical y pozo abierto", que se recomienda solo como una operación rutinaria al terminar pozos con máquina rotatoria y previo a un desarrollo más energético.

Todos los métodos de lavado bajo presión tienen el inconvenienen



*Desarrollo con chorros horizontales*

ta de requerir una bomba de inyección más o menos potente, cárcamos para azolves y de succión, etc. Esto implica instalaciones semejantes a las de una perforadora. Lo anterior limita éstos métodos por razones económicas a la terminación de pozos cuando los trabajos se realizan con la misma perforadora. Otro inconveniente adicional es la necesidad de grandes cantidades de agua para poder reponer la que cargada de azolve se extrae del pozo.

Existen tres variantes del lavado bajo presión.

#### A.b.2a. Chorro vertical y pozo abierto.

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

A.b.2b. Chorro vertical y pozo cerrado.

Esencialmente la instalación es la misma, pero con la variante de que aquí se cierra herméticamente la boca del pozo dejando le una descarga lateral provista de válvula. Con la válvula cerrada se inyecta presión al pozo y se abre la válvula de descarga extrayéndose los materiales finos. Se repite la operación las veces que sea necesario iniciándose con presiones bajas que se aumentarán paulatinamente.

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

A.b.2c. Chorros horizontales.

La instalación es semejante a la de chorro vertical y pozo abierto, pero se tapa el extremo inferior de la tubería de inyección habiendo en cambio pequeñas salidas laterales para que los chorros salgan horizontalmente en forma directa contra el cedazo.

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

#### B. Oleada mecánica o pistoneo.

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

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

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

Para que resulte efectivo se deberán cuidar los siguientes requisitos:

-Diámetro del pistón. El diámetro del pistón debe ser como mí  
nimo una pulgada menor que el diámetro interior del cedazo.

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

-Peso del pistón. Se ha comprobado en la práctica que para -  
que el pistoneo resulte eficiente el pistón deberá pesar los su-  
ficiente para bajar en forma rápida, generalmente ésto se lo-  
gra cuando el peso es tal que la presión ejercida sobre el es-  
pejo de agua *es superior* ~~al peso del pistón~~

~~174~~ superior o igual a 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>. Esta regla es empírica y -  
aproximada pues la presión efectiva variará en función del área  
abierta del cedazo, calidad de la grava, permeabilidad del acuí-  
fero, posición del pistón, etc.

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

- 1a. Etapa 20 carreras por min.
- 2a. Etapa 28 a 32 carreras por min.
- 3a. Etapa 40 a 45 carreras por min.

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

C7Desarrollos con aire comprimido.

El aire comprimido proporciona un medio muy eficaz para el de-  
sarrollo de pozos, teniendo además la ventaja adicional importan-  
tísima de requerir de un equipo no muy caro y fácil de conseguir,

consistente en un compresor en buenas condiciones de trabajo y equipo auxiliar.

Existen tres variantes del método:

C.a. Método de pozo abierto.

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

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

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

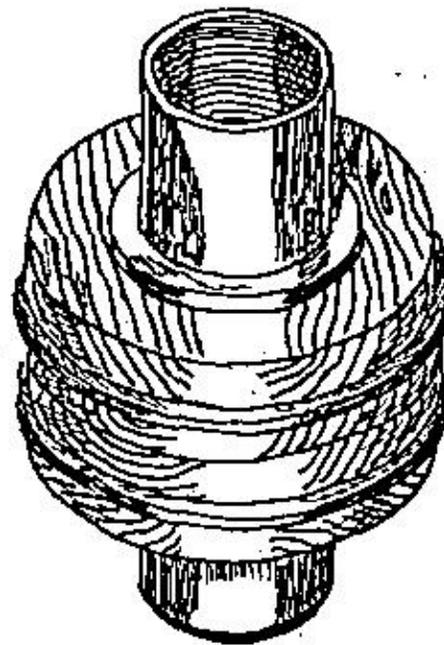
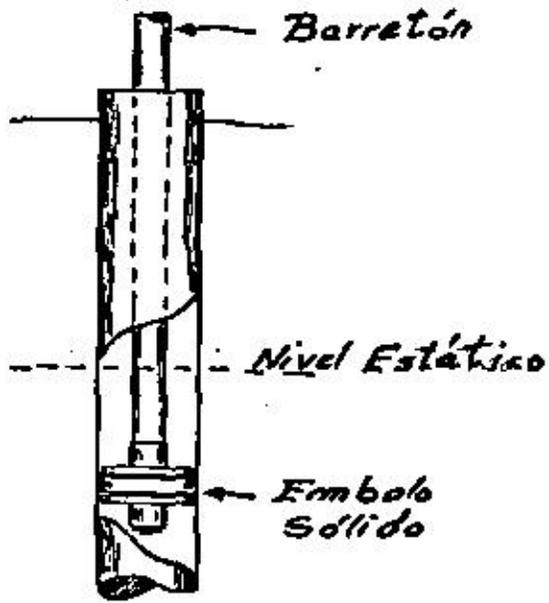
A continuación se levanta la línea del aire 1 m y se manda aire para provocar un sifoneo que se prolonga hasta obtener agua -- limpia en la descarga. Entonces se baja de nuevo la tubería de aire y se dan nuevas descargas sifoneando a continuación. Se repiten éstas operaciones hasta que con la máxima presión del compresor no se obtenga azolve, con lo que se dará por terminada la operación.

#### C-b Método de pozo cerrado.

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

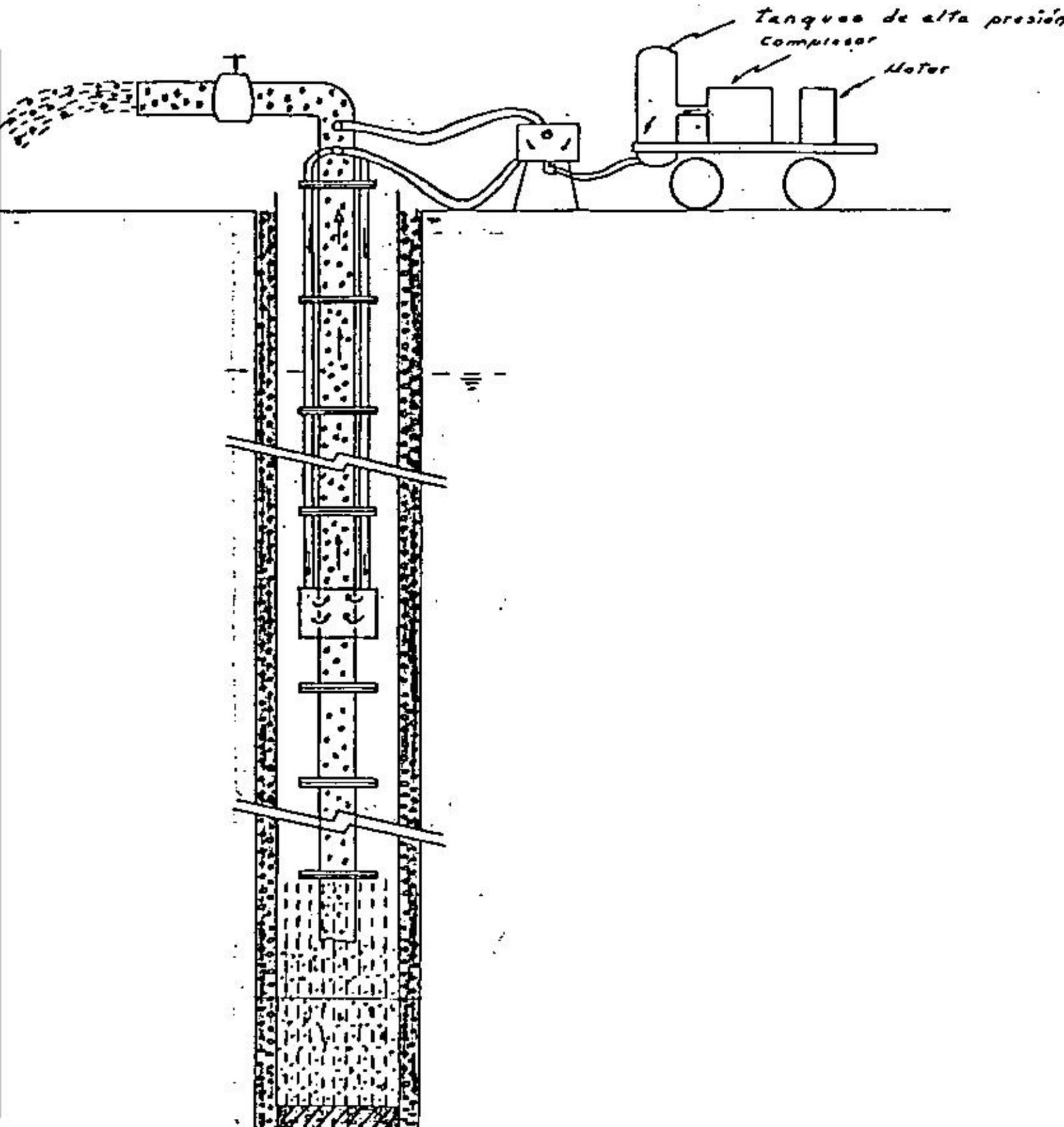
Al iniciar los trabajos, se manda aire por la línea adicional, -- acumulando presión en el pozo, con lo cual se deprime el nivel, inyectándose agua al acuífero; a continuación se sifonea extrayéndose el azolve.

Cuando salga agua limpia se vuelve a inyectar aire al pozo y se sifonea a continuación. Se repiten éstas operaciones hasta que -- después de la máxima presión que pueda levantar el compresor

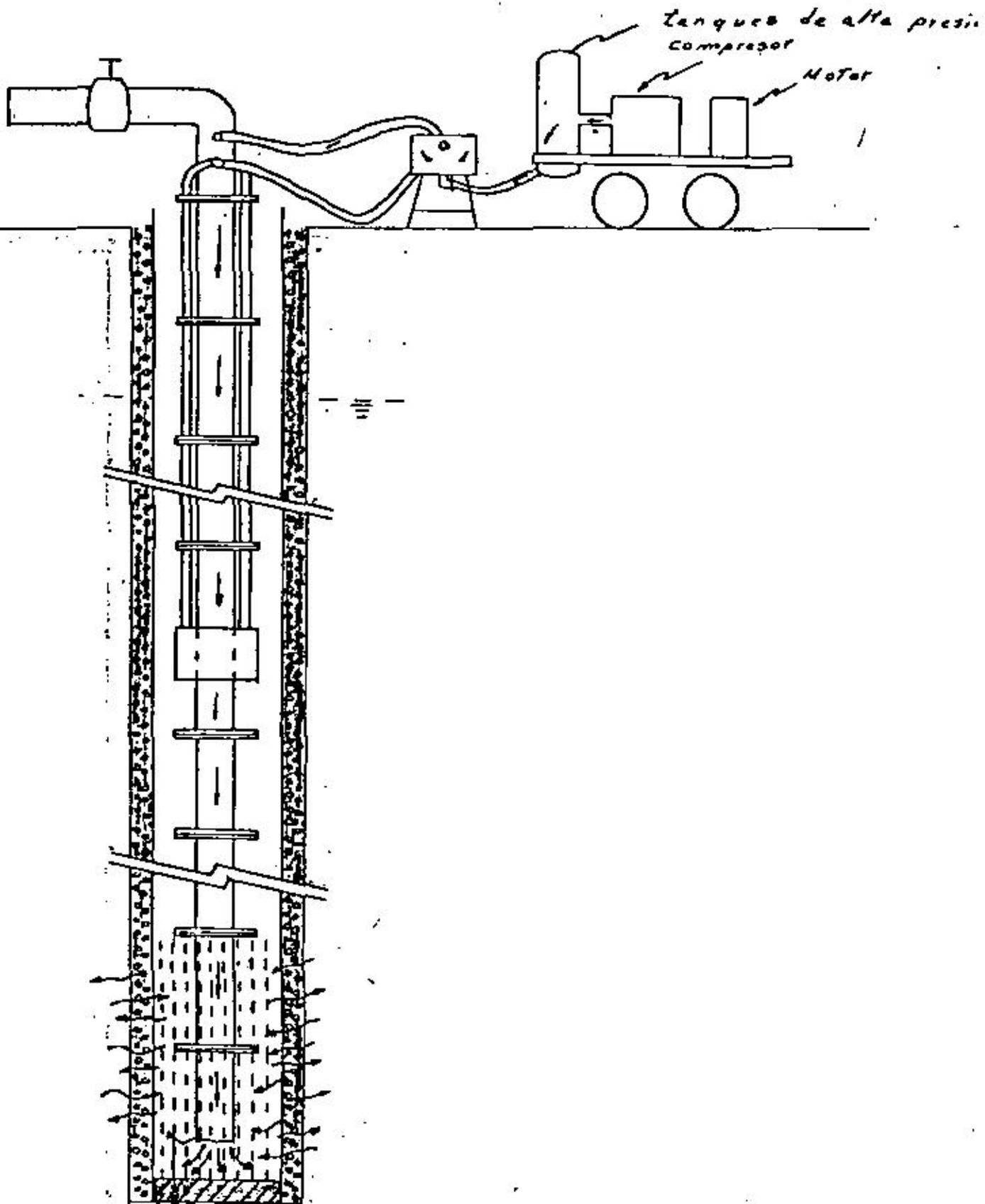


Detalle del émbolo

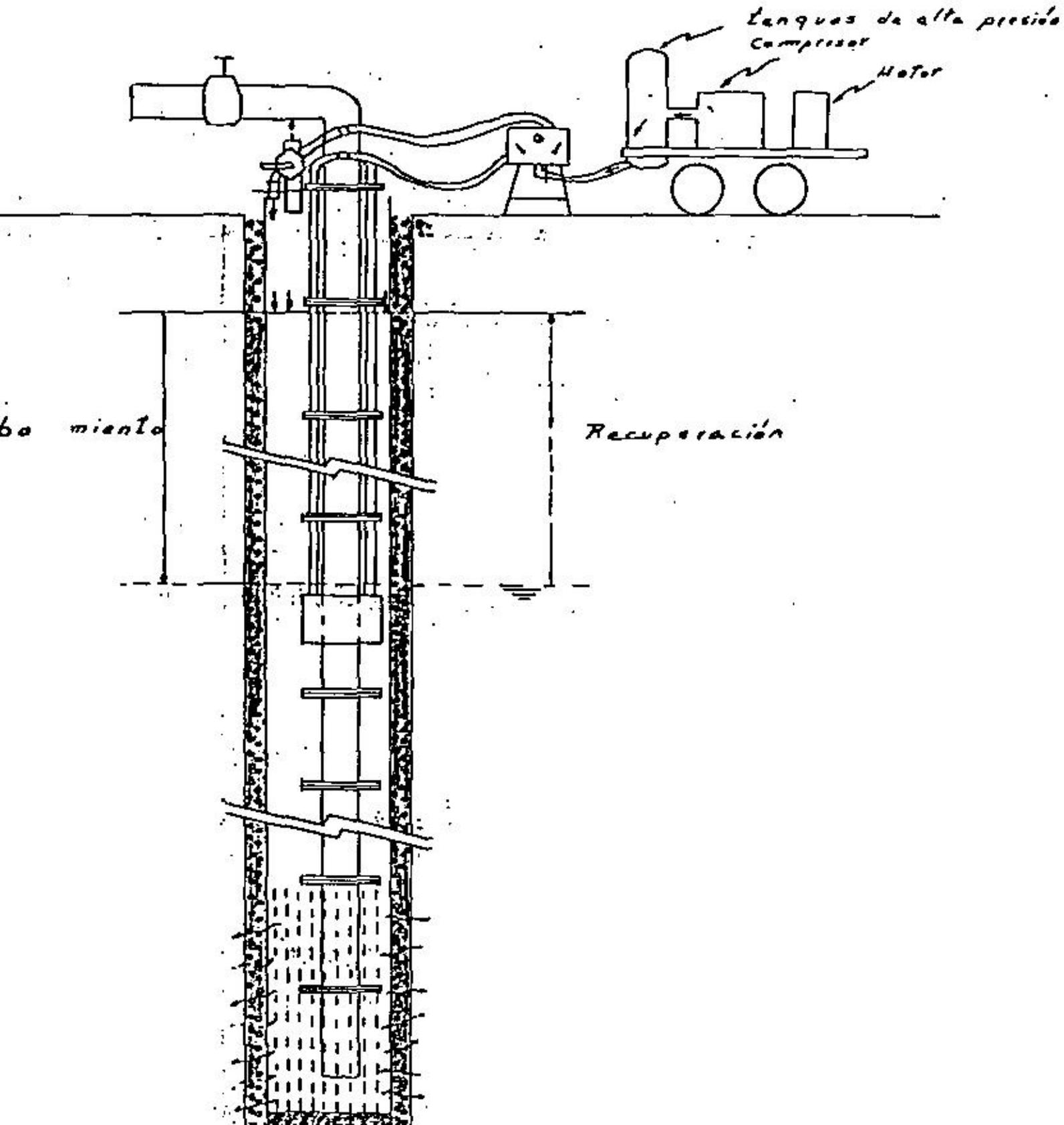
Operación de Desazolve  
Neumático

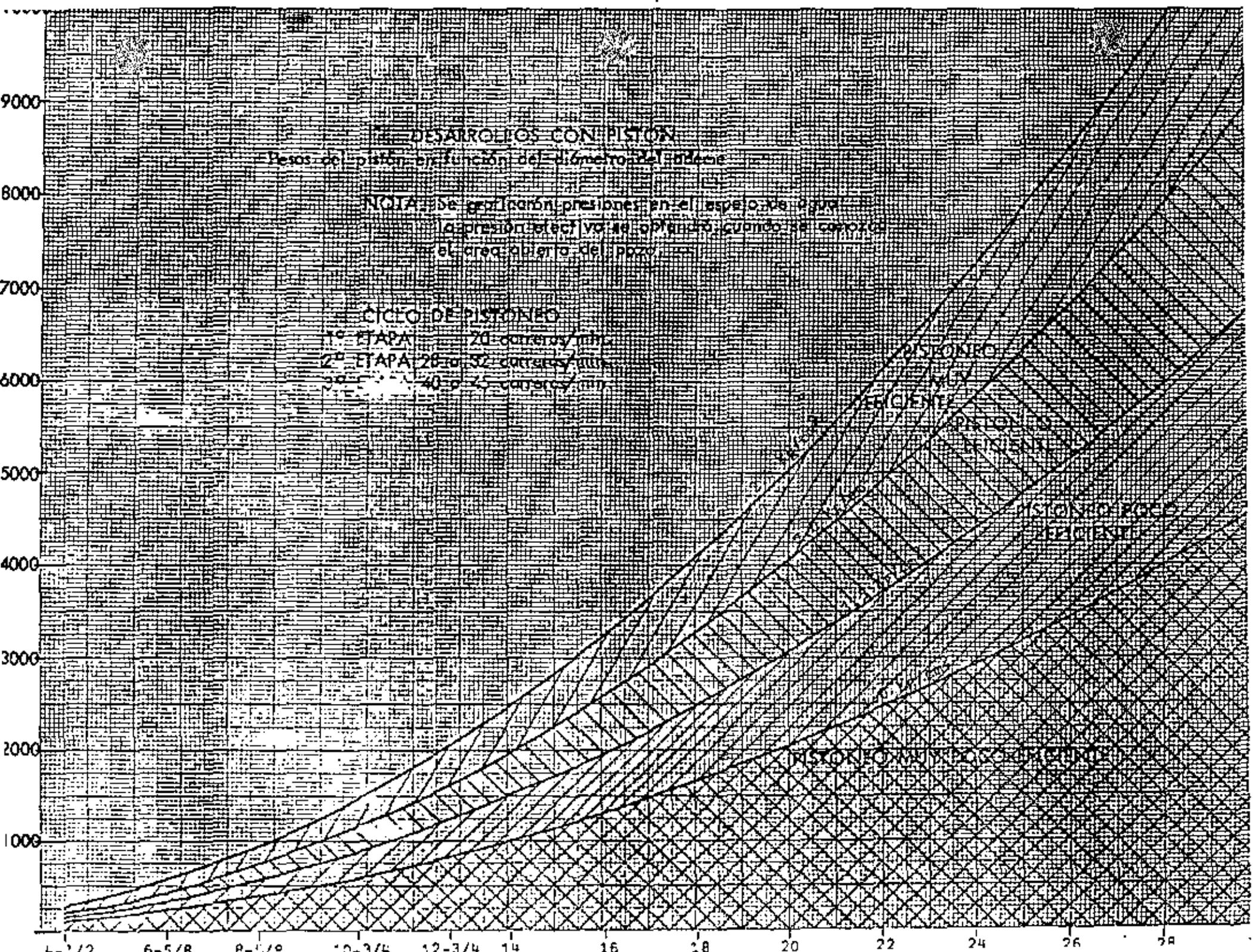


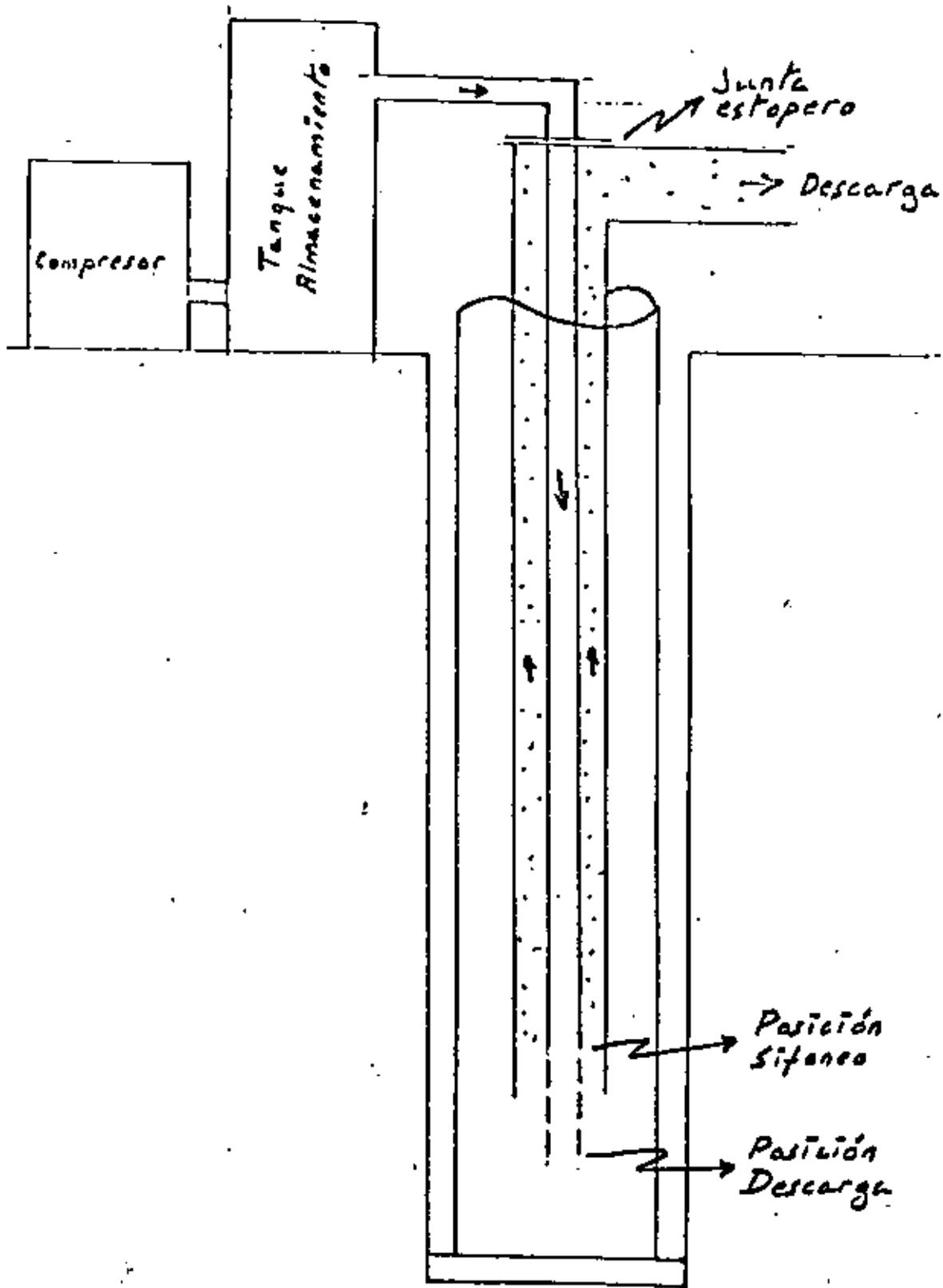
Operación de Desarrollo  
Neumático.  
a pozo abierto



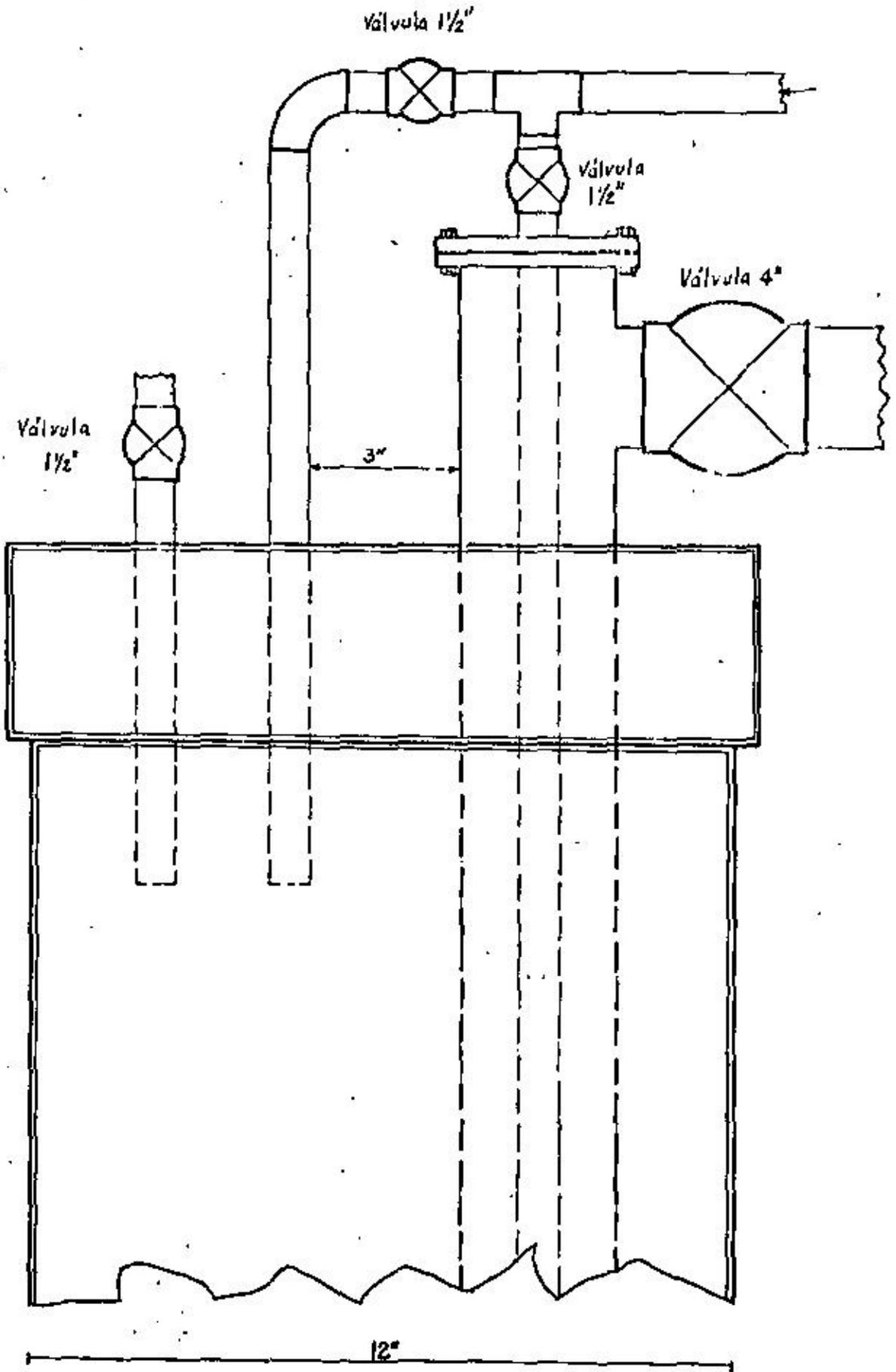
Operación de Desarrollo  
Neumático  
a pozo cerrado.







Método de pozo abierto



no se obtenga azolve en el sifón), con lo que, se dará por terminado el trabajo.

C-c Método combinado.

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

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

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

D-Desarrollos mediante Dinamita.

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

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

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

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

Observaciones - Aplicable solo a acuíferos de roca dura fracturada sin agua. Requiere de gran experiencia en el manejo de explosivos, por seguridad del personal y para no provocar el derrumbe del pozo.

f).- Desarrollos con hielo seco.

Equipo - No requiere

Efectividad - Variable

Observaciones - Es un método que rapidamente va cayendo en deshuso, debido a su discutible utilidad aún cuando resulte espectacular y a que resulta practicamente incontrolable por lo que puede llegar a incapacitar el pozo.

B.-) Tratamientos químicos.

a) Acidificación.

Se utiliza principalmente para eliminar incrustaciones de carbonato cálcico y magnésico. Pueden emplearse diversos ácidos, pero el más común es el clorhídrico, con un inhibidor de corrosión de metales, como la gelatina Knos, en proporción de 5 a 10 kg. de gelatina, disuelta en agua caliente, por cada 100 kg. de ácido concentrado.

Si se utiliza ácido muriático (ácido clorhídrico industrial), son aconsejables concentraciones de 25 al 30%, empleando una cantidad de 1.5 a 2 veces el volumen de agua de la zona filtrante del pozo. Si el pH del medio es menor de 3, también disuelve, al menos parcialmente, el hierro precipitado.

Últimamente se está haciendo popular la utilización del ácido sulfámico ( $\text{SO}_4\text{H}_2\text{NH}_2$ ), que es más caro que el clorhídrico, pero que presenta notables ventajas respecto a éste: como el ser sólido en estado puro lo que facilita su transporte y hace más inofensivo su manejo, además de ser muy soluble en agua, dando soluciones marcadamente ácidas y menos agresivo para el tubo del pozo, ya que no

afecta las rejillas de acero inoxidable, ni las de bronce rojo de silicio (oxogdur). Puede añadirse previamente disuelto o en estado sólido, disolviendolo mediante agitación del pozo.

El ácido sulfúrico no es útil para desincrustar carbonatos, pues forma sulfato de calcio (yeso) que es poco soluble.

La acidificación es sólo parcialmente efectiva contra incrustaciones de sílice y silicatos aluminicos.

#### b) Cloración.

Consiste en añadir cloro activo al agua de los pozos. Puede añadirse como gas disuelto previamente en agua, o directamente, pero es más fácil y seguro hacerlo como hipoclorito cálcico, en estado puro o disuelto en agua.

El cloro activo mata las bacterias y elimina el limo orgánico asociado, mientras que los ácidos, si bien matan también las bacterias, no son efectivos con el limo orgánico. Para una acción eficiente de la cloración, se precisan concentraciones de cloro activo sobre las concreciones de 100 a 200 ppm. El hipoclorito cálcico tiene un 70% de cloro activo.

Al hacer un tratamiento de este tipo, se debe considerar, si se emplean soluciones muy concentradas, que no deben actuar directamente sobre las partes activas del pozo, hasta que se hayan diluido como mínimo a menos de 500 ppm. de cloro activo. Si se desea que la cloración sea efectiva conviene repetir el tratamiento 3 ó 4 veces.

#### c) Tratamiento con Polifosfatos.

Los polifosfatos son agentes tensoactivos, similares a los detergentes pero no espumantes, que tienen la propiedad de separar las aglomeraciones de partículas si se hace intervenir una fuerte agitación.

Se utilizan unos 15 a 25 kg. por  $m^3$  de agua en el pozo, añadiéndole 1 kg. de -- hipoclorito cálcico que le confiere acción oxidante, lo que ayuda a la disper-- sión de los limos orgánicos. Los tratamientos con polifosfatos tienen una dura-- ción de 24 horas y pueden necesitarse 2 ó más tratamientos.

Otros autores recomiendan concentraciones de 22 kg. de polifosfato por cada 400 litros de agua, lo que podemos considerar la máxima concentración útil, pues -- aunque se aumente, su efecto no lo hace.

Los polifosfatos más comunmente empleados en el tratamiento de pozos son: tetra pirofosfato sódico, tripolifosfato sódico, hexametafosfato sódico y septa fosfato sódico.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PERFORACION DE POZOS PARA AGUA**

**POZOS INEFICIENTES, SUS CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES**

**ING. JOSÉ MA. BOLIVAR DEL VALLE**

**ABRIL, 1984**

## POZOS INEFICIENTES, SUS CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES

Toda persona relacionada con el medio de la explotación de aguas subterráneas conoce la enorme frecuencia con que los pozos trabajan ineficientemente, pero lo más curioso de este caso es que muchos otros pozos que se consideran efectivos, no lo son en el grado que podrían haber alcanzado de aplicárseles toda la técnica de que hoy en día se dispone.

Dejando de lado la mala localización de la fuente, que sería tema para varias horas de exposición y dando por hecho de que esta es adecuada, un pozo puede resultar ineficiente por numerosas razones, de las que mencionaremos las más comunes, sin considerar su orden de abundancia o de frecuencia que varía de región a región y de pozo a pozo.

### *Transp 1*

En la tabla No. 1 hemos dividido las causas de mal funcionamiento en cuatro grupos, el primero de los cuales agrupa a los originados en un mal diseño; la solución evidente estriba en diseñar técnicamente el pozo y el exponer como hacerlo no es nuestro tema de hoy, veamos entonces que resulta de estos errores:

$d_1$  - Pozos incompletos.

Se llama pozo incompleto a aquel que no atraviesa completamente el acuífero a diferencia del completo que sí lo hace <sup>*Transp 2*</sup> (fig. 1). El pozo incompleto concentra el flujo del agua en menor área, lo que resulta en mayores velocidades de entrada para un caudal dado y la posibilidad más cercana de arrastre de finos hacia el pozo. Por otra parte la mayor velocidad implica mayor pérdida de carga o sea niveles dinámicos más profundos y mayor consumo de energía en el bombeo. Se ha observado que los pozos incompletos tienen en general más corta vida que los completos y mayor propensión a ser atacados por la corrosión y la incrustación.

$d_2$  - Exceso de cedazo.

TABLA No. 1

Causas de -  
ineficiencia  
de los pozos  
de agua.

Defectos de diseño

- d<sub>1</sub> - Pozos incompletos
- d<sub>2</sub> - Exceso de cedazo
- d<sub>3</sub> - Defecto de cedazo
- d<sub>4</sub> - Muestreo inadecuado
- d<sub>5</sub> - Granulometría de filtro - granular mal diseñada.
- d<sub>6</sub> - Cedazo mal diseñado
- d<sub>7</sub> - Aforo mal realizado o interpretado.
- d<sub>8</sub> - Diseño inadecuado de bomba.
- d<sub>9</sub> - Protección sanitaria o química.

Defectos constructivos

- c<sub>1</sub> - Lodos inadecuados
- c<sub>2</sub> - Falta de desarrollo
- c<sub>3</sub> - Filtro granular mal colocado
- c<sub>4</sub> - Defectos en la colocación del adena.
- c<sub>5</sub> - Falta de verticalidad
- c<sub>6</sub> - Materiales defectuosos.

Defectos operacionales

- o<sub>1</sub> - Falta de mantenimiento del pozo.
- o<sub>2</sub> - Falta de mantenimiento de la bomba.
- o<sub>3</sub> - Falta de reposición del filtro.
- o<sub>4</sub> - Arranques y paros frecuentes del equipo.

Problemas regionales

- r<sub>1</sub> - Aguas corrosivas
- r<sub>2</sub> - Aguas incrustantes
- r<sub>3</sub> - Bacterias ferruginosas
- r<sub>4</sub> - Abatimientos regionales de los niveles freáticos.

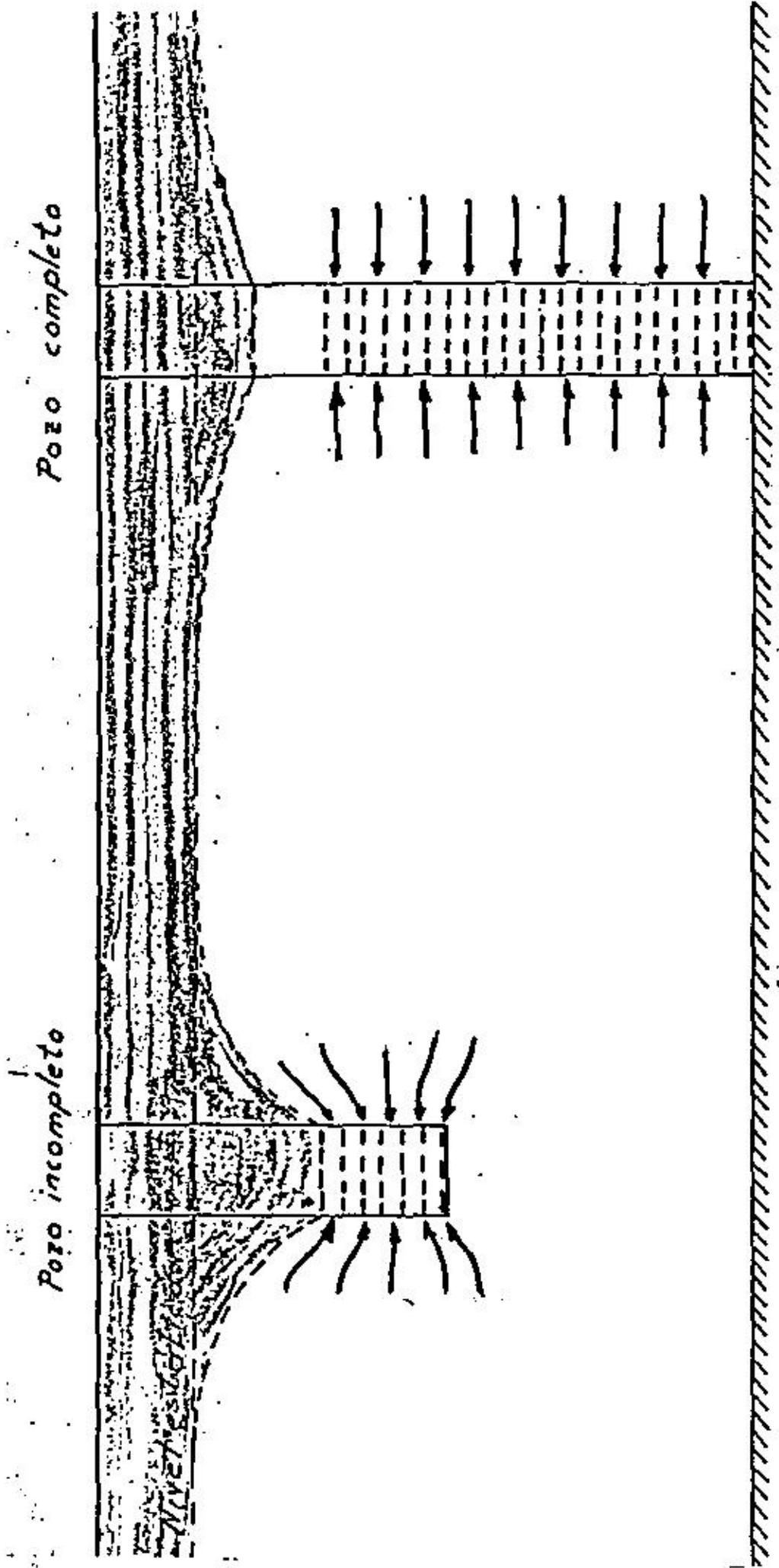


Figura 1

Es práctica frecuente aunque errónea el dejar toda la superficie de contacto pozo-acuífero, ademada con cedazo y aún en frecuentes ocasiones, ademada con cedazo desde el nivel estático hacia abajo (fig. 2). Este último diseño <sup>Trazo 3</sup> tiene el inconveniente de originar un pozo productor de sólidos, pues materiales muy finos son imposibles de detener aún con filtros granulares finos. El dejar con cedazo toda la longitud acuífera, presenta a su vez una situación contradictoria, pues por una parte se logrará la máxima capacidad específica y — por tanto el mínimo consumo de energía para un caudal dado, pero por otra parte el cedazo es siempre más caro que el tubo liso, de modo que el pozo con exceso de cedazo, será más caro, desde su construcción.

#### d<sub>3</sub> - Defecto de cedazo.

Sería el caso contrario al anterior o sea que el pozo resultaría de baja capacidad específica y por tanto con altos consumos unitarios de energía. Como el gradiente provocado sería alto, el caudal también lo sería y al concentrarse un alto caudal en una pequeña área, se tendrían altas velocidades de entrada y un mayor riesgo de arrastre de finos hacia el pozo.

#### d<sub>4</sub> - Muestreo inadecuado.

El adecuado diseño del pozo se basa esencialmente en las muestras colectadas durante la perforación exploratoria, por lo que la ausencia de muestras representativas imposibilita un buen diseño.

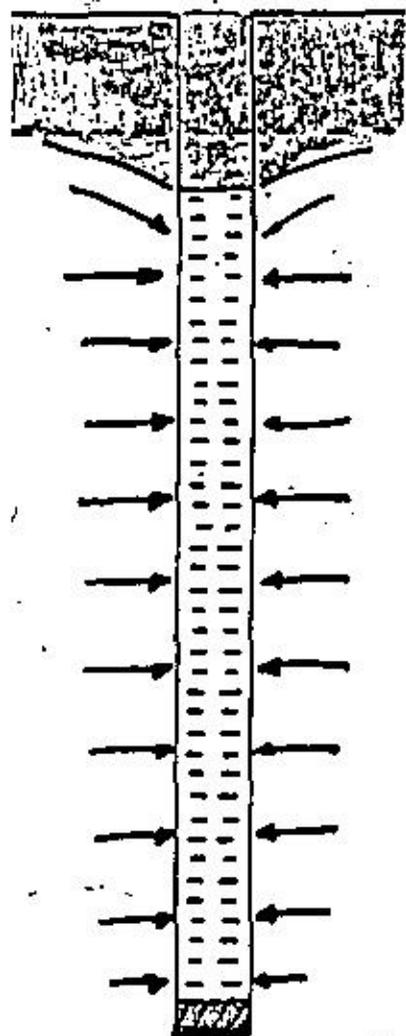
#### d<sub>5</sub> - Filtro granular mal diseñado.

Aún contando con buenas muestras, el filtro granular puede estar mal diseñado, con el resultado más frecuente de un pozo productor de sólidos.

#### d<sub>6</sub> - Cedazo mal diseñado.

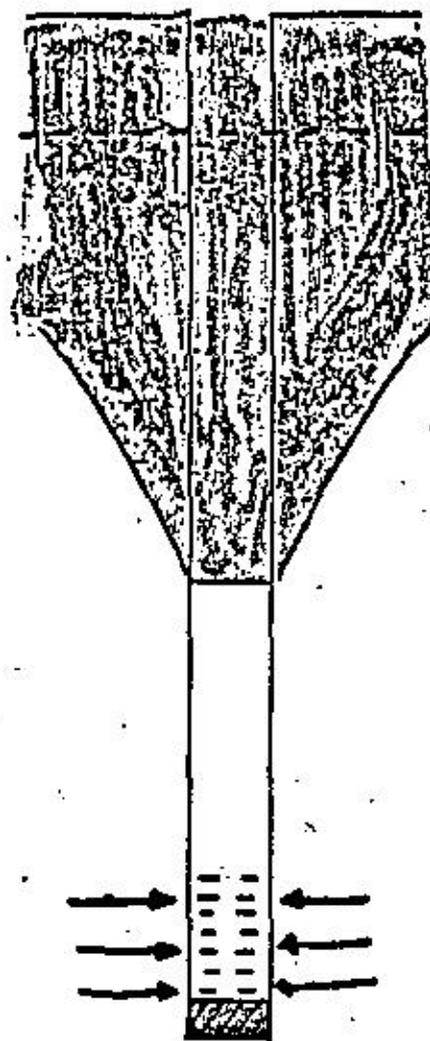
Dado que el tamaño del cedazo es resultado del filtro, del acuífero y del caudal esperado, debe adecuarse correctamente, considerando además la velocidad de entrada del agua a través del cedazo, pues en caso de ser muy alta se ten—

Fig. 4



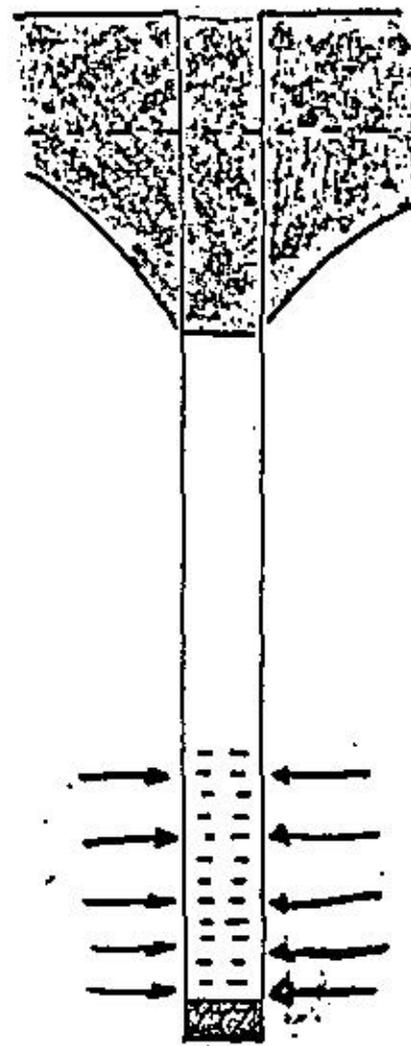
Exceso de Cidazo

NE



Defecto de Cidazo

NE



Cidazo bien  
diseñado

Fig. 2

drán arrastres y pérdidas de carga innecesarias.

d<sub>7</sub> - Aforo mal realizado.

Si una prueba de aforo no alcanza el caudal óptimo de explotación del pozo y en función de él se selecciona la bomba, esta evidentemente sub-explotará la fuente, si por el contrario el punto óptimo ha sido rebasado y se selecciona una bomba excedida a el pozo; a partir del caudal óptimo el costo unitario del agua extraída se incrementará o durante la operación, la bomba extraerá — aire.

d<sub>8</sub> - Diseño inadecuado de la bomba.

Puede ser el resultado de un mal aforo o de una mala interpretación del mismo. Los resultados se comentaron en el inciso anterior.

d<sub>9</sub> - Mala protección sanitaria o química.

Si el acuífero explotado es susceptible de contaminación química o bacteriológica y si no se procede a su correcto aislamiento mediante trabajos de cementación, se polucionará después de cierto tiempo, lo que puede ocasionar el fin de la obra de captación.

Evidentemente la solución a los problemas hasta aquí comentados, estriba en un buen diseño, adecuado a las condiciones geohidrológicas del sitio y a los requerimientos de la obra, pero en caso de no tenerse estas condiciones y que el pozo no llegue nunca a trabajar eficientemente, normalmente cabe la posibilidad de algún paliativo a estas situaciones, mismos que comentaremos posteriormente.

c<sub>1</sub> - Lodos inadecuados.

Cuando un pozo se perfora con máquina rotaria directa, es indispensable — el empleo de lodos bentoníticos que mantengan estables las paredes de él y levanten a la superficie el corte de la barrenas. Estos lodos deben tener un pe-

so y viscosidad adecuados a la formación que se perfora, de modo que se limite a formar una costra periférica a la perforación, sin penetrarla mucho, pues en caso contrario el mismo lodo impedirá posteriormente la entrada del agua. El resultado sería un pozo ineficiente que produce menos agua que lo posible o con pérdidas de carga mayores que las necesarias.

#### c<sub>2</sub> - Falta de desarrollo.

El desarrollo de un pozo se debe efectuar inmediatamente después de su terminación y antes de su aforo. Consiste esencialmente en una agitación controlada del pozo, cuya finalidad es eliminar residuos de bentonita que quedaron en el pozo, limpiar el filtro granular si lo hay y eliminar los finos de acuifero en el entorno del pozo. Existen varios métodos de desarrollo que comentaremos.

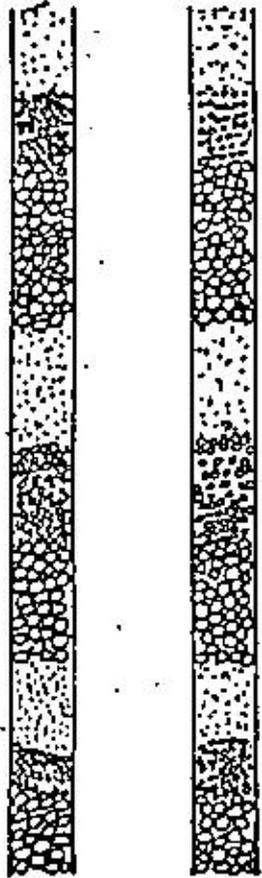
#### c<sub>3</sub> - Filtro granular mal colocado.

Aún cuando el filtro estuviera bien diseñado, puede ser mal colocado en el pozo y a veces por culpa del constructor. En otras, por las características físicas de algún estrato. El defecto de colocación pueda ser un vertido en el pozo demasiado lento, que permite que el filtro se clasifique respecto a tamaños de modo que el resultado son microestratos alternados en material grueso, medio y fino, ninguno de los cuales cumple con las características del proyecto (fig. 3). En cambio si la colocación es demasiado rápida y sobre todo si el espacio anular es reducido, el filtro se puede "puntear" al acuñarse los gránulos. Un efecto semejante se tiene cuando formaciones inestables se anillan alrededor del ademe, impidiendo la bajada del filtro (fig. 3). El resultado de la mala colocación del filtro granular suele ser la entrada de finos al pozo.

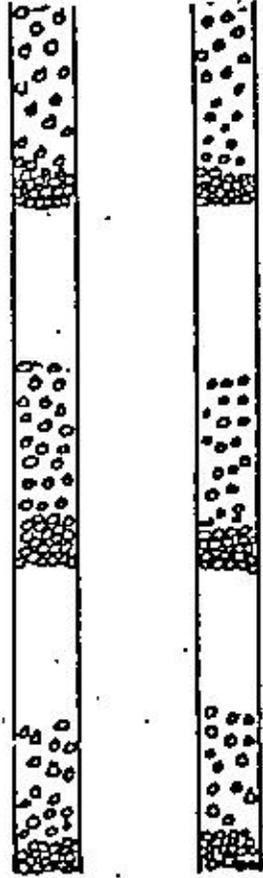
#### c<sub>4</sub> - Defecto en la colocación del ademe.

Los problemas más comunes de colocación de ademes derivan de defectos de soldadura durante el ademado, sean en la unión entre tubos o lo que es más fre

Filtro estratificado



Filtro puenteado



Pozo anillado

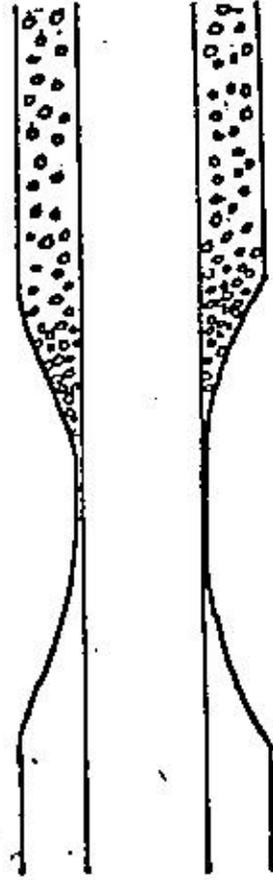


Figura 3

cuenta al soldar los ojillos laterales donde se cruza la flecha para bajar la tubería soldada a tope. El resultado de esta mala colocación, casi siempre de efecto posterior, es la entrada de filtro granular al pozo y posteriormente el arrastre de finos al ser eliminado el filtro.

Otra causa de mala entubación, pero esta debida a las condiciones de terrenos inestables, es provocada por su derrumbe al interior del pozo durante su ademeado, momento en que las condiciones de estabilidad son críticas debido a la falta de circulación. El resultado es que el azolve acumulado en el fondo impide la bajada del ademe hasta la profundidad del proyecto (fig. 4), <sup>Tr. 5</sup> con el consiguiente desfaseamiento entre los tramos de cedazo y los acuíferos, resultando un pozo menos productor y en ocasiones productor de finos.

cg - Falta de verticalidad.

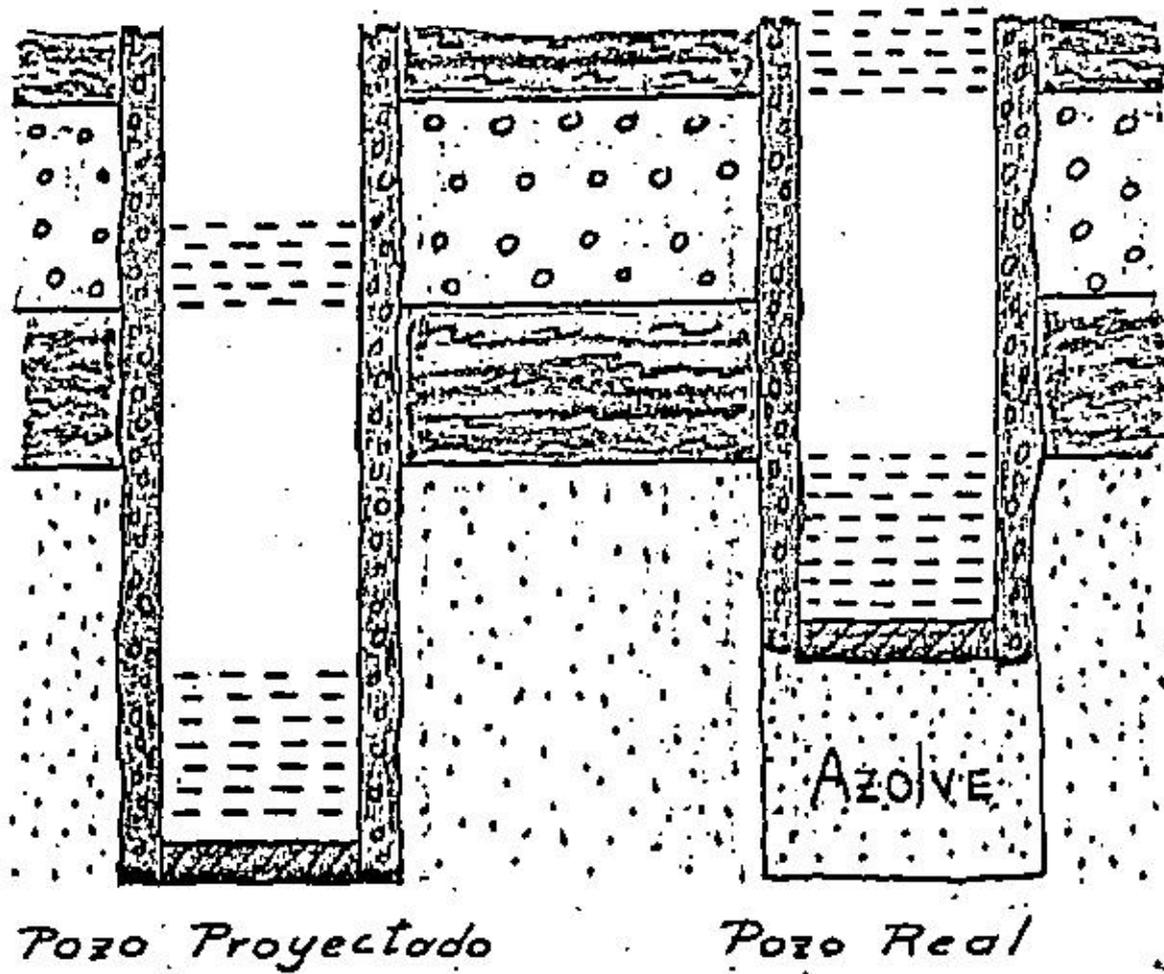
La falta de verticalidad de un pozo puede afectar la operación de la bomba, sobre todo si esta es de motor en la superficie, pues su sistema de transmisión de flecha está diseñada para trabajar suspendida verticalmente; si el pozo estuviera inclinado de modo que la columna de la bomba apoye en el ademe, cargaría al paso de la flecha en forma irregular sobre los centradores acortándose su vida útil, además se tendrían vibraciones indeseables de la bomba y del ademe que afectan a los dos. Por todo lo anterior el aspecto de la verticalidad es particularmente crítico en la cámara de bombeo.

Las tolerancias más usuales son:

- $1/2^\circ$  cada 50 m. de profundidad
- $1^\circ$  cada 100 m. de profundidad
- $3/4$  del diámetro del ademe cada 30 m. siempre y cuando no exceda de  $1/2^\circ$  cada 50 m.

Conviene considerar que aún cuando un pozo se encuentre dentro de tolerancia pueden presentarse los casos antes mencionados, pues no solo importa la magnitud de la desviación sino la dirección de esta.

Fig. 4.- Pozo azolvado durante el ademado



Abajo de la cámara de bombeo la desviación del pozo pierde importancia salvo - por la posibilidad de que el ademe quede en contacto con el terreno impidiendo la envoltura del cedazo por el filtro granular.

c<sub>6</sub> - Materiales defectuosos.

Evidentemente la mala calidad de los materiales empleados afectará el funcionamiento del pozo, primordialmente ademe,, cedazo, filtro granular y bomba.

o<sub>1</sub> - Falta de mantenimiento del pozo.

La magnitud del mantenimiento que requiera un pozo depende esencialmente de su calidad de diseño, de construcción y de condiciones locales, siendo mayor cuanto peores sean estas variantes.

Si bien las razones que provoquen el frecuente mantenimiento hemos visto que - pueden ser muy variadas, los resultados más frecuentes son:

-Pozos azolvados, con una disminución de la producción proporcional a — los metros de cedazo azolvados.

-Ademes rotos o colapsados, que pueden provocar la inutilización del pozo.

-Objetos caídos en el pozo, que deben ser extraídos.

-Disminución de la permeabilidad del acuífero en el entorno del pozo por colmatación de materiales finos. Tr. 6

o<sub>2</sub> - Falta de mantenimiento de la bomba.

La bomba como cualquier equipo requiere de mantenimiento preventivo y correctivo, que también será más frecuente cuanto peor calidad presente la obra.

o<sub>3</sub> - Falta de reposición de filtro.

La operación normal de un pozo suele provocar una cierta compactación del filtro granular y el relleno de oquedades que puedan formarse. Esto provoca un descenso del filtro que deberá reponerse desde la superficie y que será más frecuente cuantos más sólidos produzca el pozo.

o<sub>4</sub> - Arranques y paros frecuentes del equipo.

En contra de la opinión más generalizada, la operación de un pozo es más eficiente cuanto mayores sean los períodos de explotación, teniéndose las siguientes ventajas:

- Reducir el consumo de energía en los arranques
- Reducir el desgaste del equipo
- No provocar agitaciones innecesarias en el pozo en cada arranque.

r<sub>1</sub> - Aguas corrosivas.

El fenómeno de la corrosión implica el ataque a ademes metálicas y bomba con su paulatina desintegración. En el caso de al cedazo el problema es crítico pues la corrosión puede agrandar las ranuras, permitiendo la entrada del filtro y luego del acuífero al pozo. Los paliativos a esta situación si se colocan ademes metálicas consistentes en diseñar un pozo eficiente, pues se ha observado que son menos atacados por la corrosión y diseñar al cedazo con ranura más fina de lo recomendado por el diseño convencional, mientras que el filtro granular se dimensiona según lo requiera el acuífero.

r<sub>2</sub> - Aguas Incrustantes.

La incrustación consiste en la depositación de iones por las aguas. Las más frecuentes son el carbonato de calcio y minerales de hierro. Este depósito puede opturar cedazo, filtro granular y acuífero cercano al pozo.

En ocasiones se puede solucionar temporalmente el problema mediante tratamien

tos con ácido que disuelva el depósito, aunque el ácido ataca también al ademe si no se dosifica adecuadamente.

### r<sub>3</sub> - Bacterias Ferruginosas.

Existen en las aguas subterráneas bacterias no perjudiciales a la salud, que requieran de la presencia de hierro y magnesio para su ciclo vital. Son conocidas como "bacterias ferruginosas" (Crenothrix) y aparentemente oxidan y precipitan el hierro y manganeso disueltos en el agua. Los minerales junto con los organismos (materia gelatinosa) forman una masa que obstruye cedazo y poros del acuífero inmediata al pozo, pudiendo en corto tiempo cerrar completamente el paso del agua al pozo. Para corregir esta situación se utiliza cloro que mata los organismos y posteriormente ácido clorhídrico (HCl) que disuelven el Fe y Mn precipitados.

### r<sub>4</sub> - Abatimientos regionales de los niveles freáticos.

La sobreexplotación regional de un acuífero implica descensos paulatinos de al nivel freático, lo que resulta en una disminución del gradiente hidráulico y lógicamente del caudal explotable, que adicionalmente se puede ver disminuido por la desecación de los acuíferos superiores, hasta llegar a la última posibilidad de que el pozo quede completamente seco. La única solución a este problema sería el regular la explotación regional hasta permitir la recuperación parcial o total de los niveles.

Durante este breve recorrido a las causas de ineficiencia de pozos se puede ver que son numerosas aquellas que resultan en arrastre de finos al pozo (d<sub>4</sub>, d<sub>5</sub>, d<sub>6</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>, c<sub>6</sub>, o<sub>1</sub>, o<sub>4</sub> y r<sub>1</sub>), de tal modo que este es con mucho el problema más frecuente. Cuando el problema de arrastre no es excesivo, la mejor solución consiste en el desarrollo periódico del pozo. El desarrollo consiste esencialmente en la agitación energética, pero controlada del pozo tendiente a efectuar una extracción de finos, superior a la que realizará la bomba del pozo, con lo cual se prolongará la vida de esta y se incrementará la vida útil del --

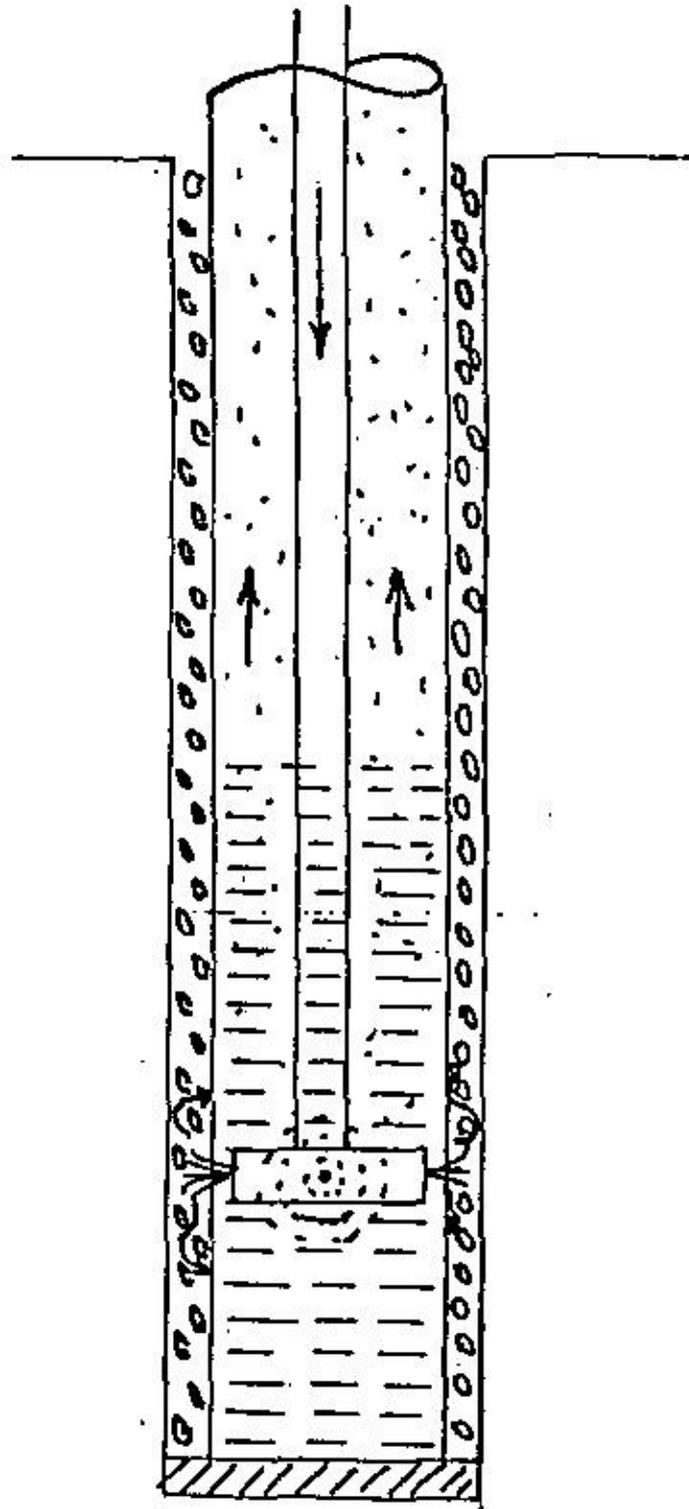
propio pozo.

Cuando el arrastre de finos es demasiado, normalmente no queda más solución que encamisar interiormente al pozo, con cedazo de ranura adecuada y un nuevo filtro granular que retenga los finos que pasaron el filtro original. Solución que so lo es posible si el pozo tiene un diámetro suficiente para alojar a los nuevos cedazo y filtro (fig. 5). El objeto de este nuevo filtro no estriba en colocar un mayor espesor de este sino en diseñarlo adecuadamente a los materiales del acuífero, o sea el que se debería haber colocado desde su construcción.

Los métodos de desarrollo más utilizados actualmente son:

A.-) Desarrollos mecánicos.

- a) Desarrollos por bombeo, extrayendo el agua
- b) Desarrollos por bombeo, inyectando el agua
- c) Desarrollos con pistón
- d) Desarrollos neumáticos
- e) Desarrollos con explosivos
- f) Desarrollos con hielo seco



*Desarrolle con chorros horizontales.*



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ARRANQUE Y PARADA DE LA BOMBA

ING. JOSÉ MA. BOLIVAR DEL VALLE

ABRIL, 1984

— A.b.1. Arranque y parada de la bomba.

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

Se tienen tres variantes del método y se escogerá la más adecuada para cada caso particular:

A.b.1a. Máximo descenso y recuperación.

Se hace funcionar la bomba a su máxima capacidad para producir en el pozo el máximo descenso posible. Se interrumpe el bombeo y se deja que el agua recupere su nivel original (nivel estático).--

Se repite este ciclo mientras se observan señales de mejora en el pozo.

Con éste sistema se consigue una alta agitación en el pozo y una carga hidráulica máxima en la rejilla por lo que resulta un método de desarrollo de pozos eficaz y que no daña mucho la bomba,

pero en cambio se requiere generalmente una gran bomba, mayor cuanto mejor sea el pozo, y además un buen desarrollo — implica mucho tiempo. Estas características negativas limitan mucho su utilización.

#### A.b.1b. Máximo descenso sin recuperación.

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

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

#### A.b.1c. Bombeos cortos.

Se bombea hasta que el agua descargue en superficie, parándose la bomba para que el agua caiga por la tubería de bombeo,

repetiéndose la operación todas las veces que sea necesario.

Se producen así oleadas energicas y casi continuas y tiene la ventaja adicional de no requerir de equipo especial (bomba -- muy potente), como los dos métodos anteriores. En cambio -- no provoca una carga hidráulica tan grande y el arrastre de -- finos hacia el pozo es menos abundante; además castiga tam-- bién mucho la bomba.

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

### *Desarrollos por bombeo inyectando el agua.*

#### A. b. 2. Lavado bajo presión.

Los métodos de lavado bajo presión consisten en el bombeo de agua a presión <sup>por</sup> desde el interior del pozo por medio de una tubería de pequeño diámetro. Son métodos de desarrollo más vigorosos que los de arranque y parada de la bomba, exceptuando el primero de ellos que hemos llamado "chorro vertical y pozo abierto", que se recomienda solo como una operación rutinaria al terminar pozos con máquina rotatoria y previo a un desarrollo más energético.

Todos los métodos de lavado bajo presión tienen el inconvenien

te de requerir una bomba de inyección más o menos potente, cárcamos para azolves y de succión, etc. Esto implica instalaciones semejantes a las de una perforadora. Lo anterior limita éstos métodos por razones económicas a la terminación de pozos cuando los trabajos se realizan con la misma perforadora. Otro inconveniente adicional es la necesidad de grandes cantidades de agua para poder reponer la que cargada de azolve se extrae del pozo.

Existen tres variantes del lavado bajo presión.

#### A.b.2a. Chorro vertical y pozo abierto.

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

### A.b.2b. Chorro vertical y pozo cerrado.

Esencialmente la instalación es la misma, pero con la variante de que aquí se cierra herméticamente la boca del pozo dejando una descarga lateral provista de válvula. Con la válvula cerrada se inyecta presión al pozo y se abre la válvula de descarga extrayéndose los materiales finos. Se repite la operación las veces que sea necesario iniciándose con presiones bajas que se aumentarán paulatinamente.

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

### A.b.2c. Chorros horizontales. Tr. 8

La instalación es semejante a la de chorro vertical y pozo abierto, pero se tapa el extremo inferior de la tubería de inyección habiendo en cambio pequeñas salidas laterales para que los chorros salgan horizontalmente en forma directa contra el cedazo.

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

B. Oleada mecánica o pistoneo. *Tr. 9*

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

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

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

Para que resulte efectivo se deberán cuidar los siguientes requisitos:

-Diámetro del pistón. El diámetro del pistón debe ser como mí  
nimo una pulgada menor que el diámetro interior del cedazo.

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

-Peso del pistón. Se ha comprobado en la práctica que para -  
que el pistoneo resulte eficiente el pistón deberá pesar los su-  
ficiente para bajar en forma rápida, generalmente ésto se lo-  
gra cuando el peso es tal que la presión ejercida sobre el es-  
pejo de agua *ves superior* ~~al peso~~

~~De~~ superior o igual a 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>. Esta regla es empírica y - aproximada pues la presión efectiva variará en función del área abierta del cedazo, calidad de la grava, permeabilidad del acuífero, posición del pistón, etc. *Fig 11*

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

- 1a. Etapa 20 carreras por min.
- 2a. Etapa 28 a 32 carreras por min.
- 3a. Etapa 40 a 45 carreras por min.

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

C-Desarrollos con aire comprimido.

El aire comprimido proporciona un medio muy eficaz para el desarrollo de pozos, teniendo además la ventaja adicional, importantísima de requerir de un equipo no muy caro y fácil de conseguir

consistente en un compresor en buenas condiciones de trabajo y equipo auxiliar.

Existen tres variantes del método:

C.a. Método de pozo abierto. Tr-10 y 11

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

La línea de entrada del aire debe ir por el interior de la tubería de descarga y en la parte superior se instalará una junta de estopero que permita mover arriba y abajo el tubo del aire. Para que el sistema funcione eficientemente, es recomendable que se tenga una sumersión del orden del 80%. Se necesita además un compresor de suficiente capacidad y un tanque en el que, almacenar aire comprimido.

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

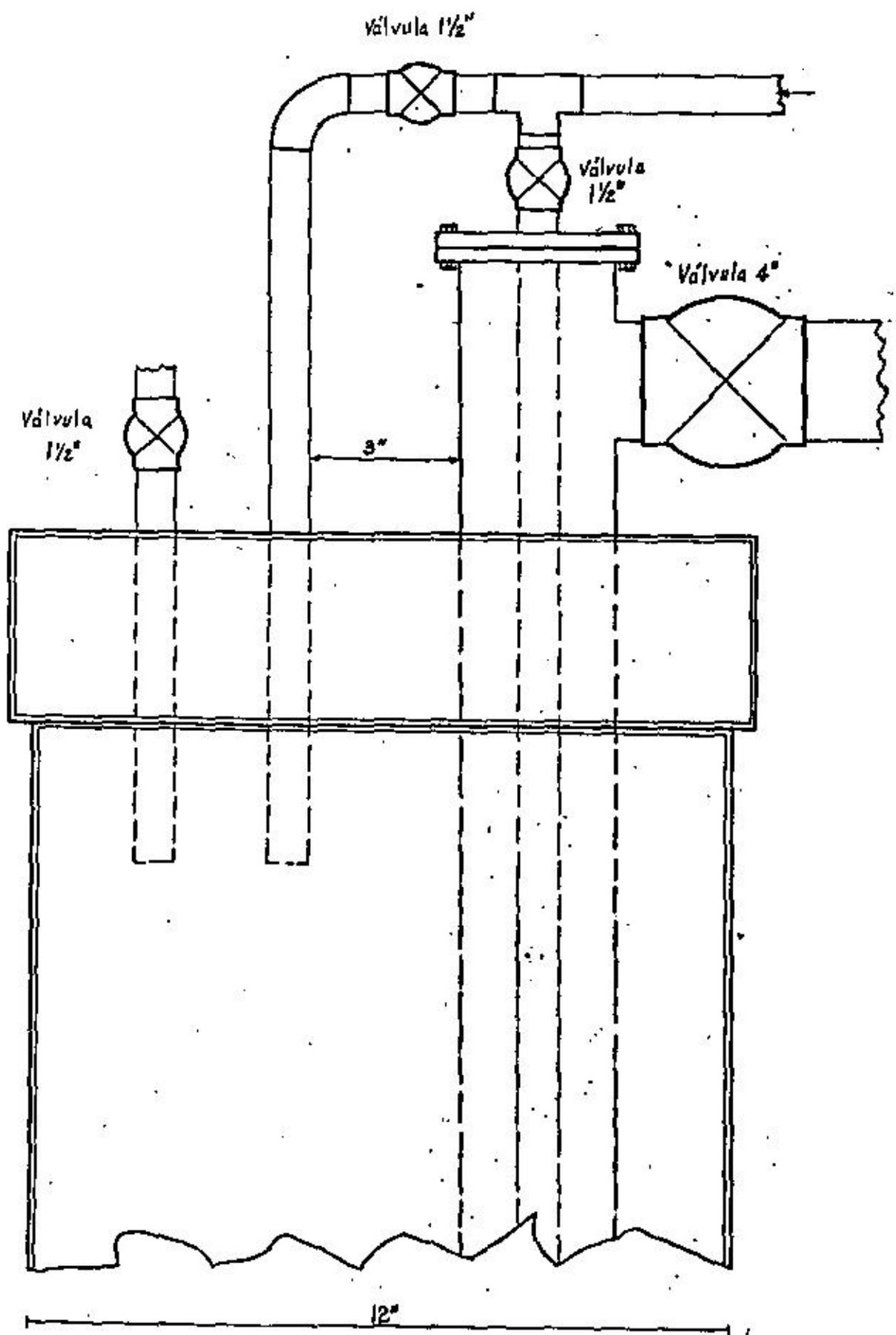
A continuación se levanta la línea del aire 1 m y se manda aire para provocar un sifoneo que se prolonga hasta obtener agua -- limpia en la descarga. Entonces se baja de nuevo la tubería de aire y se dan nuevas descargas sifoneando a continuación. Se repiten éstas operaciones hasta que con la máxima presión del compresor no se obtenga azolve, con lo que se dará por terminada la operación.

#### C-b Método de pozo cerrado, $T_r-12$

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

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

Cuando salga agua limpia se vuelve a inyectar aire al pozo y se sifonea a continuación. Se repiten éstas operaciones hasta que -- después de la máxima presión que pueda levantar el compresor



no se obtenga azolve en el sifoneo, con lo que, se dará por terminado el trabajo.

#### C-c Método combinado.

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

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

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

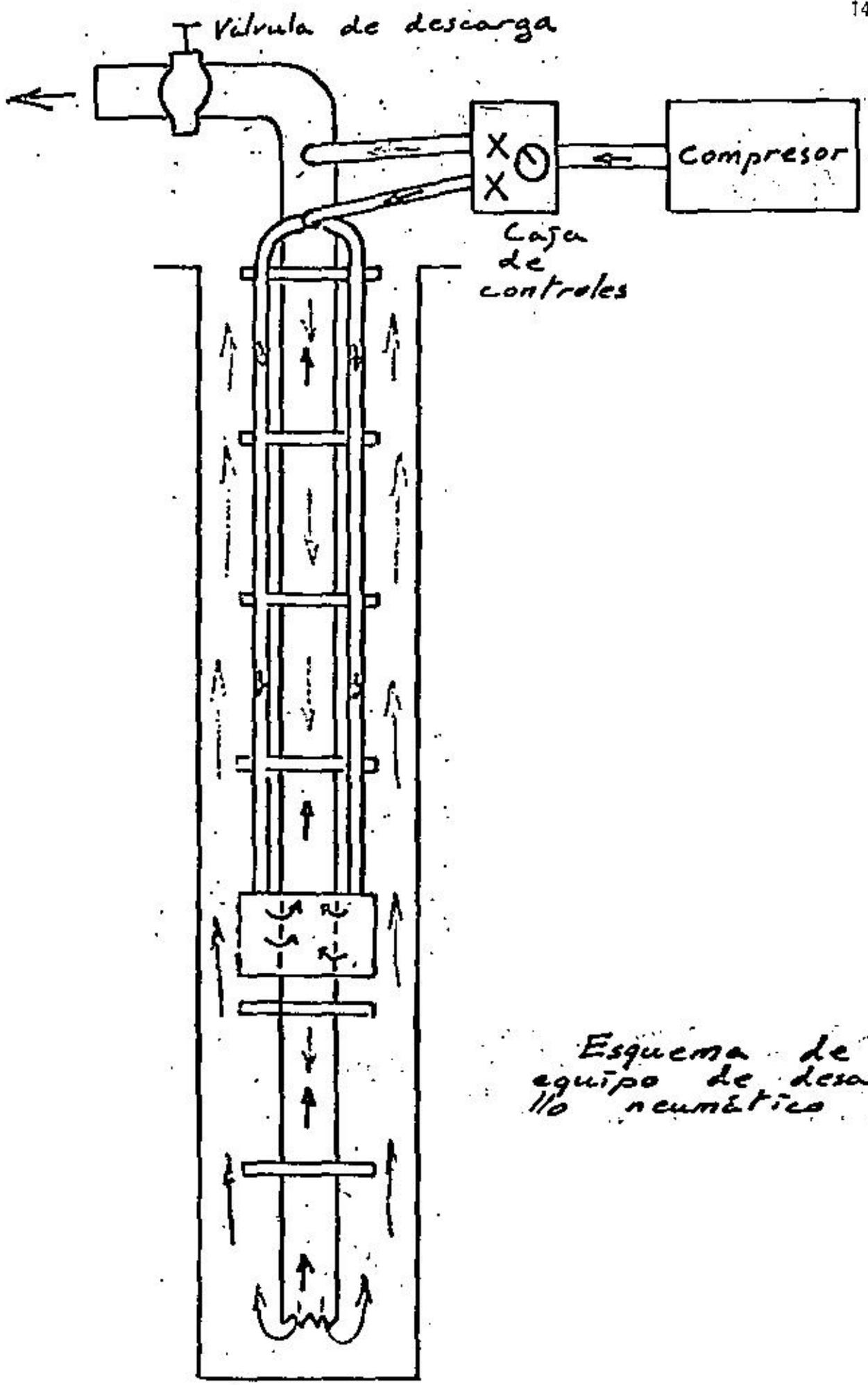
#### D-Desarrollos mediante Dinamita.

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

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

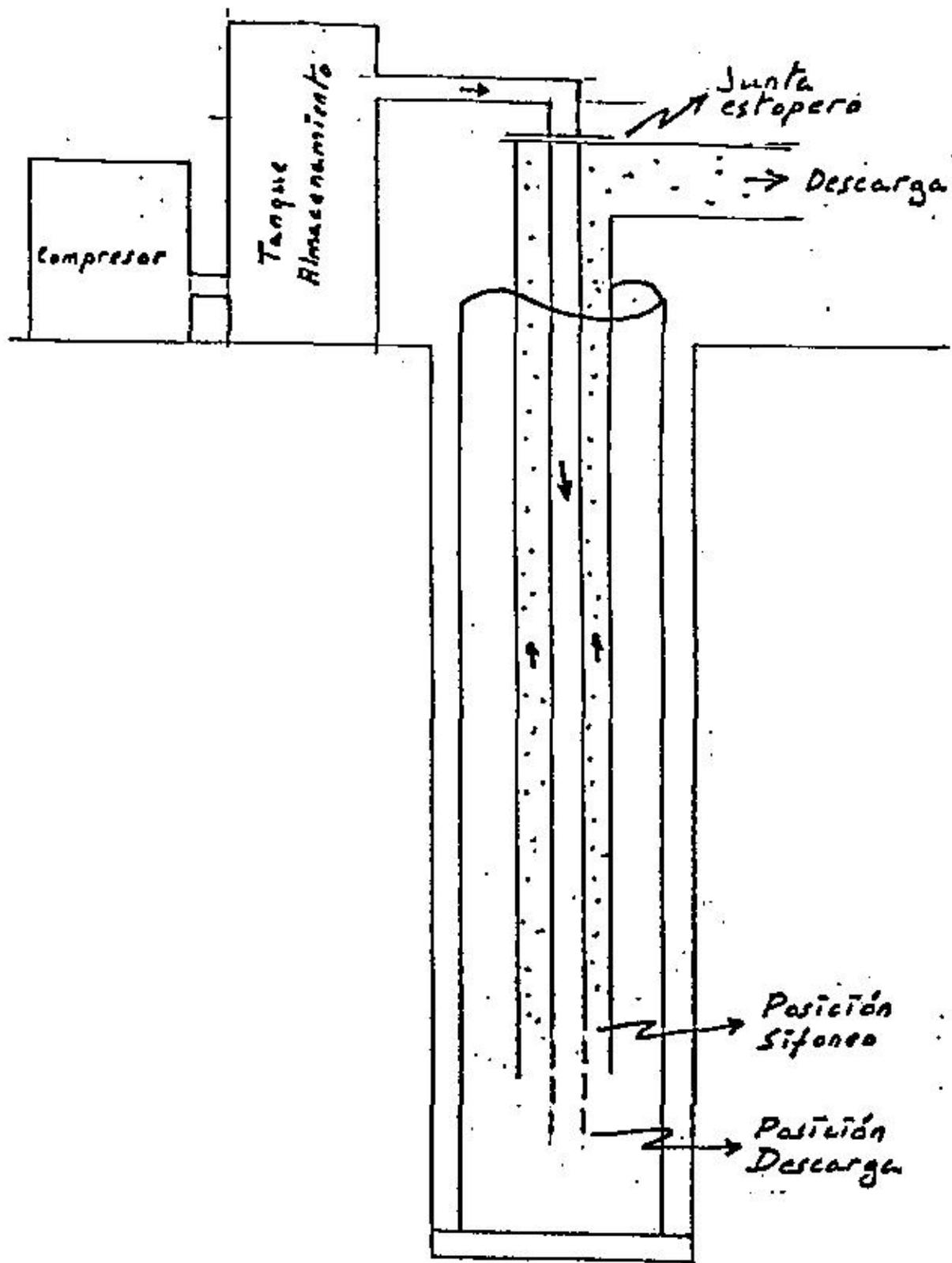
Este tipo de trabajos requiere grán experiencia en el uso de los explosivos, pues libera una gran cantidad de energía, que si es mayor de la necesaria puede perjudicar más que beneficiar al pozo. Si el pozo está parcialmente entubado se debe cuidar de provocar la explosión lejos de la tubería pues de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

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



Esquema de equipo de desarrollo neumático





Método de pozo abierto



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

AFORO DE POZOS PROFUNDOS

ING. GILBERTO LEÓN MARTÍNEZ

ABRIL, 1984

## CABEZAL DE ENGRANES

### INDICE

	ELEMENTOS DE TRANSMISION	
	CABEZAL DE ENGRANES .....	1
	FLECHA DE TRANSMISION .....	5
I. -	MOTORES DE COMBUSTION INTERNA	
	MOTORES DIESEL .....	9
II. -	CALCULO Y SELECCION DE UN EQUIPO DE AFORO .....	17
V. -	METODO DE ORIFICIO CALIBRADO .....	23
	AFORO .....	37
VI. -	METODOS DE AFORO .....	41
1. -	METODO DE CUCHAREO .....	42
2. -	METODO DE CUBICACION .....	44
	SIFONEO CON AIRE .....	46
3. -	METODO DE ESCUADRA .....	56
4. -	MEDIDOR DE FLUJO .....	67
5. -	MEDICION EN CANAL .....	67
6. -	MEDICION EN POZOS BROTTANTES .....	77

Tiene como función transmitir la potencia de la flecha motriz a la flecha de la bomba se compone principalmente de un cuerpo que aloja en su interior dos flechas una horizontal y una vertical con un engrane cada una, que pueden ser iguales ó diferentes en su diámetro exterior y tienen como función cambiar el sentido de la transmisión de horizontal del motor a vertical en la bomba y variar en su caso la velocidad de la bomba.

Se selecciona de acuerdo a la potencia efectiva de la bomba y sus dimensiones físicas dependerán de esta potencia.

Relación de Engranes. - El emplear diferentes diámetros en los engranes de un cabezal, permite variar la velocidad de la bomba, incrementando ó disminuyendo la velocidad de la misma con relación a la del motor.

Quando se emplean engranes iguales la velocidad del motor será igual a la de la bomba.

La relación de engranes permite medir las variaciones de velocidad en función de los engranes utilizados, así por ejemplo tenemos:

Relación 1 : 1	1 vuelta de la flecha del motor por 1 vuelta de la flecha de la bomba
2 : 3	2 vueltas de la flecha del motor por 3 vueltas de la flecha de la bomba.

Si se desea calcular la velocidad del motor, empleando diferentes relaciones y manteniendo la velocidad de la bomba a 1 760 rpm., se tiene:

$$\text{Relación } 2 : 3 \quad \text{Vel. motor} = \frac{2}{3} \times 1\,760 = 1\,173 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación } 3 : 4 \quad \text{Vel. Motor} = \frac{3}{4} \times 1\,760 = 1\,320 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación } 10 : 11 \quad \text{Vel. motor} = \frac{10}{11} \times 1\,760 = 1\,600 \text{ rpm}$$

Si tenemos que la velocidad de la bomba es de 1 760 rpm y la velocidad del motor es de 1 410 rpm para la potencia requerida, nuestra relación de engranes sería:

$$\frac{1\,410}{1\,760} = 0.80$$

Para determinar a que relación de engranes corresponde 0.80, se entra a la siguiente tabla, en la que encuentran tabuladas las relaciones más usuales:

2 : 3	=	0.66
3 : 4	=	0.75
4 : 5	=	0.80
5 : 6	=	0.83
10 : 11	=	0.90

La relación adecuada será entonces 4 : 5.

MULTIPLICACION DE VELOCIDAD

MODELO	R.P.M. BOMBA	R.P.	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL MOTOR										CAPACIDAD DE CARGA KGS.	
			1:1	3:4	2:3	1:2	1:3	10:11	5:6	4:5	5:8	4:7	NORMAL	ESPECIAL
20-A	1160	15	1160	870	773	580	387						1070	1670
	1460	17	1460	1095	973	730	487						986	1539
	1760	20	1760	1320	1173	880	587						930	1452
	3460	32	3460	2595	2307	1730	1153						744	1162
30-A	1150	22	1160	870	773	580			967			667	1617	2504
	1460	25	1460	1095	973	730			1217			840	1490	2308
	1760	30	1760	1320	1173	880			1467			1012	1406	2177
	3460	45	3460	2595	2307	1730			2883			1990	1157	1763
50-A	950	32	960	720	640	480	320	864	800	768	597	548	2269	3320
	1160	37	1160	870	773	580	387	1044	967	928	721	667	2139	3130
	1460	44	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168	908	840	1971	2885
	1760	50	1760	1320	1173	880	587	1584	1467	1408	1094	1012	1860	2722
70-A	960	45	960	720	640	480	320	864	800	768	597	548	3154	5091
	1160	51	1160	870	773	580	387	1044	967	928	721	667	2973	4799
	1460	62	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168	908	840	2741	4424
	1760	70	1760	1320	1173	880	587	1584	1467	1408	1094	1012	2586	4173
90-A	960	60	960	720	640	480		864	800	768	597	548	3265	5091
	1160	70	1160	870	773	580		1044	967	928	721	667	3078	4799
	1460	80	1460	1095	973	730		1314	1217	1168	908	840	2837	4424
	1760	90	1760	1320	1173	880		1584	1467	1408	1094	1012	2676	4173
10-A	720	60	720	540	480	360	240	654	600	576		412	4082	6350
	960	70	960	720	640	480	320	864	800	768		548	3697	5763
	1160	81	1160	870	773	580	387	1044	967	928		667	3493	5443
	1460	98	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168		840	3243	5080
1760	110	1760	1320	1173	880	587	1584	1467	1408		1012	3039	4740	
150-A	720	81	720	540	480	360	240	654	600	576		412	4128	6418
	960	97	960	720	640	480	320	864	800	768		548	3765	5851
	1160	110	1160	870	773	580	387	1044	967	928		667	3538	5489
	1460	133	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168		840	3289	5126
1760	150	1760	1320	1173	880	587	1584	1467	1408		1012	3084	4735	
200-A	720	92	720	540	480	360		654	600	576		412		6418
	960	123	960	720	640	480		864	800	768		548		5851
	1160	149	1160	870	773	580		1044	967	928		667		5489
	1460	180	1460	1095	973	730		1314	1217	1168		840		5126
1760	200	1760	1320	1173	880		1584	1467	1408		1012		4785	
250-A	720	140	720	540	480	360	240	654	600	576	450	412		7756
	960	175	960	720	640	480	320	864	800	768	600	548		7053
	1160	200	1160	870	773	580	387	1044	967	928	775	667		6645
	1460	230	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168	913	840		6192
1760	250	1760	1320	1173	880	587	1584	1467	1408	1100	1012		5763	
350-A	580	160	580	435	387	290		527	484	464	363	332	12497	
	720	190	720	540	480	360		654	600	576	450	412	11635	
	960	225	960	720	640	480		864	800	768	600	548	10514	
	1160	260	1160	870	773	580		1044	967	928	775	667	9911	
1460	310	1460	1095	973	730		1314	1217	1168	913	840	9135		
1760	350	1760	1320	1173	880		1584	1467	1408	1100	1012	8616		
450-A	530	207	580	435	387	290		527	484		363	332	12497	
	720	241	720	540	480	360		654	600		450	412	11635	
	960	285	960	720	640	480		864	800		600	548	10514	
	1160	337	1160	870	773	580		1044	967		775	667	9911	
1460	395	1460	1095	973	730		1314	1217		913	840	9135		
1760	450	1760	1320	1173	880		1584	1467		1100	1012	8616		

# REDUCCION DE VELOCIDAD

MODELO	R.P.M. BOMBA	K.P.	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL MOTOR									CAPACIDAD DE CARGA KG.		
			11:30	6:5	5:4	4:3	3:2	2:5	2:4	2:3	3:1	NORMAL	ESPECIAL	
20-A	1160	15				1547	1740						860	1452
	1480	17				1947	2190						803	1361
	1760	20				2347	2640						748	1270
30-A	1160	22		1392		1547	1740			2017	2320	3480	1361	2268
	1460	25		1752		1947	2190			2539	2920	4380	1261	2087
	1760	30		2112		2347	2640			3061	3520		1180	1950
50-A	960	32	1056	1152	1200	1280	1440	1544	1690	1920	2880		1852	2517
	1160	37	1276	1392	1450	1547	1740	1866	2042	2320	3480		1769	2749
	1460	44	1606	1752	1825	1947	2190	2348	2570	2920			2359	3924
	1760	50	1936	2112	2200	2347	2640	2831	3098	3520			1542	2390
70-A	960	45	1056	1152	1200	1280	1440	1544	1690	1920	2880		2675	4461
	1160	51	1276	1392	1450	1547	1740	1866	2042	2320	3480		2540	4218
	1460	62	1606	1752	1825	1947	2190	2348	2570	2920			2359	3924
	1760	70	1936	2112	2200	2347	2640	2831	3098	3520			2200	3674
90-A	960	60	1056	1152	1200	1280	1440		1690				2675	4491
	1160	70	1276	1392	1450	1547	1740		2042				2540	4218
	1460	80	1606	1752	1825	1947	2190		2570				2359	3924
	1760	90	1936	2112	2200	2347	2640		3098				2200	3674
110-A	720	60	792	864	900	960	1080		1267	1440	2160		3266	5579
	960	70	1056	1152	1200	1280	1440		1690	1920	2880		2994	5080
	1160	81	1276	1392	1450	1547	1740		2042	2320	3480		2812	4808
	1460	98	1606	1752	1825	1947	2190		2570	2920			2631	4468
1760	110	1936	2112	2200	2347	2640		3098	3520			2450	4173	
150-A	720	81	792	864	900	960	1080		1267	1440	2160		3266	5579
	960	97	1056	1152	1200	1280	1440		1690	1920	2880		2994	5080
	1160	110	1276	1392	1450	1547	1740		2042	2320	3480		2812	4808
	1460	133	1606	1752	1825	1947	2190		2570	2920			2631	4468
1760	150	1936	2112	2200	2347	2640		3098	3520			2450	4173	
200-A	720	108	792	864	900	960	1080		1267	1440	2160			5579
	960	130	1056	1152	1200	1280	1440		1690	1920	2880			5080
	1160	150	1276	1392	1450	1547	1740		2042	2320	3480			4808
	1460	180	1606	1752	1825	1947	2190		2570	2920				4468
1760	200	1936	2112	2200	2347	2640		3098	3520				4173	
250-A	720	140	792	833	900	960	1080	1152	1267	1440	2160			6804
	960	175	960	1110	1200	1280	1440	1536	1690	1920	2880			6182
	1160	200	1276	1341	1450	1547	1740	1856	2042	2320	3480			5831
	1460	230	1606	1688	1825	1947	2190	2336	2570	2920				5443
1760	250	1936	2035	2200	2347	2640	2816	3098	3520				5080	
350-A	580	160	638	671	725	773	870	928	1020	1183	1769			10778
	720	190	792	833	900	960	1080	1152	1266	1467	2196			10025
	960	225	960	1110	1200	1280	1440	1536	1688	1958	2928			9131
	1160	260	1276	1341	1450	1547	1740	1856	2040	2366	3538			8618
1460	310	1606	1688	1825	1947	2180	2336	2568	2978				8006	
1760	350	1936	2035	2200	2347	2640	2816	3095	3590				7484	
450-A	580	207	638	671	725	766	870	928	1020	1183	1769			10778
	720	241	792	833	900	951	1080	1152	1266	1467	2196			10025
	960	295	960	1110	1200	1269	1440	1536	1688	1958	2928			9131
	1160	337	1276	1341	1450	1533	1740	1856	2040	2366	3538			8618
1460	395	1606	1688	1825	1929	2180	2336	2568	2978				8006	
1760	450	1936	2035	2200	2326	2640	2816	3095	3590				7484	

## FLECHA DE TRANSMISION

Para transmitir la potencia y la velocidad del motor al cabezal de engranes, normalmente se emplea una flecha flexible marca Watson - Spicer, la cual tiene en sus extremos dos uniones del tipo universal, las cuales invariablemente deben ser instaladas en un plano horizontal ó sea que las flechas del cabezal de engranes y del motor no presenten ningún ángulo de inclinación.

La flecha a través de las uniones universales pueden permitir ciertos asentamientos de las flechas del cabezal y del motor dentro de un plano vertical, y operar inclinadas, pero siempre deberán sus uniones estar perfectamente horizontales.

Para la selección de la flecha de transmisión, se considera la velocidad máxima a la que va a operar el motor y la potencia que demande la bomba más las pérdidas por transmisión.

Existen básicamente dos tipos de flecha, cortas y largas, las primeras se les conoce con las siglas WS (Watson Short) y las segundas WL (Watson Large).

Como en el caso de los motores, las flechas podrán trabajar a velocidad continua ó intermitente, para el caso de bombeo de riego siempre se seleccionará la velocidad continua.

Se anexa a continuación una tabla para la selección de flecha en la cual se han tabulado los diferentes modelos de flecha y velocidades de operación, así como la potencia máxima que soportan para estas condiciones.

## TABLA PARA SELECCION DE FLECHA CARDAN

RANGOS DE POTENCIA MAXIMA A TRABAJO CONTINUO

VELOCIDAD (R. P. M.)

MODELO FLECHA.	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
L - 27	18	20	21	22	24	25	27	28	29	30	32	33	34	35	36	37
WL - 31	24	26	27	29	31	33	35	38	40	42	44	45	46	48	50	52
WL - 37	38	42	45	48	52	55	59	62	65	67	70	72	75	78	80	83
WL - 41	48	53	57	61	65	70	73	77	80	83	87	90	93	97	100	103
WL - 48	61	66	71	76	81	86	90	95	100	105	109	113	117	120	123	127
WL - 55	75	82	87	94	100	106	112	117	122	128	134	139	144	149	154	159
WL - 61	100	109	118	126	134	142	150	157	164	171	178	185	192	199	206	213
WL - 65	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	229	238	246	255	263
WL - 71	166	182	198	212	226	240	254	266	278	290	302	314	326	336	346	356
WL - 8	226	246	266	286	306	326	346	364	382	400	418	436	450	465	480	495
WL - 85	316	346	376	403	430	454	480	505	525	545	565	585	605	625	645	667

FLECHA CARDAN  
COLOCACION CORRECTA

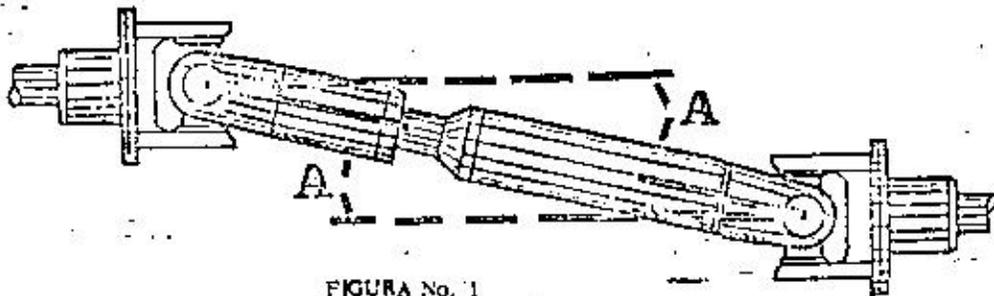
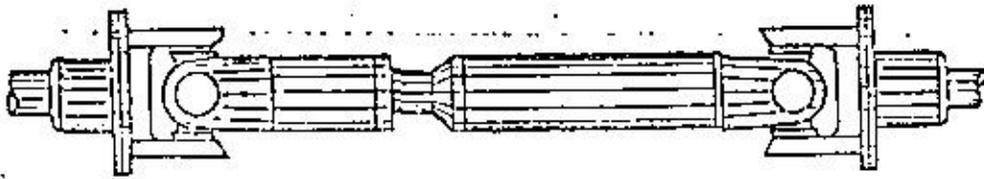


FIGURA No. 1

FLECHA CARDAN  
COLOCACION INCORRECTA

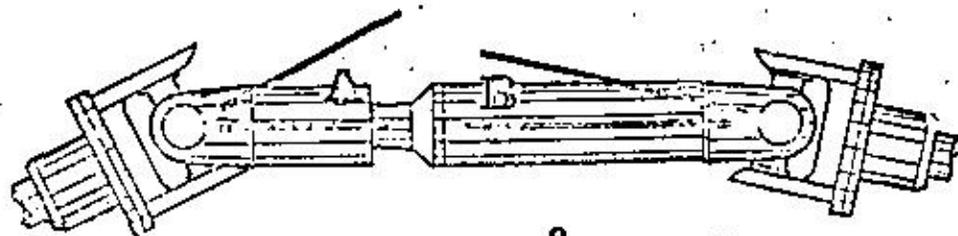
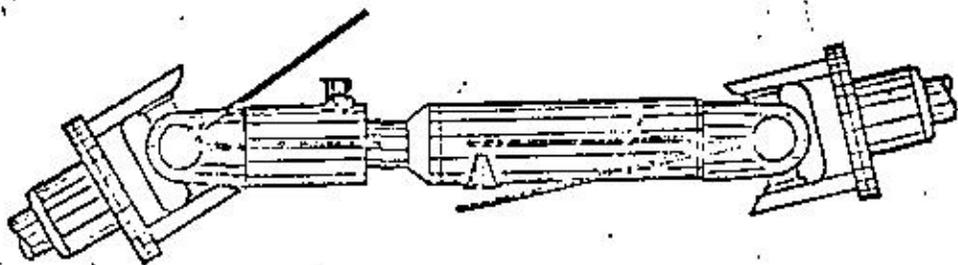


FIGURA No. 2

## MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Se emplean como fuerza motriz para accionar los sistemas de riego por bombeo y se clasifican por su tipo de combustible y se seleccionan de acuerdo al Proyecto en el que van a ser empleados.

Existen motores de combustión interna que usan como combustible gasolina, gas butano ó diesel.

Los motores de gasolina no son recomendables para emplearse en sistemas de bombeo con fines de riego, por el alto costo de su operación, y sólo llegan a emplearse en forma esporádica en bajas potencias.

Los motores de gas butano son similares a los de gasolina, su costo de adquisición es bajo pero su operación es alta; éstos motores presentan menos carbonización que los de gasolina, razón por la cual el motor funciona más regularmente.

Los motores diesel son los que más aplicación tienen en los sistemas de bombeo con fines de riego, su costo de adquisición es alto pero su operación es bastante más baja que la de los motores de gasolina ó gas butano. Los hay en cualquier potencia de las normalmente utilizadas y se da preferencia a aquellos que operan a bajas velocidades por aumentar la vida útil de los mismos.

Para calcular y seleccionar un motor de combustión interna, se deben de considerar las diferentes clases de pérdidas, que disminuyen la potencia efectiva del mismo.

Las pérdidas que deben considerarse son:

- a). - Pérdidas por Temperatura
- b). - Pérdidas por Combustible
- c). - Pérdidas por A. S. N. M.
- d). - Pérdidas por Ventilador

Las pérdidas mencionadas afectan en porcentaje diferentes la potencia de una marca a otra, como a continuación se detalla:

MARCA	POR TEMPERATURA
Rolls Royce	2% por c/a 5.5° C arriba 30° C
Cummins	1% por c/a 5.6° C arriba 32° C
Lister	2% por c/a 5.5° C arriba 30° C

Las pérdidas por combustible, se deben principalmente al contenido de azufre en el diesel, el cual disminuye el número de calorías producidas en cada explosión y afectan en 5% la potencia, de los motores, cualquiera que sea su Marca.

Las pérdidas por altura sobre el Nivel del mar (A.S.N.M.) varían de acuerdo a las diferentes marcas, como a continuación se indican:

MARCA	POR A. S. N. M.
Cummins	1% por cada 100 m después de 375 m S.N.M.
General Motors	1% por cada 100 m después de 1525 m S.N.M.
Rolls Rpyce-Lister	3.5% por cada 300 m después de 150 m S.N.M.

## MARCA

## FOR VENTILADOR

International ó Perkins

No especifican

## 2. - Selección de Curvas de Operación.

Todos los motores, independientemente su marca, se seleccionan de acuerdo a su curva de potencia (HP) - velocidad (RPM) que proporciona el fabricante.

Las curvas normales que se proporcionan son para operar los motores a Potencia Máxima, Potencia Intermitente ó Potencia Continua.

Potencia Máxima. - Es la potencia máxima al freno que es capaz de desarrollar un motor en un dinamómetro, antes de salir de la fábrica. Esta curva sólo tiene utilidad para el fabricante como un control de calidad.

Potencia Intermitente. - Son las potencias que puede desarrollar un motor en sistemas de propulsión por ejemplo: Trituradoras, camiones, malacates, sierras, etc.

Potencia Continua. - Es la potencia que proporciona un motor sujeto a cargas de demanda uniforme ó sea que la potencia que proporciona a una velocidad dada siempre es constante. en estas condiciones es donde se obtiene la operación más económica y vida útil más larga del motor.

En los sistemas de riego por bombeo, se seleccionan los motores con las curvas de Potencia Continua.

Para seleccionar el motor adecuado, normalmente se estima un 25% de pérdidas en el motor y se adicionan a la potencia efectiva para obtener una potencia nominal estimada. Se selecciona el motor de acuerdo a sus curvas de operación Potencia - Velocidad entrando con la potencia nominal estimada y una vez seleccionado, se calculan las pérdidas reales de potencia del motor señaladas por el fabricante y se obtiene la potencia nominal real.

Con esta potencia y las curvas del motor se determina si la selección del motor fue adecuada.

Ejemplo:

Q	=	60 lps	CAD	=	1 m.	Temp.	=	35°C
NB	=	70 m		=	83%			
Hf	=	3 m	a. s. n. m.	=	1050 m.			

a). - Cálculo de la Potencia efectiva:

$$CDT = 70 \text{ m} + 3 \text{ m} + 1 \text{ m} = 74 \text{ m.}$$

$$Pe (\text{bomba}) = \frac{Q \cdot CDT}{76} = \frac{60 \times 74}{76 \times 83} = 70.4 \text{ H.P.}$$

$$Pce = 70.4 \times 1.03 = 73 \text{ H.P.}$$

b). - Cálculo de la Potencia nominal estimada.

$$Pn = 1.25 \times Pce = 1.25 \times 73 = 91.25 \text{ H.P.}$$

c). - Selección del motor.

Motor	Rolls Royce
Modelo	C 4 N
Velocidad	1 400 r. p. m.
Potencia	92 H. P.

d). - Cálculo de las pérdidas de potencia.

Temperatura: 2% por c/a 5.5°C arriba de 30°C.

$$H_T = \frac{2\%}{35^\circ\text{C}}$$

Combustible: 5% en todos los motores.

$$H_C = \frac{5\%}{}$$

Altura sobre el nivel del mar:

3.5% por c/a 300 m. después 150 m. s. n. m.

$$\Delta \text{snm} = 1050 - 150 = 900 \text{ m.}$$

$$H_{\text{asnm}} = (900 \div 300) 3.5 = 3 \times 3.5 = \underline{10.5\%}$$

Ventilador: 7 H. P. para motores de 6 cilindros.

e). - Cálculo de la Potencia Nominal.

$$\begin{aligned} P_n &= P_{ce} + P_{ct} + H_T + H_C + H_{\text{asnm}} + H_v \\ &= 73 + 73 (2\% + 5\% + 10.5\%) + 7 \text{ H. P.} \\ &= 73 + 73 (17.5\%) + 7 \text{ H. P.} \\ &= 73 + 12.7 + 7 = 92.7 \text{ H. P.} \end{aligned}$$

f). - Comprobación del motor seleccionado.

Potencia nominal real =	92.7	H. P.
Potencia nominal estimada =	<u>91.25</u>	H. P.
Diferencia	1.4	H. P.

### 3. - Selección de la Potencia Requerida en un Sistema de Bombeo.

La potencia requerida por un sistema de bombeo se le denomina potencia efectiva y para su cálculo interviene:

$$P_e = \frac{Q \cdot CDT}{\eta \cdot 76} \quad \text{en donde:}$$

- $P_e$  = Potencia efectiva (HP)
- $Q$  = Gasto de producción del pozo ( L. P. S. )
- $CDT$  = Carga Dinámica Total ( M ) =  $C_B + CAD$
- $\eta$  = Eficiencia de la bomba ( % )
- 76 = Factor para convertir a H. P.

La potencia nominal es la potencia efectiva en el cabezal de engranes más las pérdidas de potencia del motor, de acuerdo a la marca seleccionada, ó sea:

$$P_{ce} = P_e + H_{ce} \cdot P_e \quad \text{en donde:}$$

- $P_{ce}$  = Potencia en el cabezal de engranes (HP)
- $P_e$  = Potencia efectiva en la bomba (HP)
- $H_{ce}$  = Pérdidas mecánicas por transmisión ( % )

Por lo tanto la potencia nominal será:

$$P_n = P_{ce} + P_{ce} (H_T + H_c + H_{asnm}) + H_v$$

- $P_n$  = Potencia nominal ( H. P. )
- $P_{ce}$  = Potencia en el cabezal de engranes ( H. P. )

- $H_T$  = Pérdidas por temperatura ( % )
- $H_c$  = Pérdidas por combustible ( % )
- $H_{asnm}$  = Pérdidas por Altura sobre el nivel del mar ( % )
- $H_v$  = Pérdidas por ventilador ( H. P. )

### CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN EQUIPO DE AFORO

Características Estimadas de Explotación del Pozo.

$$Q = 60 \text{ l.p.s.}$$

$$N.B. = 70 \text{ m.}$$

1. - Potencia efectiva requerida

$$HP = \frac{Q \times NB}{76 \times 75} = \frac{60 \times 70}{76 \times 75} = 74.66 \text{ H.P.}$$

2. - Potencia Nominal.

$$HP = 1.25 \times 74.66 = 93.32$$

3. - Motor seleccionado

Se selecciona con una potencia del 40% adicional Pn.

Marca:               Rolls Royce

Modelo:             C 6 N

Potencia:           130 H.P.

Velocidad:         1450 r.p.m.

Rango de velocidad: 1000 - 1700 rpm.

4. - Selección del Cabezal de Engranajes.

Velocidad promedio estimada de la bomba = 1350 rpm.

$$\text{Relación de engranes} = \frac{\text{RPM m}}{\text{RPM B}} = \frac{1450}{1350} = 1.07$$

Relaciones de engranes más usuales:

$$2 : 3 = 0.66$$

$$3 : 4 = 0.75$$

$$4 : 5 = 0.80$$

$$5 : 6 = 0.83$$

$$10 : 11 = 0.90$$

$$1 : 1 = 1.00$$

Cabezal de engranes seleccionados:

Potencia de:       130 H.P.       Modelo 150-A (133 HP)

Rel. de Engranajes: 1:1       Velocidad: 1450 RPM

5. - Cálculo de las velocidades Máx. y Min. de la bomba.

$$\text{Velocid. bomba mín.} = \frac{\text{RPM motor}}{\text{Rel. Engr.}} = \frac{1700}{1} = 1700 \text{ RPM}$$

$$\text{Velocid. bomba máx.} = \frac{\text{RPM motor}}{\text{Rel. Engr.}} = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ RPM}$$

6. - Cálculo de gastos estimados a diferentes escalones de velocidad.

$$Q = \frac{\text{Velocidad bomba}}{\text{Velocidad prom. M.}} \quad Q \text{ máx.}$$

1 000	∴	1 350 x 60 =	44.5
1 100	∴	1 350 x 60 =	48.9
1 200	∴	1 350 x 60 =	53.3
1 300	∴	1 350 x 60 =	57.8
1 400	∴	1 350 x 60 =	62.2
1 500	∴	1 350 x 60 =	66.7
1 600	∴	1 350 x 60 =	71.1
1 700	∴	1 350 x 60 =	75.5

## 7. - Selección de la bomba.

a). - Gasto a 1760 R. P. M.

$$1760 - 1350 \times 60 = 78.22 \text{ l. p. s.}$$

b). - Carga en la bomba a 1760 r. p. m.

$$C_B = \frac{\text{Velocidad Bomba}}{\text{Velocidad Promedio M.}} \times 70 \text{ m.} = \frac{\text{RPM B.}}{1350} \times 70 \text{ m.}$$

$$= \frac{1760}{1350} \times 70 \text{ m.} = 91.25 \text{ m.}$$

c). - Número de pasos.

De curvas Gasto - Carga de Fabricantes

$$Q = 78.22 \text{ l. p. s.} \quad (1426 \text{ g. p. m.})$$

Tazón: 12 Ha

Marca: JACUZZI

Carga por tazón: 18.29 m. (60')

$$\text{No. Pasos} = \frac{\text{Carga en la bomba}}{\text{Carga por tazón}} = \frac{91.25 \text{ m.}}{18.29} = 4.9$$

No. Pasos = 5

## 8. - Diámetro de la columna.

Se selecciona de acuerdo a la siguiente tabla:

Gasto (l. p. s.)	∅ Columna	N.B. (m)	∅ Flecha
30 a 50	6	60 a 100	1 1/4"
51 a 80	8	60 a 100	1 1/2"
81 a 130	10	60 a 100	1 3/4"
131 a 200	12	60 a 100	2"

Columna adecuada de 203mm (8") de diámetro y flecha de --

1 1/2" de diámetro.

## 9. - Longitud de la Columna:

Se considera un 30% adicional de columna sobre el nivel de -- bombeo, variando este porcentaje a juicio del Residente en función del comportamiento de los acuíferos.

$$\text{Long. Col.} = \frac{18}{3.05} \times 1.3 = \frac{70}{3.05} \times 1.3 = 29.8 = 30$$

## 10. - Cabezal de Descarga. -

Se selecciona de acuerdo a la base del cabezal de engranes seleccionado y el diámetro de la columna seleccionado.

## 11. - Cálculo de la Potencia Teórica demandada a la máxima velocidad de la bomba.

$$C_B \quad 1700 = \frac{1700}{1350} \times 70 = 88 \text{ m.} \quad Q = 75.5 \text{ l. p. s.}$$

$$\text{H. P.} = \frac{Q \cdot C}{76 \times} = \frac{75.5 \times 88}{76 \times 75} = 116.6 \text{ H. P.}$$

$$P_b = 1.25 \times 116.6 = 145 \text{ H. P.}$$

## RESUMEN

MOTOR:                      Rolla Royce C 6 N  
Potencia:                    130 H. P.  
Velocidad:                 1450 R. P. M.

## CABEZAL DE ENGRANES:

Relación:                  1 : 1  
Potencia:                  130 H. P.  
Modelo:                    150 - A

## COLUMNA DE BOMBEO:

Tramos 30 de 8"  $\phi$  y flecha de 1 1/2"  $\phi$

## TAZONES:

Cuerpo de 5 pasos de 12"  $\phi$  ( Modelo 12 H. S. )

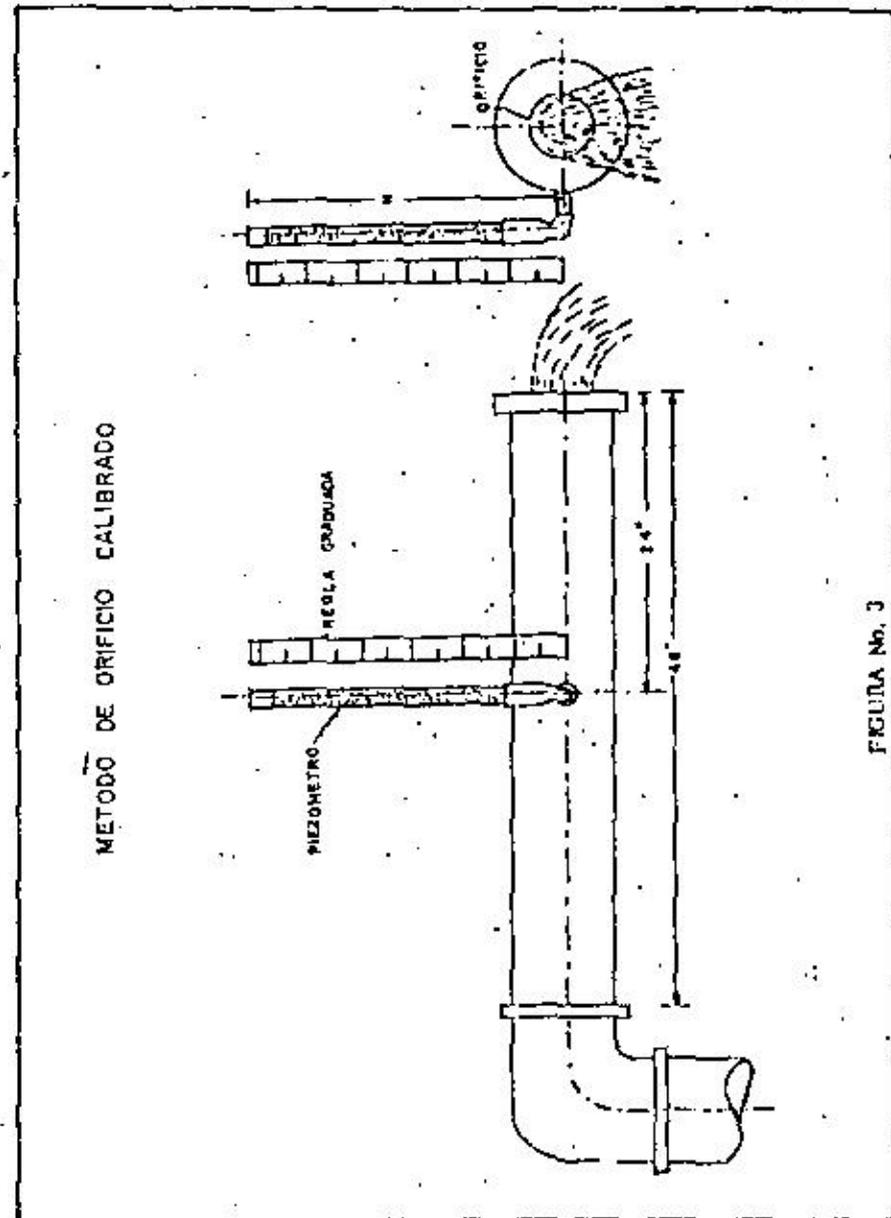
### METODO DE ORIFICIO CALIBRADO

Es el método más preciso y más comúnmente empleado para determinar el gasto de producción de un pozo, tiene las ventajas que el equipo empleado es compacto y de fácil instalación y consta principalmente de:

- a). - Un tubo con una longitud no menor de 1.22m (48"), conectado al cabezal de descarga en uno de sus extremos y en el otro -- deberá permitir la conexión de un porta orificio. A una distancia no menor de 61 cms. (24") del extremo libre, deberá contar con una perforación que permita conectar un piezómetro como se indica en la Figura 3.
- b). - Un porta orificios que permita con facilidad intercambiar orificios de diferente medida.
- c). - Orificios de diferentes diámetros interiores.
- d). - Un flexómetro.

Para obtener las mayores ventajas de este método se deberá tomar en consideración:

- a). - El Tubo de descarga deberá estar en posición horizontal y la descarga completamente libre.
- b). - Los bordes de los orificios biselados preferentemente a 45° con el borde del filo en dirección aguas arriba.



$$G = 0.25 K D^2 \sqrt{h}$$

G = gasto en lts/seg.

K = constante experimental.

h = altura del agua en cms. en el tubo de vidrio.

D = diámetro orificio en pulgadas.

c). - El orificio siempre deberá trabajar completamente lleno.

d). - El diámetro del orificio deberá estar comprendido entre 1/2

a 3/4 el diámetro del tubo de descarga.

e). - El piezómetro deberá quedar libre de burbujas y no sobre-

salir de la superficie interior del tubo de descarga.

Para obtener el gasto mediante la aplicación de este método, se

deberán seguir los siguientes pasos:

a). - Medir el Nivel Estático.

b). - Medir el Nivel de Bombeo.

c). - Medir la altura del agua del interior del piezómetro, como se

indica en la Fig. 3 en cms.

d). - Seleccionar la tabla que comprenda para el diámetro del tubo

de descarga y de orificio empleados e interpolando en ella con

la altura piezométrica obtener el gasto en l. p. s.

El aforo de un pozo se efectúa tomando la información ante-

rior a diferentes velocidades (rpm) del motor, se recomienda variar esta,

en escalones de 100 en 100 rpm, y tabularlas de la siguiente manera:

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"	ORIF. 8"
	tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	10"
10	5.27	4.18	7.93	7.44	15.41	12.21	19.47	17.53		
11	5.53	4.39	8.32	7.80	16.17	12.81	20.42	18.39		
12	5.77	4.58	8.69	8.15	16.89	13.38	21.32	19.20		
13	6.01	4.77	9.04	8.48	17.58	13.93	22.20	19.99		
14	6.24	4.95	9.38	8.80	18.24	14.46	23.04	20.75		
15	6.46	5.12	9.71	9.11	18.88	14.96	23.84	21.42		
16	6.67	5.29	10.03	9.41	19.50	15.45	24.62	22.18		
17	6.87	5.45	10.34	9.70	20.10	15.94	25.38	22.86		
18	7.07	5.61	10.64	9.98	20.68	16.39	26.12	23.52		
19	7.27	5.77	10.93	10.25	21.25	16.84	26.83	24.17		
20	7.45	5.92	11.22	10.52	21.80	17.28	27.53	24.79	37.03	55.88
21	7.64	6.06	11.49	10.78	22.34	17.70	28.21	25.41	37.95	57.27
22	7.82	6.20	11.76	11.03	22.86	18.12	28.87	26.00	38.64	58.61
23	7.99	6.35	12.03	11.28	23.38	18.53	29.52	26.59	39.72	59.93
24	8.17	6.48	12.29	11.52	23.88	18.92	30.16	27.16	40.57	61.22
25	8.34	6.62	12.54	11.76	24.36	19.32	30.78	27.72	41.41	62.43
26	8.50	6.75	12.79	11.99	24.86	19.70	31.39	28.27	42.22	63.72
27	8.66	6.87	13.03	12.22	25.33	20.07	31.99	28.81	43.03	64.93
28	8.82	7.00	13.27	12.45	25.80	20.44	32.58	29.34	43.62	66.16
29	8.98	7.12	13.50	12.67	26.25	20.80	33.15	29.85	44.59	67.25
30	9.13	7.25	13.74	12.88	26.70	21.16	33.72	30.36	45.36	68.41
31	9.28	7.37	13.96	13.10	27.14	21.51	34.28	30.87	46.11	69.58
32	9.43	7.48	14.19	13.31	27.58	21.85	34.82	31.36	46.85	70.67
33	9.58	7.60	14.41	13.51	28.00	22.19	35.37	31.85	47.57	71.79
34	9.72	7.71	14.62	13.71	28.43	22.53	35.90	32.33	48.29	72.86
35	9.86	7.83	14.84	13.91	28.84	22.85	36.42	32.80	48.99	73.93
36	10.00	7.94	15.05	14.11	29.25	23.18	36.94	33.26	49.69	75.08
37	10.14	8.05	15.26	14.31	29.65	23.50	37.45	33.72	50.37	76.01
38	10.28	8.15	15.46	14.50	30.05	23.81	37.95	34.17	51.04	77.03
39	10.41	8.26	15.66	14.69	30.41	24.12	38.44	34.62	51.71	78.04
40	10.54	8.37	15.86	14.88	30.83	24.43	38.94	35.07	52.38	79.04
41	10.67	8.47	16.06	15.06	31.21	24.73	39.42	35.50	53.02	80.01
42	10.80	8.57	16.25	15.24	31.59	25.04	39.90	35.93	53.67	80.99
43	10.93	8.67	16.44	15.42	31.97	25.33	40.36	36.35	54.30	81.94
44	11.06	8.78	16.61	15.60	32.34	25.62	40.83	36.77	54.93	82.89
45	11.18	8.87	16.82	15.78	32.70	25.91	41.29	37.19	55.55	83.82
46	11.31	8.97	17.01	15.95	33.06	26.20	41.75	37.60	56.16	84.75
47	11.43	9.07	17.19	16.13	33.42	26.48	42.21	38.01	56.77	85.67
48	11.55	9.17	17.38	16.29	33.77	26.76	42.65	38.41	57.37	86.57
49	11.67	9.26	17.56	16.46	34.13	27.04	43.09	38.81	57.97	87.47

Carga Adicional en la Descarga. -	Es la altura medida del nivel del terreno al punto en que el agua es descargada.
Carga en la Bomba. -	Es equivalente al Nivel de Bombeo más las pérdidas por fricción.
Carga Total. -	Es la suma de la Carga Adicional en la Descarga, más carga en la bomba.
Sumergencia original (Hs). -	Es la distancia comprendida entre el nivel ó carga estática y el primer impulsor.
Sumergencia de trabajo (Hw). -	Es la distancia comprendida entre el nivel dinámico y el primer impulsor.
Presión de Partida (Ps). -	Es la presión (lbs/Pulg <sup>2</sup> ) necesaria para iniciar el bombeo, se obtiene multiplicando la sumergencia original en pies por 0.434 (presión por pulg <sup>2</sup> . de una columna de agua a un pie de altura) más las pérdidas por fricción en el tubo de aire comprimido.
	$P_s = 0.434 H_s + P_f$
Presión de trabajo (Pw). -	Es la presión (lbs/pulgs). requerida para sostener el bombeo, se obtiene multiplicando la sumergencia de trabajo (Hw) en pies por 0.434 más las pérdidas por fricción en el tubo de aire comprimido.
	$P_w = 0.434 H_w + P_f$

Porcentaje de sumergencia (H%). - Es la relación entre la sumergencia de bombeo (Hw) y la longitud total de la tubería,

$$H\% = \frac{H_w}{C} \times 100$$

## MÉTODOS DE AFORO

Para medir la capacidad de producción de un pozo existen otros sistemas ó métodos, que pueden aplicarse de acuerdo a la información que se pretenda obtener.

Los sistemas de Aforo comúnmente empleados para determinar en forma aproximada y con mayor precisión las características hidráulicas de un pozo, son:

- 1). - Cuchareo.
- 2). - Método de Cubicación.
- 3). - Método de Escuadra
- 4). - Medidor de Flujo
- 5). - Medidor de Canal.
- 6). - Medición en pozos Brocantes.

Para la correcta selección del método de aforo adecuado, es necesario conocerlos, por lo que a continuación se describe cada uno de ellos,

- 1). - Método de Cuchareo. - Es útil en aquellos casos en que se tiene duda sobre la posibilidad de obtener producción de un pozo, debido a encontrarse localizado en zonas geohidrológicamente desfavorables, por tenerse resultados negativos en el Registro Eléctrico ó en las muestras obtenidas durante la perforación y se efectúan preferentemente antes de colocar el ademe en el Pozo.

Se emplea una cuchara de las utilizadas en los equipos de perforación tipo percusión para desalojar los cortes de los materiales perforados del fondo del pozo. Esta puede ser del tipo de hisopeta ó de dardo y se deberá medir la capacidad de la misma (Fig. 5).

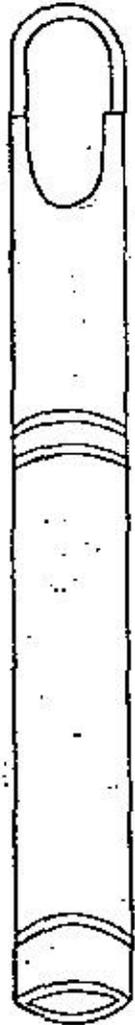
La prueba consiste en medir el nivel del agua mediante una sonda eléctrica, introducir la cuchara en el pozo abajo del nivel de agua, llenarla y extraerla, se repite esta operación en 4 ó 5 ocasiones y se toma la siguiente información:

- a). - Nivel del agua al iniciar
- b). - Volúmen total extraído
- c). - Tiempo efectivo empleado en la prueba
- d). - Nivel del agua al terminar

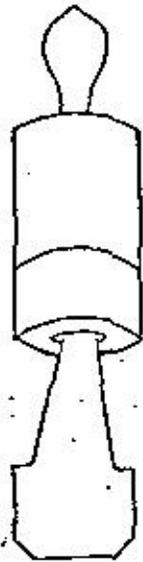
Dividiendo el volúmen total extraído entre el tiempo efectivo empleado en la prueba, se obtiene el gasto y la diferencia de niveles proporciona el abatimiento. Del resultado de esta prueba se podrá determinar,

- a). - Si se abate totalmente el pozo, no será conveniente proseguir

CUCHARA



DARDO



BISAGRA

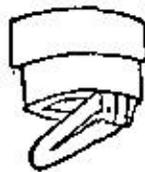


FIGURA No. 8

la terminación del mismo ó se estudiará la posibilidad de profundizarlo.

- b). - Si el gasto obtenido y su abatimiento es suficiente para tomar la decisión de proseguir ó no los trabajos de perforación.
- c). - Si no existe abatimiento, continuar con los trabajos de terminación del pozo.

2). - Método de Cubicación. - Este procedimiento es aplicable en aquellos pozos de producción baja, con gastos comprendidos hasta 2 l. p. e. y se recomienda para la extracción del agua del interior del pozo la utilización de un guimbaleté, el cual consiste básicamente en una bomba de desplazamiento directo, integrada por un cilindro con dos válvulas check, unido a una varilla mediante la cual desde la superficie se le proporciona un movimiento ascendente y descendente, que permite descargar un volumen equivalente al suyo (Fig. 9).

El movimiento ascendente y descendente de la varilla se proporciona mediante el empleo de un balancín, el cual es accionado por un motor de combustión interna ( puede ser eléctrico ).

El gasto en la superficie se mide mediante el empleo de un tambor de 200 litros de capacidad ó similar y tomando el tiempo de llenado del mismo.

Los niveles del agua estático y dinámico, se miden empleando -- una sonda eléctrica.

Para la elaboración de la curva de aforo se deberán tomar los siguientes datos:

LECTURA N. E. = 40 ml.				
R. P. M.	N. B. (in)	Vol. Calibrado (Hs)	Tiempo seg.	Gasto lps
500	75	200	350	0.5
600	90	200	300	0.6
700	127	200	200	1.0

Para la elaboración de la Curva Gasto-Nivel de bombeo, se seguirá el mismo procedimiento descrito en el Método de Orificio Calibrado.

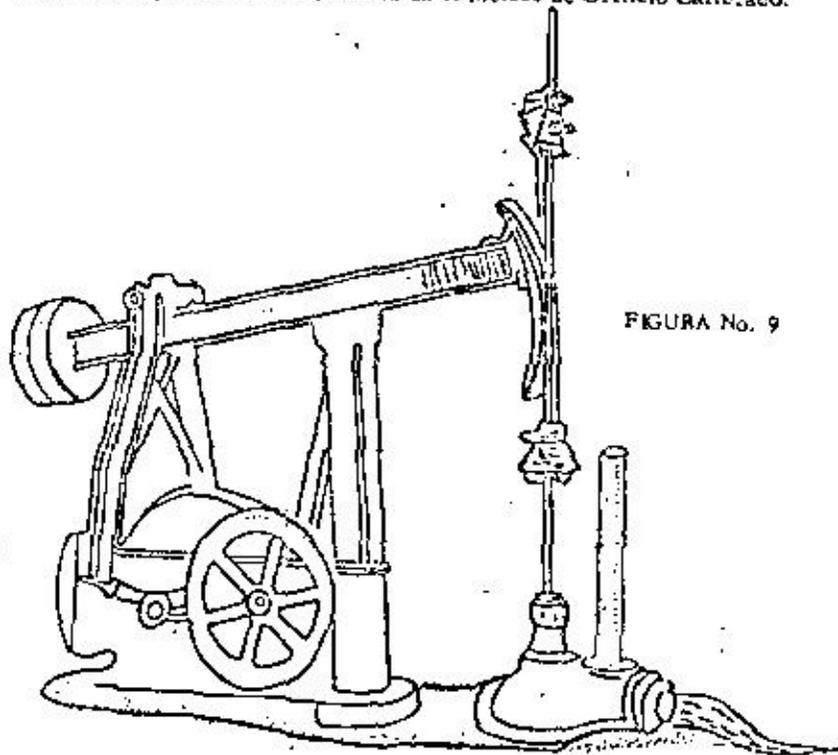


FIGURA No. 9

### SIFONEO CON AIRE

Puede emplearse para la extracción del agua del pozo, el bombeo inyectando aire comprimido, requiriéndose para tal operación el siguiente -- equipo.

Un compresor, una línea para descargar el agua del pozo y una -- línea para inyectar el aire, este sistema tiene dos variantes que a continuación se detallan:

- 1a. Variante, - El tubo de inyección del aire se introduce dentro del tubo de descarga del agua (Fig. 10).
- 2a. Variante, - El tubo de inyección del aire se introduce fuera del tubo de descarga del agua (Fig. 11).

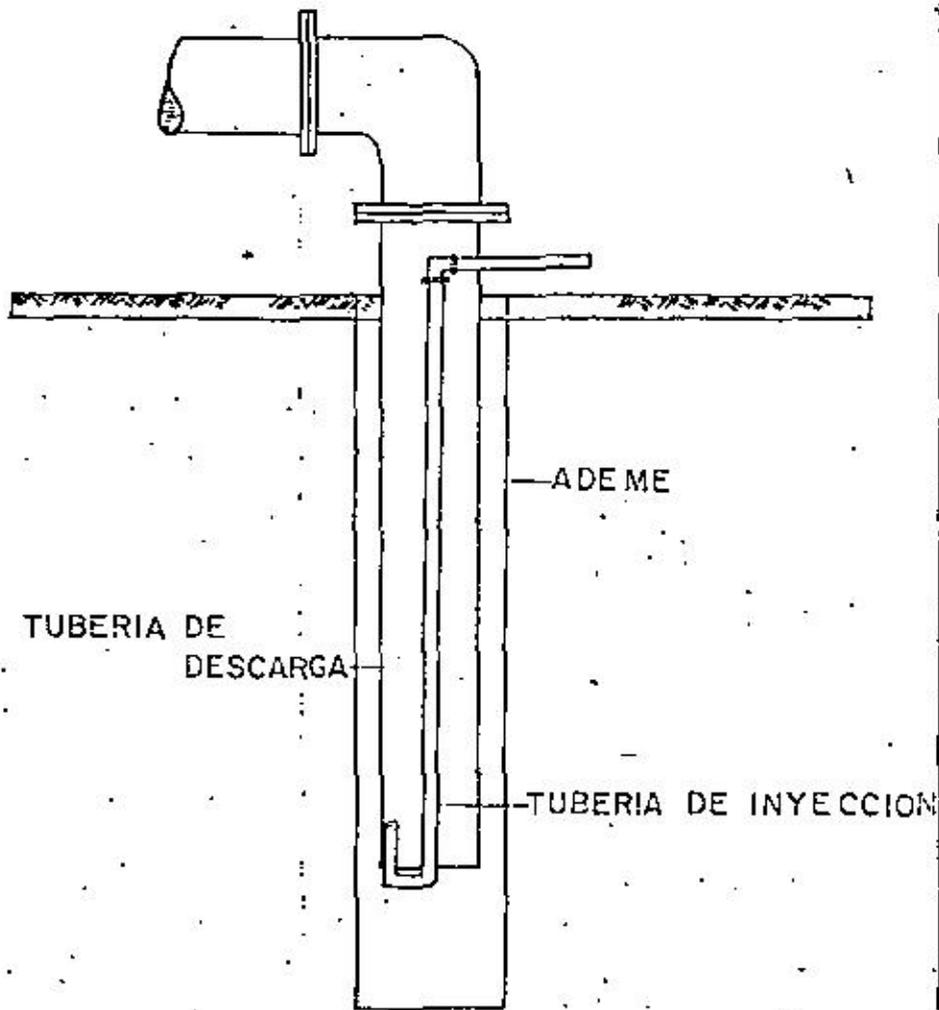
En ambos casos la inyección del aire en el interior del pozo provoca una columna de mezcla de aire - agua, que es más ligera que la columna de agua situada afuera del tubo.

La diferencia de peso entre ambas columnas provoca un desequilibrio que expulsa la columna de mezcla aire - agua por ser más ligera. Al -- sostener la inyección del aire se provoca la expulsión de agua en forma intermitente.

El agua descargada en la superficie, se mide como en el caso anterior por cubicación empleando uno ó más tamborres de 200 litros.

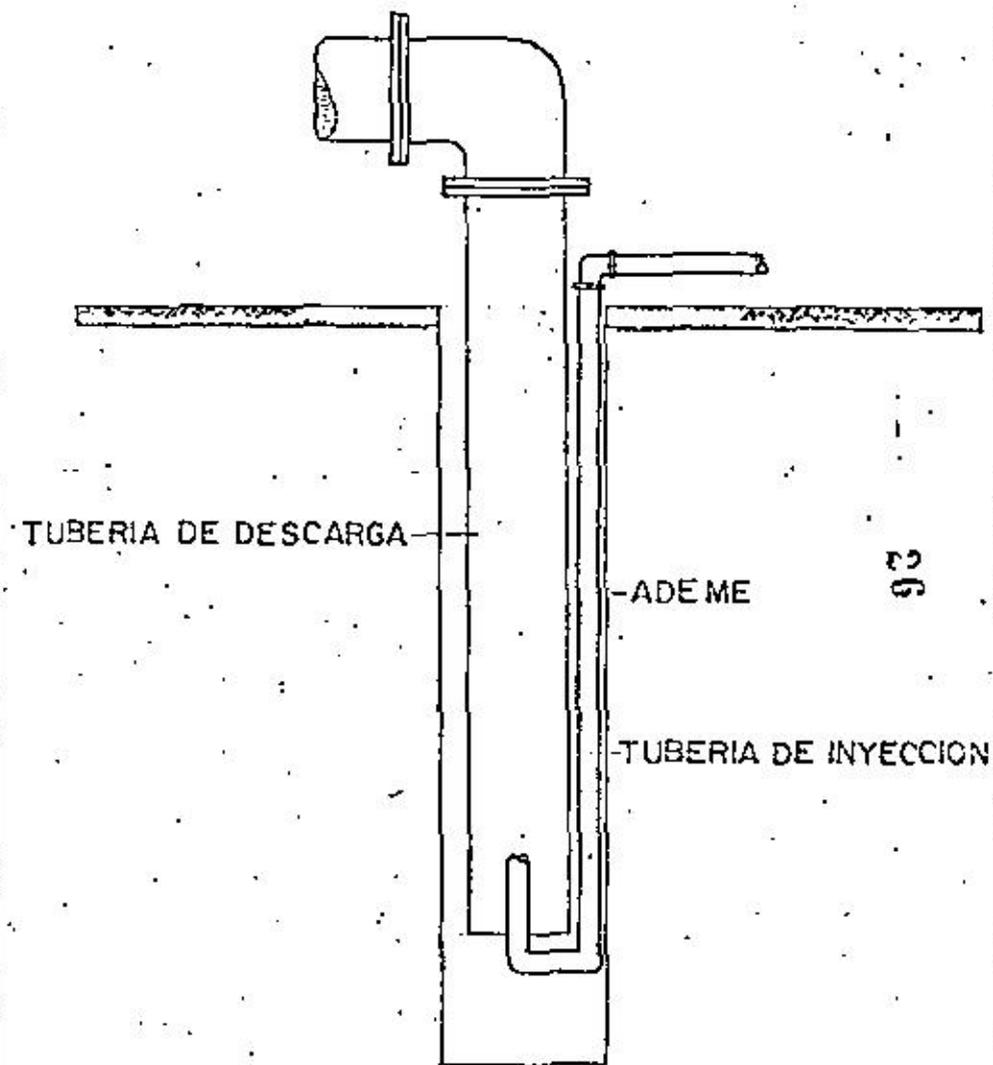
Si el gasto es mayor de 5 lps., se debe emplear para su medición recipientes de mayor capacidad (presa de lodos, camión, etc.).

Para la selección de la capacidad del compresor, diámetros y -- longitudes de las líneas de inyección, y de descarga, se debe considerar:



SIFONEO POR AIRE

FIGURA No. 10



SIFONONEO POR AIRE

FIGURA No. 11

26

CAPACIDADES EMPLEANDO SISTEMA CON TUBERIA EXTERIOR						
Diámetro Mínimo del Iozo	DIAMETRO DE TUBOS		CAPACIDAD - GPM			
	Tubo de Descarga de agua	Tubo de Aire	SUMERGENCIA			
			70%	60%	50%	40%
3	1	3/8	10-17	8-12	7-11	6-10
3 1/2	1 1/4	3/8	16-24	11-18	10-15	8-12
4	1 1/2	1/2	20-36	16-28	12-21	10-19
5	2	3/4	33-65	26-55	20-40	18-35
6	2 1/2	1	60-100	50-85	36-85	32-55
6	3	1	90-170	78-120	55-100	50-95
6	3 1/2	1	120-250	110-180	90-150	60-130
8	4	1 1/4	200-225	160-250	130-200	120-180
8	4 1/2	1 1/2	250-475	200-375	170-275	155-275
10	5	1 1/2	300-600	275-475	200-375	190-300
10	6	2	500-900	450-775	350-575	280-500

CAPACIDADES EMPLEANDO TUBERIA INTERIOR						
Diámetro Mínimo del Pozo	Diámetro de Tubos Tubo de Descarga de Agua	Tubo de Aire	Capacidad - GPM			
			70%	60%	50%	40%
10	2 1/2	2	1200-2000	1050-1800	900-1550	770-1250
8	2	2	800-1300	700-1200	600-1000	500-750
7	2	2	500-1000	450-850	400-700	325-535
6	2	2	425-775	350-650	300-500	250-425
5	1 1/2	1 1/2	260-510	220-390	175-300	160-270
4 1/2	1 1/2	1 1/2	200-390	170-350	140-230	130-190
4	1 1/4	1 1/4	160-270	135-200	105-160	95-150
3 1/2	1	1	105-210	95-155	80-130	70-110
3	3/4	3/4	75-105	64-100	48-82	41-75
2	1/2	1/2	30-56	25-46	18-33	16-30
1 1/2	3/8	3/8	18-28	13-22	10-17	9-15
1 1/4	3/8	3/8	13-22	10-16	9-14	8-13

CAPACIDAD DE AIRE NECESARIO PARA BOMBEAR 1 GALÓN DE AGUA.

Fórmula: 
$$Q = \frac{H1}{C \cdot \log. 10 \frac{HW + 34}{34}} \quad (ft^3)$$

Donde: H1 = Altura de Succión.....ft  
 HW = Sumergencia de bombeo....ft  
 C = Constante - Tabla abajo

Sumergible	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%
Constante C Tubería interior	330	322	306	285	262	238	214	185	162
Constante C Tubería exterior	366	358	348	335	318	296	272	246	216

PIES CUBICOS DE AIRE LIBRE PARA ELEVAR 1 GALÓN DE AGUA-PRESION DE TRABAJO PARA SUMERGENCIA DE 25% a 50%

Altura total- de suc- ción - en pies	RAZÓN DE SUMERGENCIA								
	25% 1/3 a 1		33% 1/2 a 1		43% 3/4 a 1		50% 1 a 1		
	Aire Libre PC	Presión Trabajo	Aire Libre PC	Presión Trabajo	Aire Libre PC	Presión Trabajo	Aire Libre PC	Presión Trabajo	
20									
30									
40									
50									
60									
80									
100									
120									
140									
160									
180							0.761	81	
200							0.807	90	
250							0.916	113	
300						1,302	101	1,021	135
350						1,422	118	1,121	158
400						1,545	135	1,221	180
450						1,658	152	1,319	202
500			2,580	113	1,773	169	1,411	225	
550			2,738	124	1,882	187	1,504	247	
600			2,879	135	1,992	202			
650			3,025	146	2,100	220			
700	3,910	105	3,168	157	2,205	236			
750	4,065	113	3,302	169					
800	4,220	120	3,445	180					
850	4,385	128	3,581	191					
900	4,535	135	3,712	202					
950	4,670	142							
1000	4,840	150							

200

1.65 cúbicos de aire libre para elevar un galón de agua - presión de trabajo para sumergencia de 55% a 71%:

Altura total - de suc- ción en pies.	RAZON DE SUMERGENCIA.							
	55%		60%		65%		71%	
	1.1/4 a 1		1.1/2 a 1		2 a 1		2.1/2 a 1	
	Aire Li- bre PC.	Presión trabajo	Aire Li- bre PC.	Presión trabajo	Aire Li- bre PC.	Presión trabajo	Aire Li- bre PC.	Presión trabajo
20					0.169	18	0.143	23
30					0.194	27	0.165	34
40			0.271	27	0.217	36	0.184	45
50			0.296	24	0.240	45	0.208	56
60			0.318	41	0.261	54	0.229	68
80			0.364	54	0.302	72	0.267	90
100			0.407	67	0.342	90	0.280	100
120			0.448	81	0.379	108		
140	0.558	79	0.469	95	0.414	126		
160	0.602	90	0.528	108				
180	0.642	101	0.565	122				
200	0.683	113	0.602	135				
250	0.779	141						
300	0.872	169						
350	0.954	197						
400	1.052	225						
450	1.139	253						
500								
550								
600								
650								
700								
750								
800								

## BOMBA VERTICAL

Para la medición de gastos mayores de 10 lps., usualmente se emplean los métodos de Escuadra, Orificio Medidor de flujo y Canal, para la aplicación de cualquiera de estos métodos, es necesario contar con un flujo de agua constante en la superficie, el cual generalmente es proporcionado mediante el empleo de una bomba turbina tipo vertical accionada por motor de combustión interna.

Este equipo de bombeo está integrado principalmente por Cuerpo de Tazones y Colador. Está formado por uno o más pasos, integrados cada uno de ellos por una cámara ó carcasa que aloja en su interior un impulsor, el cual proporciona energía al agua permitiendo su expulsión al siguiente paso ó a la columna de bombeo.

Los impulsores pueden ser del tipo cerrado ó semi-abiertos; generalmente en el primer paso se coloca un tubo de succión y un colador, este último tiene como finalidad el proteger los impulsores del pozo de riegos sólidos en suspensión.

Columna de Bombeo. - Puede ser lubricada por agua ó por aceite, en el primer caso consta de tubería de bombeo ó descarga y flecha para proporcionar movimiento a los impulsores, en el segundo caso consta de tubería de bombeo ó descarga, cubreflecha y flecha, entre estas dos últimas se coloca el aceite para su lubricación.

Cabezal de Descarga. - Su función es la de sostener la columna de bombeo y los tazones, proporcionar la base de apoyo al cabezal de engranes y cambiar la dirección del flujo del agua.

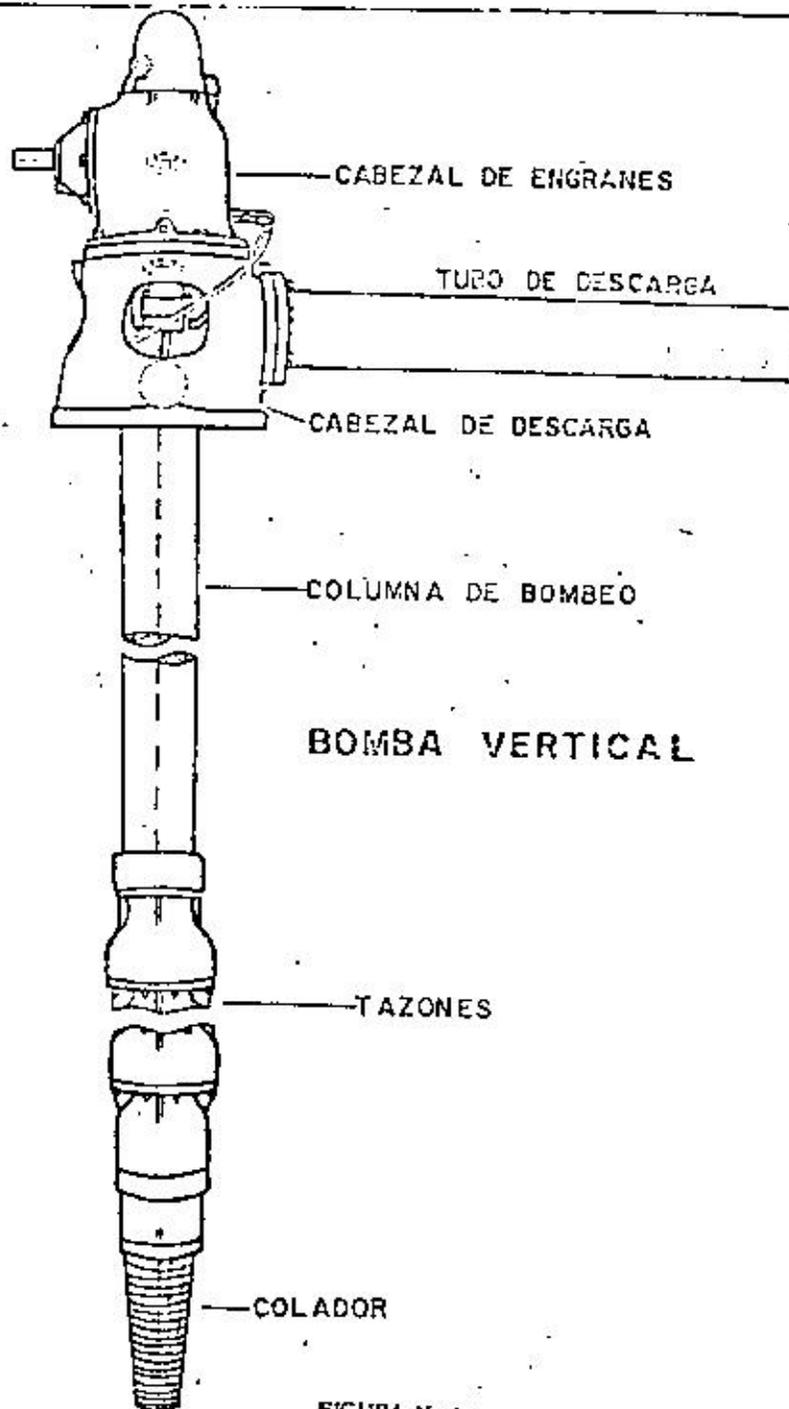


FIGURA No. 12

Cabezal de Engranés. - Aloja en su interior dos engranes que pueden ser de dimensiones iguales ó diferentes, los cuales se encuentran acoplados a flechas que se conectan a la flecha de la bomba y a la flecha - motriz (flecha cardán) proveniente del motor.

Motor. - Se emplean motores de combustión interna con capacidades que varían de acuerdo a la potencia que se demande en función del Gasto y el Nivel de bombeo máximo que se pretendan obtener.

Tubo de Descarga. - Se conecta al cabezal de descarga, normalmente tiene 3.05 m (10') de longitud.

3). - Método de Escuadra. - Este método permite medir gastos aproximados en descargas a tubo lleno ó parcialmente lleno; su aplicación es sencilla y consiste en tener un tubo de descarga acoplado al cabezal de la bomba con una longitud no menor de 1.50 m (5') para sostener un flujo laminar en su interior y descarga libre en su extremo.

Cuando se tiene el tubo de descarga lleno y se desea conocer el gasto aproximado, se hace necesario conocer la distancia horizontal  $D$  la cual se mide como lo indica la Fig. 13 y con este valor se entra en las tablas que se anexan. Interpolando con el dato del tubo de descarga y se obtendrá directamente el gasto correspondiente.

Cuando la descarga sea a tubo parcialmente lleno, el procedimiento es igual al anterior, excepto en la forma de medir la distancia  $D$  la cual se efectuará de acuerdo a la Fig. 13 correspondiente.

En este caso para obtener el gasto real será necesario obtener el valor de la relación  $\frac{x}{y}$  en la que  $x$  es el tirante del agua en el interior del tubo de descarga, y es el diámetro interior con este dato interpolado en la tabla correspondiente se obtiene un valor en por ciento (%).

Con el valor de  $D$  y la tabla a tubo lleno se obtiene el gasto que multiplicado por el valor de por ciento antes obtenido se tiene el gasto real (corregido).

El aforo consiste en medir el nivel estático y obtener a diferentes velocidades del motor (es conveniente a cada 100 rpm) las siguientes lecturas:

- Nivel de bombeo.
- Distancias horizontales  $D$  como se indica en la Figura.
- Velocidad del motor (rpm).
- Tiempo de cada escalón de velocidad.

La información recabada se tabulará de la siguiente forma:

R. P. M.	N. B. (m)	Distancia D (cm)	Gasto l. p. s.
1 200	11.00	34	33.8
1 300	13.20	40	39.7
1 400	14.60	44	43.7
1 500	16.80	48	47.7
1 600	19.20	52	51.7
1 700	21.10	56	55.6
1 800	23.40	58	57.6
1 900	25.00	62	61.6
2 000	25.30	66	65.6

La gráfica de Gasto-Nivel de Bombeo y su interpretación se describirán en el Método de Orificio Calibrado.

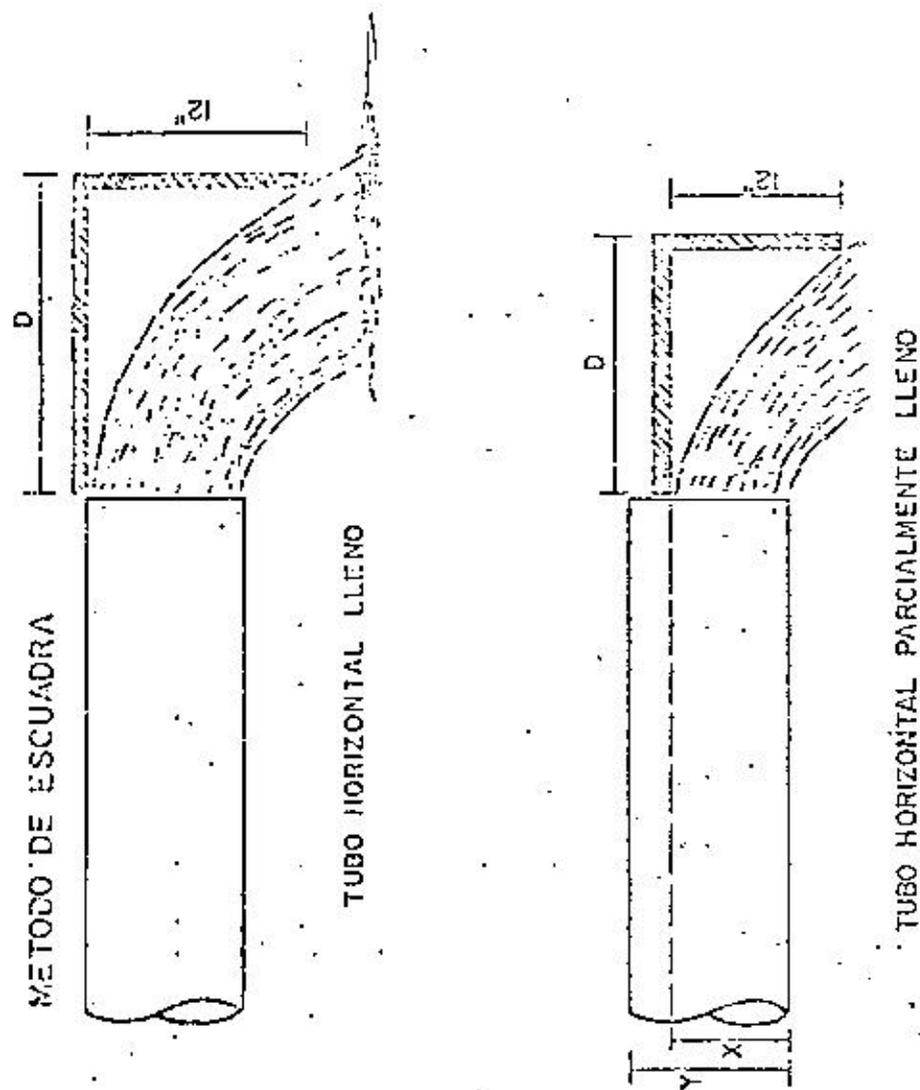


FIGURA No. 13

AFORO DE TUBOS INCLINADOS CON DESCARGA COMPLETA

Diagrama del tubo en palanca dist. horizontal en c.m. en la base.

Dim. H. (m.)	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"	5 1/2"	6"	7"
20	1.6	2.5	3.4	5.0	6.5	8.2	10.1	12.2	14.6	19.9
22	1.8	2.9	4.0	5.5	7.2	9.0	11.1	13.5	16.1	21.9
24	2.0	3.0	4.2	5.8	7.8	9.8	12.2	14.7	17.5	23.8
26	2.3	3.3	4.7	6.5	8.5	10.7	13.2	16.0	19.0	25.8
28	2.5	3.5	5.1	7.0	9.1	11.3	14.2	17.3	20.6	27.8
30	2.8	3.8	5.4	7.5	9.8	12.3	15.3	18.4	21.9	29.8
32	3.0	4.1	5.8	8.0	10.4	13.1	16.3	19.6	23.4	31.8
34	3.2	4.3	6.2	8.4	11.1	13.9	17.6	20.9	24.8	33.8
36	3.4	4.6	6.5	8.9	11.7	14.8	18.2	22.1	26.3	35.8
38	3.7	4.8	6.9	9.4	12.4	15.6	19.9	23.3	27.8	37.8
40	3.9	5.1	7.3	9.9	13.0	16.4	20.9	24.5	29.3	39.8
42	4.1	5.3	7.6	10.4	13.7	17.3	21.3	25.8	30.7	41.8
44	4.3	5.6	8.0	10.9	14.3	18.0	22.3	27.0	32.1	43.8
46	4.5	5.8	8.3	11.4	15.0	18.9	23.3	28.2	33.5	45.8
48	4.7	6.1	8.7	11.9	15.6	19.7	24.3	29.4	35.1	47.8
50	4.9	6.3	9.1	12.4	16.3	20.5	25.3	30.7	36.6	49.8
52	5.1	6.5	9.4	12.9	16.9	21.3	26.3	31.9	38.0	51.8
54	5.3	6.8	9.8	13.4	17.6	22.1	27.4	33.1	39.5	53.8
56	5.5	7.1	10.2	13.9	18.2	23.0	28.4	34.4	40.9	55.8
58	5.7	7.3	10.5	14.4	18.9	23.8	29.4	35.6	42.4	57.8
60	5.9	7.6	10.9	14.9	19.5	24.6	30.4	36.8	43.8	59.8
62	6.1	7.8	11.2	15.4	20.2	25.4	31.4	38.0	45.3	61.8
64	6.3	8.1	11.6	15.9	20.8	26.2	32.4	39.3	46.7	63.8
66	6.5	8.4	12.0	16.4	21.5	27.1	33.4	40.5	48.2	65.8
68	6.7	8.6	12.3	16.9	22.1	27.9	34.3	41.7	49.7	67.8
70	6.9	8.9	12.7	17.4	22.8	28.7	35.3	42.9	51.1	69.8
72	7.1	9.1	13.1	17.9	23.4	29.5	36.3	44.2	52.5	71.8
74	7.3	9.4	13.4	18.4	24.1	30.3	37.3	45.4	54.0	73.8
76	7.5	9.6	13.8	18.9	24.7	31.2	38.3	46.6	55.5	75.8
78	7.7	9.9	14.1	19.4	25.4	32.0	39.3	47.9	57.0	77.8

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diagrama del tubo en palanca dist. horizontal en c.m. en la base.

Dist. H. (m.)	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
20	26.0	32.9	40.6	48.1	56.6	65.0	73.4	81.8	90.2
22	28.5	36.2	44.8	53.0	62.5	71.9	80.3	88.7	97.1
24	31.0	39.5	49.0	57.5	67.0	76.4	84.8	93.2	101.6
26	33.5	42.8	52.2	60.8	70.3	79.7	88.1	96.5	105.0
28	36.0	46.0	55.4	64.0	73.5	82.9	91.3	99.7	108.4
30	38.5	49.3	58.6	67.2	76.7	86.1	94.5	102.9	111.8
32	41.0	52.6	61.8	70.4	79.9	89.3	97.7	106.1	115.2
34	43.5	55.9	65.0	73.6	83.1	92.5	100.9	109.3	118.6
36	46.0	59.2	68.2	76.8	86.3	95.7	104.1	112.5	122.0
38	48.5	62.5	71.4	80.0	89.5	98.9	107.3	115.7	125.4
40	51.0	65.8	74.6	83.2	92.7	102.1	110.5	118.9	128.8
42	53.5	69.1	77.8	86.4	95.9	105.3	113.7	122.1	132.2
44	56.0	72.4	81.0	89.6	99.1	108.5	116.9	125.3	135.6
46	58.5	75.6	84.2	92.8	102.3	111.7	120.1	128.5	139.0
48	61.0	78.9	87.4	96.0	105.5	114.9	123.3	131.7	142.4
50	63.5	82.2	90.6	99.2	108.7	118.1	126.5	134.9	145.8
52	66.0	85.5	93.8	102.4	111.9	121.3	129.7	138.1	149.2
54	68.5	88.8	97.0	105.6	115.1	124.5	132.9	141.3	152.6
56	71.0	92.1	100.2	108.8	118.3	127.7	136.1	144.5	156.0
58	73.5	95.4	103.4	112.0	121.5	130.9	139.3	147.7	159.4
60	76.0	98.7	106.6	115.2	124.7	134.1	142.5	150.9	162.8
62	78.5	102.0	109.8	118.4	127.9	137.3	145.7	154.1	166.2
64	81.0	105.3	113.0	121.6	131.1	140.5	148.9	157.3	169.6
66	83.5	108.6	116.2	124.8	134.3	143.7	152.1	160.5	173.0
68	86.0	111.9	119.4	128.0	137.5	146.9	155.3	163.7	176.4
70	88.5	115.2	122.6	131.2	140.7	150.1	158.5	166.9	179.8
72	91.0	118.5	125.8	134.4	143.9	153.3	161.7	170.1	183.2
74	93.5	121.8	129.0	137.6	147.1	156.5	164.9	173.3	186.6
76	96.0	125.1	132.2	140.8	150.3	159.7	168.1	176.5	190.0
78	98.5	128.4	135.4	144.0	153.5	162.9	171.3	179.7	193.4
80	101.0	131.7	138.6	147.2	156.7	166.1	174.5	182.9	196.8

APORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas diámetro horizontal en caso. en litro/seg.

Diámetro Horizontal	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"	5 1/2"	6"	7"
80	6.5	10.1	14.5	19.9	26.0	32.8	40.5	49.1	58.4	79.8
82	6.7	10.4	14.9	20.4	26.7	33.6	41.5	50.3	59.9	81.5
84	6.9	10.6	15.2	20.8	27.3	34.4	42.6	51.3	61.3	83.5
85	7.1	10.9	15.6	21.4	28.0	35.2	43.6	52.2	62.8	85.4
86	7.2	11.1	16.0	21.9	28.6	36.1	44.6	54.0	64.3	87.4
90	7.4	11.4	16.3	22.4	29.3	36.9	45.6	55.2	65.7	89.4
92	7.5	11.7	16.7	22.9	29.9	37.7	46.6	56.4	67.2	91.4
94	7.7	11.9	17.0	23.3	30.6	38.5	47.6	57.7	68.6	93.4
96	7.9	12.2	17.4	23.8	31.2	39.4	48.6	58.9	70.1	95.4
98	8.0	12.4	17.8	24.3	31.9	40.2	49.7	60.2	71.6	97.4
100	8.2	12.7	18.1	24.8	32.5	41.0	50.7	61.4	73.0	99.4
102	8.4	12.9	18.5	25.3	33.2	41.8	51.7	62.6	74.3	101.3
104	8.5	13.2	18.9	25.8	33.8	42.6	52.7	63.8	76.0	103.3
106	8.7	13.4	19.2	26.3	34.5	43.4	53.7	65.0	77.4	105.3
108	8.9	13.7	19.6	26.8	35.1	44.3	54.7	66.3	78.9	107.3
110	9.0	13.9	19.9	27.1	35.8	45.1	55.7	67.5	80.0	109.3
112	9.2	14.1	20.3	27.8	36.4	45.9	56.8	68.7	81.8	111.3
114	9.3	14.4	20.7	28.3	37.1	46.7	57.8	69.9	83.3	113.3
116	9.5	14.7	21.0	28.8	37.7	47.5	58.8	71.2	84.7	115.3
118	9.7	15.0	21.4	29.3	38.4	48.4	59.8	72.4	86.2	117.2
120	9.8	15.2	21.8	29.8	39.0	49.2	60.8	73.6	87.6	119.2
122	10.0	15.5	22.1	30.3	39.7	50.0	61.8	74.8	89.1	121.2
124	10.2	15.7	22.5	30.8	40.3	50.8	62.8	76.1	90.5	123.2
126	10.3	16.0	22.8	31.3	41.0	51.6	63.8	77.3	92.0	125.2
128	10.5	16.3	23.2	31.8	41.7	52.5	64.9	78.5	93.5	127.2
130	10.7	16.5	23.6	32.3	42.3	53.3	65.9	79.6	95.0	129.2
132	10.8	16.7	23.9	32.8	43.0	54.1	66.9	81.0	96.4	131.2
134	11.0	17.0	24.3	33.3	43.6	54.9	67.9	82.7	97.9	133.2
136	11.2	17.2	24.7	33.8	44.3	55.7	68.9	83.4	99.3	135.2
138	11.3	17.5	25.0	34.3	44.9	56.6	69.9	84.7	100.8	137.1
140	11.5	17.7	25.4	34.8	45.6	57.4	70.9	85.9	102.2	139.1

APORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas diámetro horizontal en caso. en litro/seg.

Diámetro Horizontal	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
80	103.9	131.6	167.4	196.6	234.5	274.2	318.0	363.6	414.
82	106.5	134.8	166.4	201.4	240.4	281.1	325.9	374.8	424.
84	109.1	138.1	170.3	206.4	246.2	287.9	333.8	383.8	435.
86	111.7	141.4	174.3	211.3	252.1	294.8	341.8	393.1	445.
88	114.3	144.7	178.6	216.2	257.3	301.7	349.7	402.4	456.
90	116.9	148.0	182.6	221.1	263.3	308.5	357.7	411.4	465.
92	119.5	151.3	186.7	226.0	268.7	315.4	365.6	420.5	476.
94	122.1	154.6	190.8	230.9	273.5	322.2	373.8	429.6	487.
96	124.7	157.9	194.8	235.8	278.4	329.1	381.5	438.6	499.
98	127.3	161.2	198.9	240.8	283.2	335.9	389.5	447.9	507.
100	129.9	164.4	202.9	245.7	288.1	342.8	397.4	457.1	516.
102	132.5	167.7	207.0	250.6	293.0	349.6	405.4	466.2	524.
104	135.1	171.0	211.1	255.5	297.8	356.5	413.3	475.3	533.
106	137.7	174.3	215.1	260.4	302.6	363.4	421.3	484.5	549.
108	140.3	177.6	219.2	265.3	307.6	370.2	429.7	493.6	559.
110	142.9	180.9	223.2	270.2	312.4	377.1	437.2	502.8	570.
112	145.5	184.2	227.3	275.2	317.3	383.9	445.1	511.9	579.
114	148.1	187.5	231.4	280.1	322.1	390.8	453.1	521.0	590.
116	150.7	190.8	235.4	285.0	327.0	397.6	461.0	530.2	601.
118	153.3	194.0	239.5	289.9	331.9	404.5	469.0	539.3	611.
120	155.9	197.3	243.5	294.8	336.7	411.3	476.9	548.5	621.
122	158.5	200.6	247.4	299.7	341.6	418.2	484.9	557.8	631.
124	161.1	203.9	251.6	304.6	346.5	425.1	492.8	566.8	642.
126	163.7	207.2	255.7	309.5	351.3	432.0	500.8	575.9	652.
128	166.3	210.5	259.8	314.4	356.1	438.8	508.7	585.0	663.
130	168.9	213.8	263.8	319.4	361.0	445.6	516.7	594.2	673.
132	171.5	217.1	267.9	324.3	365.9	452.5	524.6	603.3	684.
134	174.1	220.3	271.9	329.2	371.2	459.4	532.5	612.5	694.
136	176.7	223.6	276.0	334.1	376.8	466.2	540.5	621.6	704.
138	179.3	226.9	280.1	339.0	381.5	473.1	548.5	630.7	715.
140	181.9	230.1	284.1	343.9	386.4	480.0	556.6	639.9	725.

## AFORO DE TUBOS HORIZONTALES

## TUBOS DESCARGANDO PARCIALMENTE LLENOS

x/y	℥	x/y	℥	x/y	℥	x/y	℥
0.01	0.17	0.27	21.79	0.53	53.82	0.79	84.73
0.02	0.47	0.28	22.92	0.54	55.09	0.80	85.77
0.03	0.88	0.29	24.06	0.55	56.35	0.81	86.77
0.04	1.34	0.30	25.24	0.56	57.63	0.82	87.76
0.05	1.87	0.31	26.41	0.57	58.89	0.83	88.73
0.06	2.44	0.32	27.59	0.58	60.13	0.84	89.67
0.07	3.08	0.33	28.78	0.59	61.40	0.85	90.59
0.08	3.74	0.34	29.98	0.60	62.64	0.86	91.49
0.09	4.46	0.35	31.19	0.61	63.89	0.87	92.36
0.10	5.21	0.36	32.42	0.62	65.13	0.88	93.20
0.11	5.98	0.37	33.64	0.63	66.36	0.89	94.02
0.12	6.80	0.38	34.87	0.64	67.58	0.90	94.79
0.13	7.64	0.39	36.11	0.65	68.81	0.91	95.54
0.14	8.51	0.40	37.36	0.66	70.02	0.92	96.26
0.15	9.41	0.41	38.60	0.67	71.22	0.93	97.00
0.16	10.33	0.42	39.85	0.68	72.41	0.94	97.56
0.17	11.27	0.43	41.11	0.69	73.59	0.95	98.13
0.18	12.24	0.44	42.37	0.70	74.76	0.96	98.66
0.19	13.23	0.45	43.65	0.71	75.94	0.97	99.12
0.20	14.23	0.46	44.91	0.72	77.08	0.98	99.52
0.21	15.27	0.47	46.18	0.73	78.21	0.99	99.83
0.22	16.31	0.48	47.45	0.74	79.34	1.00	100.00
0.23	17.38	0.49	48.73	0.75	80.44		
0.24	18.45	0.50	50.00	0.76	81.54		
0.25	19.54	0.51	51.27	0.77	82.62		
0.26	20.66	0.52	52.55	0.78	83.69		

## BOMBA SUMERGIBLE

Entre los equipos de bombeo de uso menor frecuente para ser empleados en el aforo de pozos se encuentra la bomba sumergible, la cual - está constituida (Fig. 14) principalmente por:

**Bomba-Motor.** - Están unidos por el cuerpo de succión, que constituye la entrada de agua, protegida por un colador de lámina.

La bomba está formada por uno ó varios pasos, integrados cada uno de ellos por una cámara ó carcasa que aloja en su interior un impulsor el cual al girar proporciona energía al agua permitiendo su expulsión al siguiente pozo ó a la tubería de descarga, en ésta se encuentra instalada una válvula check vertical con cuerda.

El motor es eléctrico, para operar a 3 600 rpm, con devanado de cobre aislado a prueba de agua, es el tipo de rotor en corto circuito y opera con una carga de agua en su interior, independiente del agua del pozo para lubricar chumaceras y refrigerar las bobinas.

**Tubería de Descarga.** - Conduce el agua de la bomba a la superficie, está integrada por tramos de tubería, unidos por cople y cuerda.

El empleo de los equipos de bombeo tipo sumergible en el aforo de pozos reúne las siguientes desventajas:

a). - No contar con líneas alimentadoras de energía (electricidad) en el sitio de los trabajos.

## BOMBA SUMERGIBLE

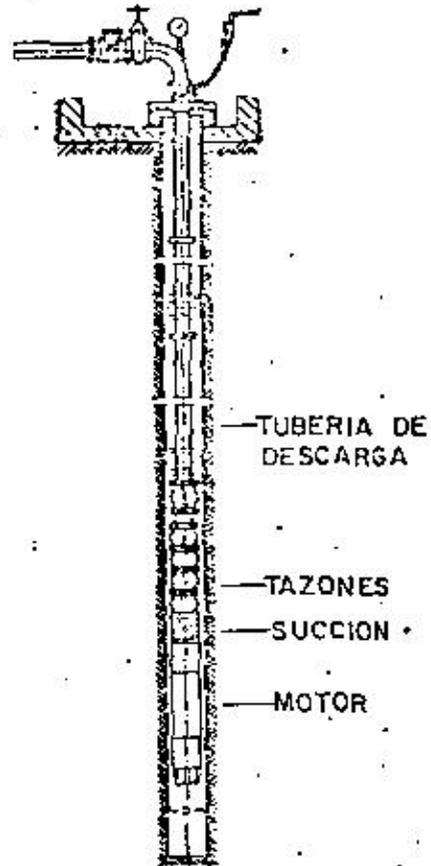


FIGURA No. 14

b).- Depender para su empleo de planta e de luz, limitando la potencia de los motores a la capacidad de las plantas y consecuentemente a bombear gastos reducidos.

c).- No ser posible variar la velocidad del motor, por ser fija constante (nos cuenta con facilidad con reductores de velocidad).

Para estar en condiciones de obtener variaciones de gasto y niveles de bombeo y efectuar el aforo del pozo, se instala en la descarga en la superficie una válvula que permita variar las condiciones mencionadas.

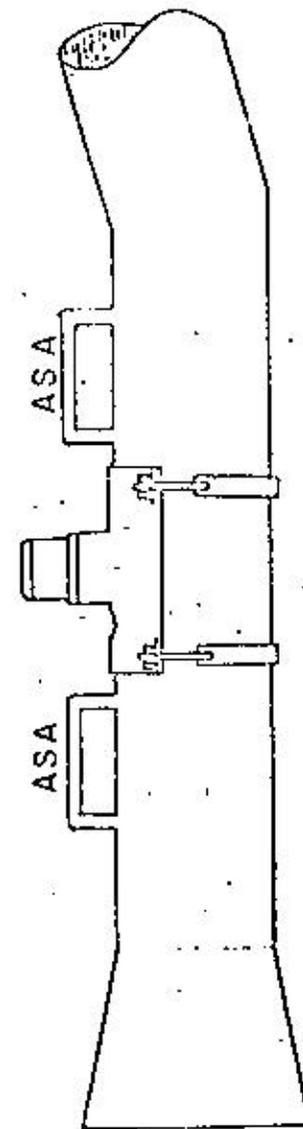
- 4) - Medidor de Flujo. - Existen diferentes marcas de medidores de flujo de baja presión, son compactos y portátiles, instalados sobre un tubo de longitud adecuada al rango del medidor. Este tubo tiene en su extremo de entrada una campana para permitir su conexión al tubo de descarga de la bomba, en su otro extremo tiene soldado un ángulo con descarga hacia arriba, que permite operar el medidor completamente ahogado a su máxima eficiencia (ver Fig. 15).

Se fabrican en diferentes medidas desde 4" hasta 12" de diámetro y para gastos de 3.0 lps. a 126 lps.

Para atorar mediante el empleo del medidor, el procedimiento a seguir es variar la velocidad del motor en escalones de 100 en 100 rpm y en cada uno de ellos medir el gasto que proporciona al medidor en lps, y tomar el nivel de bombeo, la velocidad del motor y el nivel estático antes y después de la prueba. La construcción de la gráfica Gasto-Nivel de Bombeo y su interpretación, así como recuperación del pozo, se sigue la misma secuencia mencionada en el método de orificio.

De acuerdo con los fabricantes el margen de error en las lecturas de gasto es del 2%.

- 5) - Medición en Canal. - Para obtener la medición de gasto de un pozo, mediante el empleo de un canal, es necesaria la construcción de un vertedor el cual puede ser la sección rectangular o triángulo que --



MEDIDOR DE FLUJO

93

que son los más usuales, también se emplea el trapecial ó Cipolletti y deben de reunir para su aplicación los siguientes requisitos:

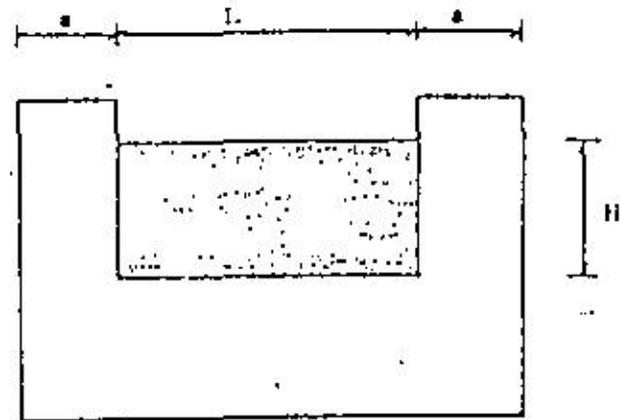
- a). - El canal debe tener cierta pendiente en el punto que se localice el vertedor, para permitir la retención parcial del agua y el derrame sobre el vertedor.
- b). - La cresta del vertedor deberá estar perfectamente horizontal, excepto en el triangular y suficientemente alta para permitir un derrame libre aguas abajo.

Para efectuar una adecuada medición, se deberá tomar en consideración:

- a). - La lectura del tirante de agua sobre la cresta en el vertedor rectangular ó sobre el vértice en el triangular, se deberá tomar aguas arriba del vertedor, donde se tenga un flujo laminar.
- n). - Para la aplicación de las tablas que se anexan, es conveniente que la longitud de la cresta sea de 0.30, 0.90 ó 1.50 m. en el vertedor rectangular ó el ángulo del vertedor triangular sea de 60° ó 90°.

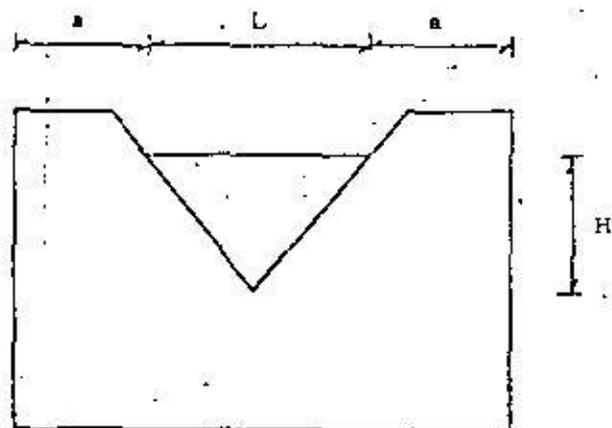
Para determinar el gasto de un pozo en un momento dado, es necesario tomar los siguientes datos en el campo:

- a). - Nivel Estático
- b). - Nivel de Bombeo



$$\text{FORMULA: } Q = 1.84 LIH^{3/2}$$

- Q = Gasto en lts/seg.
- H = Tirante del agua en cm.
- L = Ancho del vertedor en cm.
- L = Debe ser de 4 a 8 veces H.



FORMULA:  $Q = 0.01178 CLH^{3/2}$

- Q = Gasto en lts/seg.  
 C = Constante experimental = -0.57  
 H = Altura del agua a partir del vértice.  
 L = Ancho de la lámina de agua a la altura H.

FIGURA No. 17

- c). - Titante del agua sobre la cresta o vértice.  
 d). - Longitud de la cresta (vértedor rectangular).

Seleccionando las tablas adecuadas al vertedor que se tenga, se obtiene el gasto directamente en l. p. s. entrando con los datos de los incisos c y d mencionados.

Para efectuar el aforo de un pozo, se construye en la descarga del mismo un canal, con la estructura vertedora que se desee en su extremo y se bombea el pozo a diferentes velocidades del motor como en los casos anteriores es conveniente en escalones de 100 a 100 rpm y se toman los datos que se mencionan:

La tabulación de los datos de campo quedaría así:

R. P. M.	N. B. (m)	H (cms)	L (cms)	Gasto (L. P. S.)
1 200	11.00	7.5.	90.00	33.4
1 300	13.20	8.5	90.00	40.3
1 400	14.60	9.0	90.00	43.8
1 500	16.80	9.5	90.00	47.5
1 600	19.20	10.0	90.00	51.1
1 700	21.10	10.5	90.00	55.0
1 800	23.40	11.0	90.00	59.0
1 900	25.30	12.0	90.00	67.0
2 000	25.30	12.0	90.00	67.0

65  
50

DETERMINACION DE GASTOS MEDIANTE EL EMPLEO DE UN  
VENTILADOR RECTANGULAR

El valor "S" que aparece en las tablas indica los lit./seg. que hay que suministrar por cada 30 cms. de aumento en el valor de L. La tabla se dedujo en la fórmula:  $G = 0.0194 (L - Q 2H) \sqrt{H^3}$

H cms.	Longitud 30	L 90	en cms. 150	S.
2	1.5	4.7	7.8	1.6
2.5	1.9	5.7	9.6	1.9
3	2.6	6.6	14.3	2.9
3.5	3.5	10.7	19.9	3.6
4	4.3	13.1	21.9	4.4
4.5	5.1	15.6	26.1	5.3
5	6.0	18.3	30.7	6.2
5.5	6.9	21.1	35.3	7.1
6	7.8	24.0	40.2	8.1
6.5	8.8	27.1	45.4	9.2
7	9.7	30.1	50.5	10.2
7.5	10.7	33.4	56.0	11.3
8	11.8	36.8	61.7	12.5
8.5	12.9	40.3	67.6	13.7
9	14.0	43.8	73.7	14.9
9.5	15.2	47.5	79.8	16.2
10	16.3	51.1	86.0	17.4
10.5	17.5	55.0	92.6	18.8
11	18.7	59.0	99.3	20.2
11.5	19.9	63.0	106.1	21.5
12	21.1	67.0	112.9	23.0
12.5	22.4	71.1	119.9	24.4
13	23.7	75.4	127.2	25.9
13.5	24.9	79.7	134.5	27.4
14	26.2	84.1	141.9	28.9
14.5	27.5	88.5	149.5	30.5
15	28.9	93.0	157.1	32.1
15.5	37.5	97.5	164.8	33.6
16		102.3	172.9	35.3
16.5		106.9	180.9	37.0
17		113.0	191.3	39.2
17.5		116.5	197.3	40.4
18		121.3	205.8	42.2
18.5		126.3	214.2	43.9
19		131.4	222.8	45.7
19.5		136.4	231.4	47.5
20		141.5	240.2	49.4
20.5		146.7	249.2	51.2
21		151.9	258.1	53.1
21.5		157.2	267.2	55.0

H cms.	Longitud 80	L 90	en cms. 150	S.
22		162.6	276.5	57.0
22.5		167.8	285.6	58.9
23		173.4	295.2	60.9
23.5		178.8	304.6	62.9
24		184.4	314.2	64.9
24.5		190.3	324.4	67.1
25		195.2	332.9	68.9
26		206.0	351.7	72.9
27		217.9	372.5	77.3
28		229.8	393.2	81.7
29		241.6	413.7	86.1
30		253.5	436.0	91.3
31		265.8	456.1	95.2
32		277.5	476.6	99.6
33		288.7	499.2	105.3
34		304.8	524.5	109.9
35		315.4	543.3	114.0
36		329.1	567.5	119.2
37		341.6	589.8	124.1
38		354.8	613.2	129.2
39		367.5	635.8	134.1
40		381.7	661.0	139.7
41		395.1	684.9	144.9
42		408.4	708.7	150.2
43		422.4	733.7	155.7
44		436.3	758.7	161.2
45		450.1	783.5	166.7
46		463.3	808.3	172.2
47		480.0	837.3	178.7
48		491.2	857.7	183.3
49		505.4	883.5	189.1
50		520.3	910.6	195.1

DETERMINACION DE GASTOS MEDIANTE UN EMPLEO  
DE UN VERTEDOR TRIANGULAR

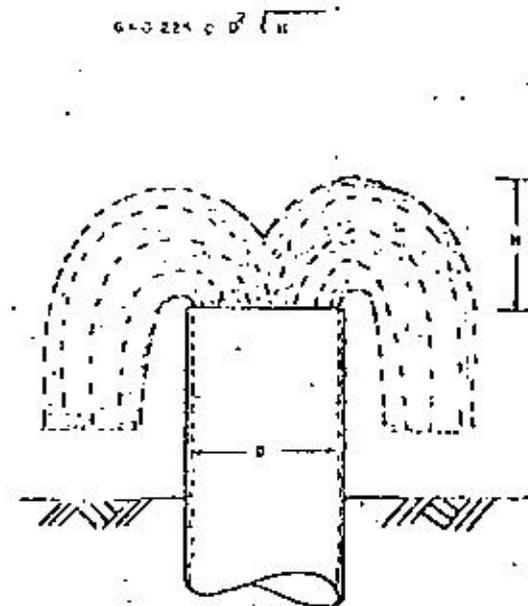
H cms.	Gasto 90°	lts/seg. 60°
2.0	0.06	0.04
2.5	0.13	0.08
3.0	0.21	0.12
3.5	0.33	0.19
4.0	0.43	0.24
4.5	0.58	0.33
5.0	0.75	0.43
5.5	0.93	0.55
6.0	1.18	0.68
6.5	1.44	0.83
7.0	1.74	1.00
7.5	2.07	1.19
8.0	2.43	1.40
8.5	2.84	1.64
9.0	3.26	1.88
9.5	3.73	2.15
10.0	4.23	2.45
10.5	4.80	2.77
11.0	5.38	3.11
11.5	6.01	3.47
12.0	6.70	3.86
12.5	7.42	4.28
13.0	8.18	4.72
13.5	9.00	5.19
14.0	9.85	5.68
14.5	10.76	6.21
15.0	11.70	6.75
15.5	12.70	7.33
16.0	13.75	7.93
16.5	14.85	8.57
17.0	16.01	9.23
17.5	17.22	9.93
18.0	18.45	10.65
18.5	19.74	11.39
19.0	21.12	12.18
19.5	22.58	13.03
20.0	24.04	13.87
20.5	25.57	14.75
21.0	27.17	15.68
21.5	28.78	16.61
22.0	30.46	17.58

H cms.	Gasto 90°	lts/seg. 60°
22.5	32.21	18.59
23.0	33.89	19.56
23.5	35.91	20.72
24.0	37.93	21.88
24.5	39.95	23.05
25.0	41.96	24.21
26.0	46.40	26.77
27.0	50.84	29.33
28.0	55.68	32.13
29.0	60.69	35.08
30.0	66.31	38.26
31.0	71.55	41.28
32.0	77.74	44.65
33.0	83.93	48.42
34.0	90.52	52.22
35.0	97.24	56.10
36.0	104.64	60.37
37.0	112.04	64.64
38.0	119.44	68.93
39.0	127.36	73.64
40.0	135.85	78.38
41.0	144.18	83.19
42.0	153.46	88.54
43.0	162.48	93.74
44.0	172.27	99.41
45.0	182.65	105.38
46.0	192.60	111.17
47.0	203.23	117.25
48.0	214.12	123.54
49.0	225.83	130.29
50.0	237.80	137.70
51.0	249.50	143.95
52.0	261.67	151.09
53.0	274.36	158.30
54.0	287.16	165.68
55.0	301.28	173.82
56.0	316.08	182.36
57.0	329.53	190.12
58.0	344.32	198.66
59.0	359.12	207.19
60.0	373.91	215.73

## 6. - FONDO DE POZOS RECTANGULARES.

H Cms.	DIAMETROS DE TUBOS							
	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"
7	2.12	4.06	8.19	13.10	18.86	25.57	34.22	57.75
8	2.27	5.04	8.86	14.16	20.16	27.44	36.96	62.26
9	2.40	5.35	9.40	15.02	21.63	29.44	39.74	66.15
10	2.56	5.76	10.02	15.83	23.05	31.38	42.80	70.43
11	2.69	6.05	10.51	16.79	24.45	33.28	45.36	74.63
12	2.84	6.31	10.97	17.54	25.81	35.14	47.89	77.94
13	2.99	6.65	11.68	18.26	26.87	36.58	48.95	81.95
14	3.10	6.90	12.12	18.95	28.19	38.37	52.27	85.04
15	3.24	7.22	12.55	19.83	29.49	40.14	54.66	88.01
16	3.35	7.45	13.10	20.48	30.46	41.46	56.45	91.80
17	3.49	7.76	13.51	21.11	31.39	43.18	58.78	94.62
18	3.63	7.99	13.90	21.96	32.31	44.44	60.49	97.38
19	3.73	8.21	14.28	22.56	33.54	45.65	62.77	100.04
20	3.82	8.42	14.81	23.14	34.41	46.80	64.40	102.63
22	4.01	8.93	15.53	24.53	36.09	49.64	67.54	107.64
24	4.19	9.33	16.23	25.63	37.70	51.85	70.55	112.43
26	4.41	9.81	16.89	26.67	39.65	54.53	73.43	117.02
28	4.51	10.18	17.72	27.98	41.15	56.55	76.20	121.45
30	4.78	10.54	18.34	28.96	43.03	58.57	79.66	125.70
32	4.94	10.88	18.94	29.91	44.45	60.50	82.28	129.83
34	5.14	11.34	19.73	30.83	45.81	63.00	84.51	133.82
36	5.29	11.66	20.30	31.73	47.14	64.83	87.26	137.70
38	5.44	11.98	20.86	32.94	48.43	66.60	89.65	141.46
40	5.64	12.30	21.40	33.80	49.70	68.34	91.99	145.16
42	5.77	12.60	21.93	34.63	50.92	70.03	94.26	148.74
44	5.91	12.89	22.45	35.45	52.12	71.67	96.47	152.23
46	6.04	13.18	23.19	36.24	53.29	73.28	98.11	155.65
48	6.17	13.47	23.69	37.02	54.43	74.86	100.75	159.00
50	6.30	13.89	24.18	38.18	55.56	76.40	102.84	162.28
55	6.61	14.57	25.36	40.05	58.87	80.95	107.86	170.70
60	6.90	15.21	26.49	41.83	61.49	84.55	112.66	177.77
65	7.18	15.84	27.58	43.54	64.00	88.01	117.27	185.05
70	7.45	16.43	28.92	45.18	66.42	91.33	121.69	192.02
75	7.79	17.19	29.53	46.76	68.74	94.52	125.95	198.75
80	8.05	17.75	30.91	48.30	71.00	97.62	130.08	205.26
85	8.30	18.30	31.86	49.79	73.19	100.64	134.10	211.60
90	8.54	18.83	32.79	51.23	75.31	103.55	137.98	217.73
95	8.77	19.35	33.69	52.63	77.37	106.39	141.76	223.69
100	9.09	19.85	34.56	54.00	79.38	109.15	145.44	229.50

## MEDICION DE POZO BROTANTE



- Q = GASTO EN LITROS SEGUNDO  
 C = CONSTANTE EXPERIMENTAL  
 D = DIAMETRO INTERIOR DEL TUBO EN PULGADAS  
 H = ALTURA DEL CHORRO EN CENTIMETROS

FIGURA 15.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PRECIOS UNITARIOS

ABRIL, 1984

## PRECIOS UNITARIOS

La Industria de la Construcción como tal, necesita de varios elementos para su operación, dentro de los cuales destaca por su importancia, la función desarrollada por el Departamento de Costos, ya que de él depende el conocimiento del valor de venta de sus productos, esto es los precios unitarios, por su forma tan particular de operar, la Industria de la Construcción es la única que para lograr la aprobación del valor de sus productos, tiene que demostrar el costo de los mismos, razón por la cual el conocimiento de ellos es fundamental para la vida de las Empresas del ramo.

Para poder realizar el análisis de costo directo de cualquier clase de construcción, intervienen en ella 3 conceptos básicos, a saber; Mano de Obra, Maquinaria y Materiales.

Podemos exponer a grandes rasgos que existen dos clases de actividades perfectamente definidas dentro de la Industria de la Construcción, las llamadas de Construcción Urbana y las de Construcción Pesada.

Para cada una de ellas los análisis de costos son diferentes, en cuanto a que en la primera de ellas el orden de importancia por su costo es; la mano de obra y los materiales ó viceversa, y en tercer lugar la maquinaria, en tanto que para la Construcción Pesada el mayor costo, depende de la maquinaria y el segundo y tercer lugar son ocupados por la mano de obra y los materiales en forma alternada dependiendo del tipo específico de las construcciones, en ambas actividades el concepto de la mano de obra es idéntico por lo que para fines de presentación procederemos a la obtención del factor de mano de obra, mismo que a continuación señalamos :

Días del año = 365

Días señalados por la Ley Federal del trabajo no laborables y sufragados por la Empresa, 1° de Enero, 21 de Marzo, 1° de Mayo, 16 de Septiembre - - 20 de Noviembre, 1° de Diciembre de cada 6 años, 25 de Diciembre, 6 días de vacaciones más prima del 25 %, todos los días domingo del año, otras festividades ( 3 de Mayo, 10 de Mayo, 2 de Noviembre y 12 de Diciembre).

En resumen, días pagados no laborados :

Por la Ley Federal del Trabajo	=	6
Domingos	=	52
Vacaciones	=	7.5
Otras Festividades	=	4
		<hr/>
		69.5

365 - 69.5 = 295.5 días efectivos por año.

2

Por concepto de Seguro Social las Empresas tienen que cubrir por cuotas, aproximadamente el 20 % del Salario del trabajador, por lo que el factor de mano de obra será :

$$\text{Factor de Mano de Obra} = \frac{365}{295.5} \times 1.20 = 1.48$$

Para facilidad de esta exposición estamos complementándola con el análisis de un precio unitario para perforación de pozos de agua, actividad que está contemplada dentro de lo que es la construcción pesada.

En relación al ejemplo que presentaremos más adelante, mencionaremos el criterio seguido para la cuantificación del factor de indirectos y utilidad en porcentaje sobre el costo directo.

Porcentaje de Indirectos ( Administración ) y Utilidad.

1.- Traslado de equipo, construcción de oficinas, bodegas y talleres.	3
2.- Administración de campo.	6
3.- Construcción caminos y conservación.	3
4.- Transporte de personal y equipo.	2
5.- Bonificaciones al personal.	2
6.- Financiamiento y fianzas.	7
7.- Administración oficinas centrales e impuestos.	12
8.- Utilidad después de impuestos.	<u>10</u>
	45 %

A continuación presentamos el análisis de renta horaria de equipo de perforación trabajando, de este mismo y, como posteriormente indicaremos se obtienen todos los precios unitarios relativos a la perforación de pozos.

I.- Maquinaria y equipo :

- a).- Perforadora rotaria tipo 1,500 con bomba de lodos tipo 5 1/2 X 8 montada sobre la misma plataforma, con motor diesel de 145 HP.
- b).- Camión pipa para 8,000 litros con motor de gasolina de 150 HP.
- c).- Motosoldadora de 300 amperes con motor de gasolina de 60 HP.

II.- Determinación de la renta horaria.

II a).- Perforadora :

Valor de adquisición.	Va = \$ 45'250,000.00
Valor de rescate.	Vr = 20 % Va = \$ 9'050,000.00
Horas por año.	Ha = 2,000
Vida económica.	Ve = 6 años x 2,000 hr/año = 12,000 horas.
Tasa de interés anual.	i = 42 %
Factor de operación.	Fo = 0.80
Potencia de Operación.	PO = 145 x 0.80 = 116 HP
Capacidad carter.	C = 28 litros
Horas cambio aceite.	t = 100
Prima anual de seguros.	s = 0.006
Factor de almacenaje.	Ka = 0.01
Factor de mantenimiento.	Q = 0.80
Consumo diesel HP/hr.	c = 0.1514 . PO
Consumo aceite HP/hr.	a = 0.0035 . PO

Precio diesel.  
Precio aceite.

Pc = \$ 14.00 / lt.  
PL = \$ 90.00/lt.

3

**C A R G O S F I J O S :**

Depreciación	$D = (Va - Vr) / Ve = ( \$ 36'200,000.00 ) / 12,000 = \$$	3,016.67/hr
Inversión	$I = (Va + Vr) i/2 Ha = \$ 54'300,000.00 \times 0.42 / 4,000 = \$$	5,701.50/hr
Seguros	$S = (Va + Vr) s/2 Ha = \$ 54,300,000.00 \times 0.006 / 4,000 = \$$	81.45/hr
Almacenaje	$A = Ka. D = 0.01 \times \$ 3,016.67 - - - - - = \$$	30.17/hr
Mantenimiento	$T = Q. D = 0.80 \times \$ 3,016.67 - - - - - = \$$	2,413.34/hr
	<b>Suma de cargos fijos</b>	<b>\$ 11,243.13/hora</b>

**CARGOS POR CONSUMOS :**

Combustible	$E = c. PL = 0.1514 \times 116 \times \$ 14.00 - - - - - = \$$	245.87/hr
Lubricantes	$L = (a + \frac{C}{t}) \$ 90.00 = ( 0.0035 \times 116 + \frac{28}{100} ) \$ 90.00 = \$$	61.74/hr
	<b>Suma de consumos</b>	<b>\$ 307.61/hr</b>
	<b>Suma la perforadora:</b>	<b>\$ 11,550.74/hora</b>

**II b).- Equipo Auxiliar :**

	Camión Pipa	Motosoldadora
Va =	\$ 2'100,000.00	\$ 620,000.00
Vr =	\$ 420,000.00	\$ 124,000.00
Ha =	2,000	2,000
Ve =	8,000	8,000
i =	42 %	42 %
HP =	150	60
Fo =	0.70	0.70
PO =	105 HP	42 HP
C =	10 litros	5 litros
t =	100 horas	100 horas
s =	0.006	0.006
Ka =	0.01	0.01
Q =	0.70	0.70
c =	0.2271 . PO	0.2271 . PO
a =	0.003 . PO	0.003 . PO
PL =	\$ 24.00 / lt	\$ 24.00 / lt
PL =	\$170.00 / lt	\$170.00 / lt

Por facilidad sumaremos valores del equipo auxiliar

D =	$(\$ 2'720,000.00 - \$ 544,000.00) / 8,000 - - - - - = \$$	272.00/hr
T =	$(\$ 2'720,000.00 + \$ 544,000.00) 0.42 / 4,000 - - - = \$$	342.72/hr
S =	$\$ 3'264,000.00 \times 0.006 / 4,000 - - - - - = \$$	4.90/hr
A =	$0.01 \times \$ 272.00 - - - - - = \$$	2.72/hr
T =	$0.70 \times \$ 272.00 - - - - - = \$$	190.40/hr
		<b>\$ 812.74/hr</b>
E =	$0.2271 \times 147 \times \$ 24.00 - - - - - = \$$	801.21/hr
L =	$( 0.003 \times 147 + \frac{15}{100} ) \$ 170.00 - - - - - = \$$	100.47/hr
		<b>\$ 901.68/hr</b>

Suma el equipo auxiliar \$ 1,714.42 / hora.



Factor de incidencia = 0.65

Cargo por equipo auxiliar = 0.65 x \$ 1,714.42- - - - - = \$ 1,114.37/...

MANO DE OBRA :

- 1 Jefe de Pozo - - - - - \$ 1,800.00 / dia
- 2 Perforistas - - - - - \$ 2,500.00 / dia
- 1 Soldador- - - - - \$ 800.00 / dia
- 1 Chofer - - - - - \$ 800.00 / dia
- 4 Ayudantes - - - - - \$ 1,800.00 / dia

\$ 7,700.00 / dia x 1.48 = \$ 11,396.00 / dia.

Cargo por Maquinaria = \$ 11,550.74 / hr + \$ 1,114.37 / hr - - - = \$ 12,665.11/hr

Cargo por mano de Obra = \$ 11,396.00 x 365 / 2,000 - - - - - = \$ 2,079.77/hr

Costo horario equipo de perforación : \$ 14,744.88/hr

Precio unitario del concepto perforación de pozo en 12" de diámetro en material clase-II por metro lineal :

Cargo por barrena = \$ 140,000.00 / 200 m = \$ 700.00 / m

Avance = 1.80 mts. / hr

Cargo por maquinaria = \$ 14,744.88 / 1.80 - - - - - = \$ 8,191.60/

Cargo por barrena - - - - - = \$ 700.00/m

Costo Directo : \$ 8,891.60/m

Precio Unitario = \$ 8,891.60 x 1.45 = \$ 12,892.82 / m.

Del ejemplo presentado diremos que el análisis efectuado es el tradicionalmente utilizado, y los factores ahí indicados son los aceptados por las Dependencias Federales, factores como los de seguros, almacenaje, mantenimiento, consumos de combustibles y lubricantes, etc.

Hasta ahora hemos visto el criterio general para los análisis de precios unitarios vigentes en la presentación de presupuestos para la construcción de obras, ya sea por adjudicación ó por concurso, una vez aprobados estos presupuestos y debido a los fuertes incrementos en los precios de todos los conceptos que integran los costos de construcción, los precios unitarios originales deberán actualizarse constantemente, -- las Dependencias Oficiales han aceptado que cada vez que haya un incremento de precios mayores del 5 %, dichos precios unitarios deberán modificarse (actualmente y basados en los índices del Banco de México el incremento mensual es de aproximadamente del 6 %), para lo cual cada Dependencia en base al tipo de obra que ejecutan han elaborado una serie de fórmulas de escalación, cuyo principio, es el que a continuación presentamos :

$$Rt = \left[ C1 \left( \frac{Rcf}{100} + 1 \right) + C2 \left( \frac{Rs}{100} + 1 \right) + C3 \left( \frac{Rcl}{100} + 1 \right) + C4 \left( \frac{Rmh}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

- En donde :
- Rt = Factor de incremento ó de actualización.
  - C1 = Componente de costos por cargos fijos.
  - C2 = Componente de costos por salarios.
  - C3 = Componente de costos por combustibles y lubricantes.
  - C4 = Componente de costos por materiales y herramientas.
  - Rcf = Incremento de costo relativo a cargos fijos.
  - Rs = Incremento de costo relativo a salarios.
  - Rcl = Incremento de costo relativo a combustibles y lubricantes.
  - Rmh = Incremento de costo relativo a materiales y herramientas.

Se debe cumplir que :  $C1 + C2 + C3 + C4 = 100$

El valor ó "peso" de los factores "C" dependerán de la importancia relativa de los diferentes elementos de insumos de la construcción, en la magnitud que estos hayan intervenido durante el período que se pretenda actualizar.

Ejemplo : Para un contrato obtenido mediante concurso de obra pública el 1º de Enero de 1975; relativo a la perforación de pozos profundos para suministro de agua potable para riego agrícola, obtener el factor de incremento al 1º de Enero de 1976.

1.- Cargos Fijos : De datos de concurso el costo del equipo fué de \$ 8'193,199.20, actualizando precios al 1º de Enero de 1976 se tiene un costo para el mismo equipo de \$ 10'348,829.91.

Por lo que  $Rcf = \$ 10'348,829.91 / \$ 8'193,199.20 = 1.2631 = 26.31 \%$ .

2.- Salarios : El índice de salarios se tomó de la publicación "Comisión Nacional de los Salarios Mínimos", el cual para al año de 1975 era de \$ 47.10 y a partir del 1º de Enero de 1976 era de \$ 58.20.

$Rs = \$ 58.20 / \$ 47.10 = 1.2357 = 23.57 \%$ .

3.- Combustibles y Lubricantes : No hubo incrementos.

$Rcl = 0$

4.- Materiales y Herramientas : Los índices de incremento se tomaron de la publicación "Indicadores Económicos" editada por el Banco de México, S. A.

Del renglón de Materiales para Construcción tenemos :

Enero 1975 = 299.3

Enero 1976 = 354.3



$$R_{mh} = 354.3 / 299.3 = 1.1837 = 18.37 \% .$$

Fórmula de escalación aprobada para este tipo de trabajos :

$$R_t = \left[ 73 \left( \frac{R_{cf}}{100} + 1 \right) + 12 \left( \frac{R_s}{100} + 1 \right) + 5 \left( \frac{R_{cl}}{100} + 1 \right) + 10 \left( \frac{R_{mh}}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

Sustituyendo valores, tenemos :

$$R_t = \left[ 73 \left( \frac{26.31}{100} + 1 \right) + 12 \left( \frac{23.57}{100} + 1 \right) + 5 \left( \frac{0}{100} + 1 \right) + 10 \left( \frac{18.37}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

$$R_t = ( 19.21 + 73 + 2.83 + 12 + 5 + 1.84 + 10 ) - 100 = 123.68 - 100$$

$$R_t = 23.88 \%$$

Como punto final a esta presentación y remarcando lo que se dijo al principio de la misma, la Industria de la Construcción, es la única cuyos costos tienen que ser debidamente comprobados por las Empresas y aprobados por el Cliente de tal manera que las utilidades de las mismas son conocidas con bastante exactitud por lo que definitivamente estamos al margen de cualquier tipo de especulación; es para reflexionar el hecho de que si todas las actividades comerciales susceptibles de hacerlo, llevaran un control de costos, y se disciplinaran a presentar los análisis de precios correspondientes muy probablemente se ayudaría a resolver en parte el fenómeno económico que vivimos, en virtud de que se adquirirían los productos y servicios a precios justos, ó al menos con pleno conocimiento de honradez de los mismos.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EQUIPOS DE BOMBEO, SELECCION

ING. LUIS MATUS ZARATE

ABRIL, 1984

## EQUIPOS DE BOMBEO VERTICALES TIPO TURBINA

Las bombas, en sus diferentes tipos o diseños, pueden ser utilizadas para el bombeo de pozos profundos, lagunas, ríos, sumideros, -- cárcamos, torres de enfriamiento, tuberías de alimentación o sustancias químicas, etc, pudiendo operar con fluidos corrosivos o altamente contaminados, por lo que tienen muchas aplicaciones y su correcta selección para un trabajo determinado dependen de las condiciones de servicio y de los niveles de bombeo, así por ejemplo, en las regiones donde las lluvias son escasas y donde las corrientes de agua superficiales no existen, el bombeo -- de aguas subterráneas se hace necesario y a veces indispensable utilizando para tal fin las bombas verticales tipo turbina y cuando la fuente de captación es un depósito de agua, lagos o arroyos y en general cuando el nivel -- de bombeo es menor de 3.0 m. se utilizan las bombas horizontales tipo -- turbina.

### BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA:

La Bomba vertical tipo turbina conocida también como de pozo profundo, se compone principalmente de las siguientes partes:

1. - Colador
2. - Tubo de succión
3. - Cono de succión
4. - Cuerpo de Tazones
5. - Cono de descarga

6. - Tubería de columna
7. - Flecha
8. - Tubo Cubreflecha
9. - Cabezal de descarga
10. - Tubo de descarga

1. - COLADOR. - Puede ser de tipo cónico o de canasta, de alambre galvanizado y de diferentes diámetros, debe tener un área efectiva para la entrada del agua igual a 4 veces el área del tubo de succión al cual -- va acoplado y su función es la de impedir el paso de sólidos que puedan da-- ñar a los tazones.

2. - TUBO DE SUCCION. - Es un tubo de acero, con roscas en ambos extremos y va acoplado por la parte inferior con el colador y por la superior con el cono de succión del primer tazón, generalmente es del -- mismo diámetro que la tubería de columna y con longitud de 1.5 a 3.0 m. La función de este tubo es la de disminuir la velocidad del líquido lo suficiente para permitir la sedimentación de las partículas de mayor peso específico. En aquellos pozos que arrojan arena, actúa como un desarenador.

3. - CONO DE SUCCION. - El cono de succión o cono de entra -- da, es una pieza de acoplamiento entre el primer tazón y el tubo de succión, este acoplamiento puede ser por medio de cuerdas o por brida dependiendo -- de cada fabricante, se construye de hierro y sirve como puerto de entrada de los fluidos a los tazones.

4. - T A Z O N. - La mayoría de las Empresas -- que fabrican bombas verticales tipo turbina, han formulado sus propias especi -- ficaciones y bajo las mismas han fabricado sus modelos de tazones para que

funcionen con eficiencia ante cualquier combinación de gasto y carga, la diferencia que existe entre los equipos de bombeo ofrecidos por los fabricantes está precisamente en el diseño de los tazones, siendo éste además la única parte que normalmente fabrican ya que las demás las adquieren con los diversos proveedores.

Un tazón es una carcasa de hierro fundido con álabes directrices fundidos sobre sus paredes internas, estos álabes son los encargados de guiar a la parte superior del tazón la corriente de agua impulsada por los álabes móviles del impulsor convirtiendo así la energía cinética en presión.

a). - Primer tazón. - Se compone de un tazón acoplado al cono de succión ó entrada y se localiza después del tubo de succión y su función es la de descargar el fluido a la columna de bombeo ó a un tazón intermedio.

b). - Tazón intermedio. - En su fabricación es igual al primer tazón, excepto que carece de succión y su función consiste en recibir el fluido bombeado por el primer tazón y descargarlo a otro inmediato superior.

c). - Tazón superior o de descarga. - Es el tazón que se encuentra junto a la columna de bombeo, está formado por un tazón y un cono de descarga, en su fabricación es exactamente igual al primer tazón y al tazón intermedio y tiene como función descargar y guiar el fluido bombeado al interior de la columna de bombeo.

d). - Cuerpo de tazones. - Puede estar formado por un primer tazón únicamente o bien por un primer tazón, uno ó varios intermedios, denominándose al primer caso cuerpo de tazones de un paso y al segundo, de 2, 3, etc. pasos.

e). - Impulsor. - Cada tazón, el primero, el intermedio o el superior, contiene un impulsor, el cual va mecánicamente conectado a la flecha de impulsores, constituye el elemento básico de bombeo, recibe el líquido a bombear y lo impulsa hacia los álabes directrices del tazón, los más usuales son los del tipo semiabierta y cerrada, de los cuales los distintos fabricantes tienen una gran variedad para poder cubrir una amplia gama de gastos y cargas. Generalmente se fabrican de hierro o bronce.

f). - Impulsor semiabierta. - El impulsor semiabierta se acostumbra usar cuando el líquido a bombear tiene una densidad mayor que la del agua, tales como aguas negras, sustancias químicas, etc., y en general en aquellos líquidos que contengan en suspensión materiales de grandes dimensiones, debido a que se tiene la idea de que los impulsores tipo cerrado se atascan con el manejo de esta clase de líquidos y los semiabiertos su posición se puede ajustar dentro del tazón para que los sólidos en suspensión causen menor desgaste.

Con los impulsores tipo semi abiertos, se puede variar el gasto hidráulico, dentro de límites del 15% aproximadamente en más ó en menos, en relación al gasto óptimo de bombeo.

Siempre disminuirá la eficiencia del impulsor, a partir de su

punto de máxima eficiencia, al variar en más ó menos el gasto de bombeo.

Lo anterior se debe a que la máxima eficiencia de un impulsor, sólo podrá variar en sentido descendente porque durante el funcionamiento de los impulsores semi abiertos, hay un retroceso del fluido debido a que en el tazón existe una zona de alta presión en un extremo y de baja en el otro, en la inferior se forma la zona de succión, la que obliga a una parte del fluido que es impulsado hacia arriba a regresar formando remolinos, originando la disminución de la eficiencia del impulsor.

Este retroceso aumenta a medida que se separa más el impulsor de su asiento y ocasiona, cuando la bomba tiene que trabajar en líquidos con materiales en suspensión y sobre todo cuando se trata de agua con arena, más desgaste en los álabes tanto del impulsor como del tazón.

g). - Impulsor cerrado. - Con este tipo de impulsor no es posible regular la eficiencia ya que las zonas de alta y baja presión del tazón no se comunican entre sí, sino que están separadas por el impulsor, el cual cierra la cámara de baja presión que le corresponde, siendo el flujo constante hacia arriba y sin retroceso.

Quando los impulsores cerrados van acoplados a bombas accionadas con motores de combustión interna y variamos la velocidad del impulsor, varía el gasto y la potencia y se conserva constante la eficiencia de la bomba. En los impulsores semiabiertos no es posible mantener constante la eficiencia de la bomba.

Selección del impulsor. - Para un trabajo determinado, la mejor selección del modelo de impulsor es el que funcione con máxima eficiencia. Desafortunadamente esto se logra rara vez porque para cada modelo de impulsor existe un punto en donde la combinación gasto - carga obtiene

la máxima eficiencia; dado que es imposible para los fabricantes diseñar y construir bombas para cada tipo de operación, han fabricado impulsores - estándar que abarcan diferentes condiciones de gasto y carga, existiendo - por esta razón una gran variedad de modelos donde siempre hay la posibilidad de seleccionar uno que se adapte a las características de explotación - con una eficiencia muy cercana al máximo.

En la selección de un modelo de impulsor, el gasto y la eficiencia son los factores determinantes, pues aún cuando dos modelos de impulsores sean del mismo diámetro, no están diseñados para proporcionar - la misma eficiencia, ni consumen la misma potencia, aún cuando por ser -- del mismo diámetro su costo es el mismo.

Por otra parte, la carga dinámica total no interviene en la -- selección del modelo de impulsor, pero es el factor determinante para elegir el número de pasos.

Curvas características de los impulsores. - La mayoría de las Empresas que fabrican las bombas verticales tipo turbina, han formulado sus propias especificaciones y bajo las mismas han fabricado sus modelos de impulsores para que funcionen con eficiencia ante cualquier combinación de gasto y carga, dentro de estas especificaciones se encuentran las -- curvas características de los impulsores, mismas que han sido calculadas en las fábricas después de pruebas exhaustivas y a base de cuidadosa medición del gasto, presión, energía recibida y velocidad del impulsor.

En las curvas de Gasto - Carga se observa:

1o. el gasto y la carga dependen de la velocidad, diámetro y espesor del impulsor. Si se mantiene constante la velocidad entre dos impulsores del mismo diámetro, el que tenga mayor espesor proporcionará - mayor gasto. La carga depende del diámetro exterior del impulsor, al reducir un impulsor se disminuye su diámetro exterior, con lo cual se reduce la carga. El efecto de cambio del diámetro exterior es para disminuir la velocidad periférica del impulsor y tiene exactamente el mismo efecto que si se reduce la velocidad rotativa sin alterar el diámetro.

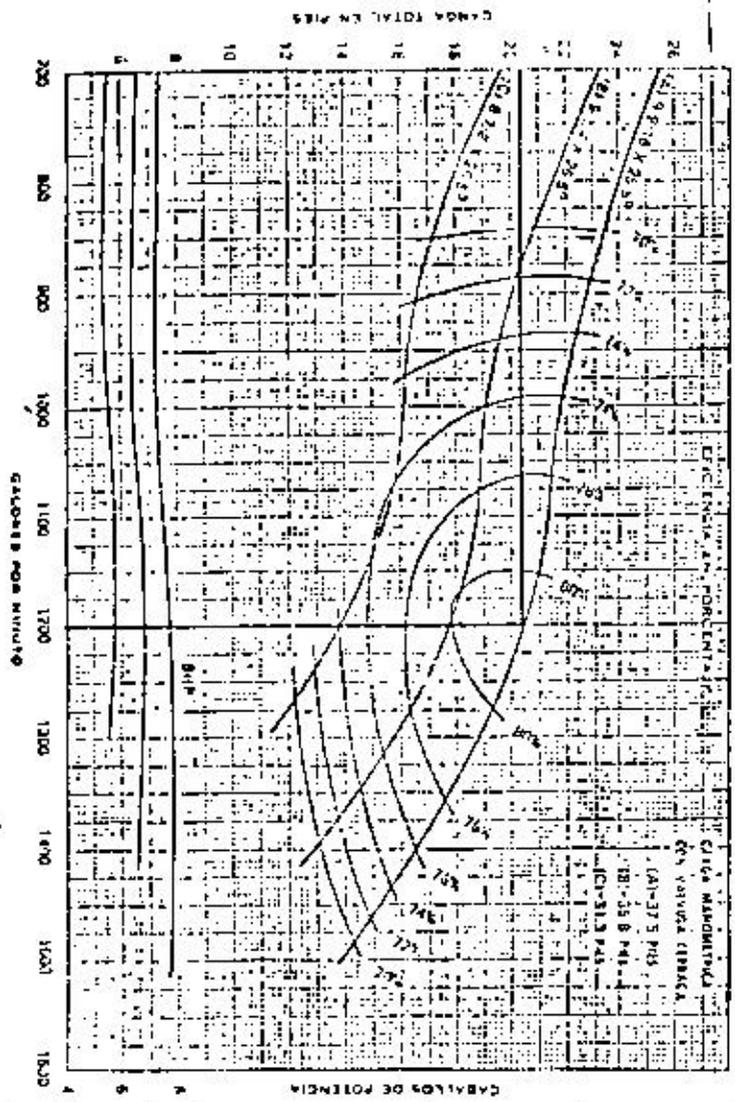
2o. - La potencia, es función del gasto, la carga y la eficiencia del impulsor.

3o. - Si el diámetro del impulsor permanece constante, al -- cambiar la velocidad del impulsor, el gasto cambiará en razón directa, la - carga en relación al cuadrado y la potencia en relación al cubo del cambio de velocidad, o sea:

$$\frac{\text{rpm } 1}{\text{rpm } 2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{C_1}}{\sqrt{C_2}} = \frac{\sqrt[3]{HP_1}}{\sqrt[3]{HP_2}}$$

#### Ejemplo:

El impulsor modelo 12 X C (Fig. 1), proporciona a la velocidad de 1160 rpm un gasto de 75.71 lps (1200 gpm), contra una carga de 6.22 m ( 20.4 pies) y requiere 7.8 HP para vencerla. ¿Cuáles serán las nuevas condiciones si se opera a 1760 rpm?



JACUZZI-UNIVERSAL S.A.  
MONTREY, N. L.



CURVA DE RENDIMIENTO PARA BOMBA TURBINA

La relación de las velocidades será:

$$\frac{1760 \text{ rpm}}{1160 \text{ rpm}} = 1.52$$

El gasto cambia en proporción directa:

$$75.71 \times 1.52 = 115.08 \text{ lps. (1824 gpm)}$$

La carga cambia en relación al cuadrado de la velocidad:

$$1.52^2 \times 6.22 = 14.37 \text{ m (47.13 pies)}$$

La potencia cambia en relación al cubo de la velocidad:

$$1.52^3 \times 7.8 = 27.38 \text{ HP}$$

Lo anterior se comprueba en la curva de la figura No. 2.

40. - Si la velocidad permanece constante, al cambiar el diámetro del impulsor, el gasto cambiará en razón directa, la carga en relación al cuadrado y la potencia en relación al cubo del cambio del diámetro, esto es:

$$\frac{d1}{d2} = \frac{Q1}{Q2} = \frac{\sqrt{C1}}{\sqrt{C2}} = \frac{\sqrt[3]{HP1}}{\sqrt[3]{HP2}}$$

Ejemplo:

Un impulsor de 242.88 mm (9 9/16") de diámetro proporcional a una velocidad de 1760 rpm, un gasto de 115.08 lps (1824 gpm), contra una carga de 14.37 m (47.13 pies) y consume una potencia de 27.38 HP para moverlo, ¿Cuáles serán las nuevas condiciones de operación si se cambia el diámetro a 225.42 mm (8 7/8")?

FIGURA No. 1

<p>El cambio de eficiencia puede efectuarse en caso de cambio de velocidad.</p> <p>Con 1664 116 rpm Nom. Impulsor 225.42 mm Número 218</p> <p>Con 1664 176 rpm Nom. Impulsor 242.88 mm Número 218</p>	<p>El rendimiento para bombeo en proporción directa al cambio de velocidad. Ejemplo: Si el rendimiento es 80% a 1760 rpm y 1160 rpm, al cambiar a 1160 rpm, el rendimiento será 80% x (1160/1760) = 64.29%.</p>
<p>RENDEMIENTO POR VELOCIDAD</p> <p>Velocidad: 1760 rpm Rendimiento: 80%</p> <p>Velocidad: 1160 rpm Rendimiento: 64.29%</p>	<p>RENDEMIENTO POR DIÁMETRO</p> <p>Diámetro: 242.88 mm Rendimiento: 80%</p> <p>Diámetro: 225.42 mm Rendimiento: 64.29%</p>

12XC  
SICOM  
2130  
EXHAUST  
15 DE 1973

La relación de los diámetros será:

$$d = \frac{225.42 \text{ mm}}{242.88 \text{ mm}} = 0.928$$

El gasto cambia en proporción directa:

$$Q = 115.08 \times 0.928 = 106.60 \text{ lps (1692.78 gpm)}$$

La carga cambia en relación al cuadrado del diámetro:

$$C = 0.928^2 \times 14.37 \text{ m} = 12.37 \text{ m (40.59 pies)}$$

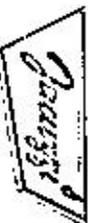
La potencia cambia en relación al cubo del diámetro:

$$P = 0.928^3 \times 27.38 = 21.88 \text{ HP}$$

Por lo que respecta a la eficiencia, si los cambios son del orden del 5 al 6% no cambia o es mínima la variación, pero al se excede de estos valores, se reduce la eficiencia del impulsor.

5. - CONO DE DESCARGA. - Como su nombre lo indica, tiene forma cónica y sirve de acoplamiento entre el tazón superior y la columna de bambú, se fabrica de hierro fundido.

INDUSTRIAL UNIVERSAL S.A.  
MONTECARRI, N. L.



CURVA DE RENDIMIENTO PARA BOMBA TURBINA

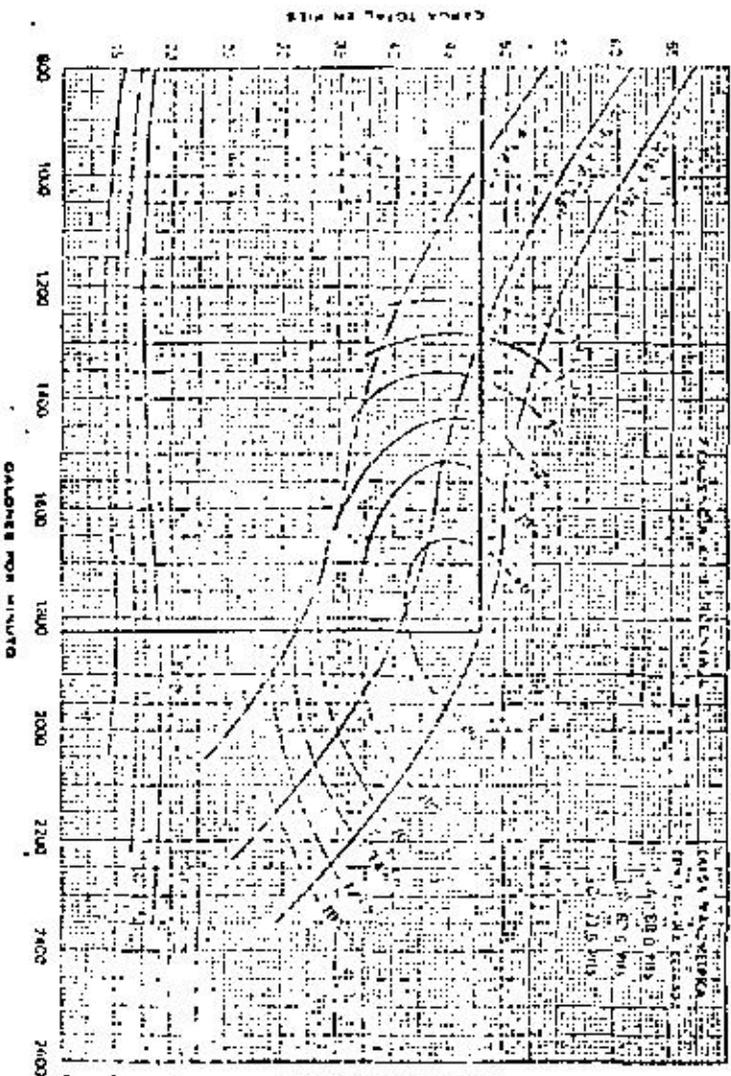


FIGURA No. 2

<p>El campo de aplicación puede ser de 1 a 1000 galones por minuto.</p>	<p>1 - 1000 galones por minuto</p> <p>2 - 1000 galones por minuto</p> <p>3 - 1000 galones por minuto</p>
<p>Tip: Turbina 1100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 2100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 3100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 4100 galones por minuto</p>	<p>Tip: Turbina 1100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 2100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 3100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 4100 galones por minuto</p>
<p>Área del Cono: 115.08 m<sup>2</sup></p> <p>Tip: Turbina 1100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 2100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 3100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 4100 galones por minuto</p>	<p>Área del Cono: 115.08 m<sup>2</sup></p> <p>Tip: Turbina 1100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 2100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 3100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 4100 galones por minuto</p>
<p>RENDIMIENTO PER</p> <p>Tip: Turbina 1100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 2100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 3100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 4100 galones por minuto</p>	<p>RENDIMIENTO PER</p> <p>Tip: Turbina 1100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 2100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 3100 galones por minuto</p> <p>Tip: Turbina 4100 galones por minuto</p>

12X  
11000  
11000  
11000

6. - TUBERIA DE COLUMNA. - Está formada por tramos de tubo de acero de 3.05 m. (10') de longitud, distintos diámetros y diferentes espesuras, es el soporte del cuerpo de tazones y sirve de conducción del agua bombeada y aloja en su interior la flecha de transmisión. La unión entre tramos de tubería puede ser por cople o mediante bridas, dependiendo de su diámetro, generalmente va con cople desde los 63.50 mm ( 2 1/2" ) hasta los 406.4 mm (16") y a partir de los 457.20 mm (18") con bridas y se considera de construcción especial.

7. - FLECHA VERTICAL. - Dentro y concéntricamente a la tubería de columna se encuentra la flecha vertical, que es el eje central de la bomba, la cual es impulsada desde la parte superior por el motor eléctrico o de combustión interna comunicando un movimiento rotatorio a los impulsores. Está formada por tramos de 3.05 m. (10') de longitud, o sea, - que tiene la misma longitud que un tramo de tubería de columna, son de acero cold Rolled y van unidos entre sí por medio de coples y alineados por medio de chumaceras de bronce, las cuales tienen rosca externa y sirven para unir los tramos de los tubos cubreflecha.

Para seleccionar el diámetro de una flecha, hay que considerar la velocidad angular o de rotación y la potencia que va a soportar, es decir, el par de torsión que tiene que resistir. Para determinar las pérdidas por fricción y la potencia que soporta una flecha, lo más práctico y recomendable es consultar las tablas que los fabricantes han elaborado, donde se

puede observar:

a). - Las pérdidas por fricción en la flecha, son directamente proporcionales a la velocidad angular, es decir, que a doble velocidad corresponde doble pérdida por fricción y a triple velocidad, triple pérdida, etc.

b). - La potencia especificada para una flecha, aumenta en proporción directa con su velocidad angular, es decir, que a doble velocidad, doble potencia, etc.

Los conceptos antes expuestos, proporcionan el medio para determinar las nuevas condiciones a las que trabajará la flecha cuando se conoce la pérdida por fricción, la velocidad de rotación, el diámetro de la flecha y la potencia. Por ejemplo: sean las siguientes condiciones actuales:

Potencia máxima = 38 HP

Diámetro de la flecha = 19 mm ( 3/4" )

Pérdida por fricción = 0.70 (por cada 100 m ó 100 pies)

Velocidad rotación = 3500 rpm.

Se desea conocer las nuevas condiciones de operación cuando la velocidad de la flecha sea de 1760 rpm.

La potencia disminuirá en proporción directa, como 1760 rpm es aproximadamente la mitad de 3500 rpm, la potencia será la mitad de 38 HP, o sean, 19 HP.

La pérdida por fricción disminuirá en proporción directa, -- puesto que a 3500 rpm las pérdidas son de 0,70 por cada 100 m ó 100 pies a 1760 rpm, será de 0,35 para la misma longitud de flecha, de donde se obtiene que las condiciones de servicio serán:

CARACTERISTICAS	ACTUALES	ANTERIORES
Velocidad rotación	= 1760 rpm	3500 rpm
Potencia máxima	= 19 HP	38 HP
Diámetro de la flecha	= 19 mm (3/4")	19 mm (3/4")
Pérdidas por fricción	= 0,35	0,70

ã. - CUBREFLECHA. - Como en el caso de la flecha vertical, el tubo cubreflecha va dentro y concéntricamente a la tubería de columna, - cada tramo se construye de acero, con longitud de 1,52 m. (5') y con diámetro un poco mayor que el diámetro de la flecha con la cual va a trabajar en conjunto. Para una misma bomba todos los tubos cubreflecha son iguales - con excepción del superior que tiene cuerda externa en su extremo superior para recibir la tuerca de tensión.

Para evitar las vibraciones del tubo cubreflecha se colocan a distancias convenientes unos soportes llamados arañas o estrellas, mismos que se fabrican de hule duro, y su número va en función del diámetro de la flecha y por regla general se colocan a distancias más cortas a medida que la flecha es de menor diámetro. Una araña cada 3 ó cada 5 tramos de --

columna de bombeo.

La función del tubo cubreflecha es la contener el aceite lubricante en el espacio anular que se forma entre su pared interna y la superficie exterior de la flecha. Este aceite mantiene lubricada a la flecha con lo cual se evita el calentamiento excesivo y el desgaste prematuro.

Los tubos cubreflechas van unidos entre sí por medio de chumaceras de bronce que tienen cuerdas externas.

Columna de Bombeo. - Se le denomina así al conjunto que forman la tubería de columna, la cubreflecha y la flecha, las hay lubricadas por aceite o por agua y la diferencia entre uno y otro es que la lubricada por agua, carece de cubreflecha y su lubricación se efectúa por el agua bombeada y su selección depende del objetivo a que se destine, por ejemplo, el agua de los pozos desalinados a usos domésticos debe excluir totalmente el aceite y por esta razón se utiliza la columna lubricada por agua y en aquellos pozos que arrojan arena fina, se utiliza la lubricada por aceite, en este último ejemplo, el tubo cubreflecha evita el desgaste prematuro o excesivo de las flechas y las chumaceras de bronce puesto que el agua y en ocasiones la arena bombeadas, no entran en contacto con las mismas, es la más adecuada para los pozos con fines de riego.

Las columnas lubricadas por agua no deben operarse sin antes prelubricar las flechas con agua ya que si estas se encuentran secas, al entrar en rotación aún por períodos cortos sufrirán graves daños, estos da

Los también los causan los motores eléctricos y cabezales de engranes que no cuentan con trinquete de no retroceso y aquellos motores de combustión interna que no pueden regularse rápidamente a su velocidad de trabajo.

Para seleccionar el diámetro óptimo que una columna de bombeo debe tener, los fabricantes de bombas han elaborado tablas donde se observan los diámetros de flecha y cubreflecha que son compatibles de usarse con cada diámetro de tubería de columna, así como el gasto que puede circular y la pérdida de carga por fricción. Las pérdidas por fricción son muy importantes, ya que si se hace circular un gasto excesivo por un determinado diámetro de columna, causará grandes pérdidas que se traducen en consumo extra de energía que tendrá que proporcionar el motor, aumentando el costo de operación del equipo, por eso, en la mayoría de los casos, es preferible que el costo inicial sea más alto. Por ejemplo, para extraer 45 lbs. (713 gpm) podría usarse columna de bombeo de 152.4 x 38.1 x 25.4 mm (6" x 1 1/2" x 1") de diámetro con pérdidas de 6.8 m. por cada 100 m. de columna de 203 x 38.1 x 25.4 mm (8" x 1 1/2" x 1"), con pérdidas de 0.98 m. por cada 100 m. ocasionando que con la columna de 6" se utilice mayor potencia para extraer el mismo gasto que con la de 8", aun siendo ésta última más cara.

Las diferentes compañías fabricantes de bombas recomiendan aceptar pérdidas por fricción hasta un 5% lo cual se considera económico.

9. - CABEZAL DE DESCARGA. - Se fabrica de fierro, tiene como función sostener desde la superficie a la columna de bombeo, el

cuerpo de tazones, el colador, los tubos de succión y descarga, el lubricador automático o manual, soporta al motor eléctrico o al cabezal de engranes y tiene como función adicional, cambiar la dirección del flujo; recibe los estoperos ó sellos que impiden la fuga del líquido o la admisión del aire.

Todos los fabricantes de cabezales de descarga tienen nomenclatura especial para designar los distintos modelos, pero en general se conocen por los diámetros de la base superior, la descarga y columna de bombeo expresadas en pulgadas.

Ejemplo: 8" x 8" x 16".

La selección del cabezal de descarga se hace en función de los diámetros de la base del motor eléctrico ó cabezal de engranes y de la columna de bombeo.

10. - TUBO DE DESCARGA. - El tubo de descarga viene suministrado como una prolongación de la columna de bombeo y al igual que el tubo de succión, es de acero y con longitud de 1.52 m. (5') ó 3.06 m. (10') con un diámetro que generalmente es el mismo que el de la columna requiriéndose una brida para acoplarlo al cabezal de descarga.

## SELECCION DE UN EQUIPO DE BOMBEO

Para estar en condiciones de calcular y seleccionar un equipo de bombeo vertical tipo turbina, para pozo profundo, es indispensable contar con la siguiente información:

- a). - Diámetro libre del ademe.
- b). - Profundidad total del pozo.
- c). - Gasto de explotación.
- d). - Carga en la bomba.
- e). - Carga adicional en la descarga.
- f). - Carga dinámica total.
- g). - Fuerza motriz, diesel o eléctrica.

Esta información se obtendrá en la recepción de los trabajos de perforación, en las pruebas de aforo; y de los proyectos de las zonas de riego; de la exactitud con que se obtenga se tendrá una adecuada selección y diseño del equipo de bombeo.

a). - DIAMETRO LIBRE DEL ADEME. - Es indispensable determinar el diámetro libre del ademe del pozo, hasta la profundidad a donde se va a instalar el equipo de bombeo, ya que el diámetro libre, limita el tamaño, tipo y capacidad de la bomba que se alojará en él. Este diámetro libre se obtiene mediante una prueba de verticalidad.

Con el diámetro libre del ademe y la relación de éste con los diámetros máximos de los tazones, nominal y exterior y el espacio anular mínimo adecuado entre el ademe y el cuerpo de tazones, se podrá conocer la capacidad máxima de extracción de la bomba, como se indica en la tabla siguiente:

DIAMETRO ADEME	DIAMETRO MAX. TAZONES		ESPACIO ANULAR ADEME - TAZONES	GASTO MAXIMO
	NOMINAL	EXTERIOR		
10"	8"	7 1/2"	6.35 mm (2 1/2')	36 l. p. s.
12"	10"	9 1/2"	6.35 mm (2 1/2')	64 l. p. s.
14"	12"	11 1/2"	6.35 mm (2 1/2')	100 l. p. s.
16"	14"	13 1/2"	6.35 mm (2 1/2')	144 l. p. s.

Como se podrá observar, si se tiene un pozo terminado con ademe de 14" de diámetro libre, el diámetro máximo de tazones que se podrá alojar, será de 11 1/2" (12" diámetro nominal) y el gasto máximo que se podrá extraer será de 100 l. p. s., si la capacidad específica del acuífero lo permite.

b). - PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO. - Es importante conocer la profundidad total del pozo ya que en algunos casos no se deja suficiente cámara de bombeo lo que puede ser una limitación para la instalación del equipo.

No hay que olvidar que la longitud de bomba abajo del nivel de bombeo es aproximadamente de 12 metros, que incluye 2 o 3 tramos de columna, adicionales para futuros abatimientos, cuerpo de tazones, tubo de succión y colador por lo que la cámara de bombeo deberá ser por lo menos de 15 m. más que el nivel de bombeo.

c). - CAPACIDAD REQUERIDA O GASTO DE EXPLOTACIÓN. -

Una vez que se tienen tabulados todos los datos tomados en el campo durante el aforo, se trazará la curva Gasto Abatimiento, sobre la cual se determinará el punto más conveniente para la explotación del pozo, al respecto se tienen los siguientes criterios:

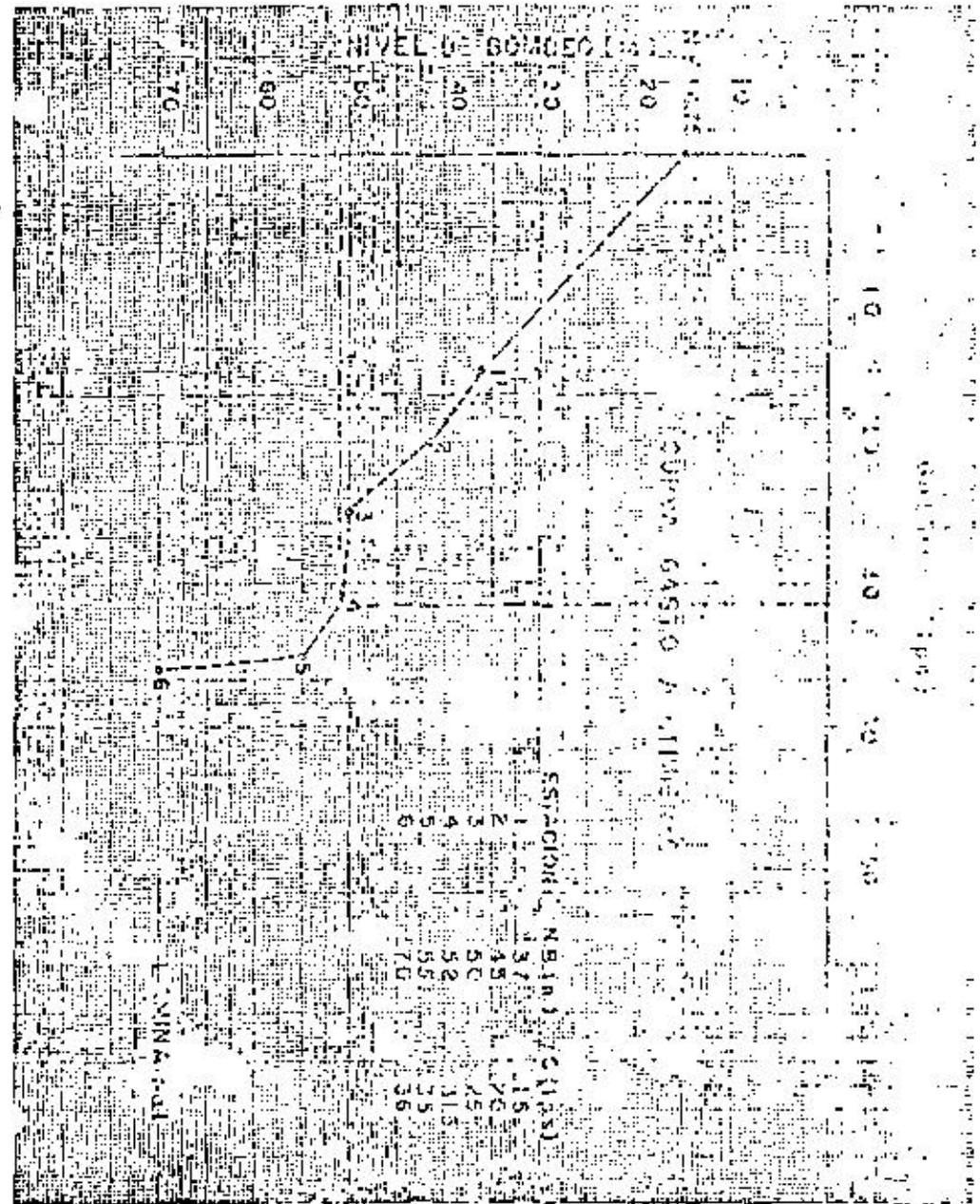
1. - Normalmente se acostumbra considerar como gasto máximo del pozo, al obtenido en el último punto de la curva de aforo habiéndose o no alcanzado la capacidad real del acuífero y como gasto máximo de explotación -- aproximadamente el 90% del gasto máximo, pudiendo variar en menor este porcentaje, en función del tiempo de recuperación de los niveles de bombeo - (Lámina No. 1).

2. - Trazando las curvas de Gasto - Tiempo y Nivel de Bombeo - Tiempo, determinando el gasto máximo de explotación en el punto donde la separación entre escalones es menor y como punto óptimo de explotación el escalón inmediato anterior al gasto máximo de explotación. ( Lámina No. 1-A ).

3. - Cuando no se dispone de los datos de un aforo completo, es decir, que no se llegó a determinar la capacidad máxima del pozo, y se dispone de mayor superficie por beneficiar, se deberá repetir el aforo.

4. - El punto de explotación, también se puede fijar de acuerdo a los puntos mencionados y al proyecto de zona de riego correspondiente.

d. - CARGA EN LA BOMBA (CB). - Es el nivel de bombeo más las pérdidas por fricción y velocidad que se tienen desde el cono de descarga hasta el cabezal de la bomba, es decir, en la longitud de la columna de bombeo.





c). - CARGA ADICIONAL ES LA DESCARGA (CAD). - Es la carga que tiene que vencer la bomba a partir de su cabeza) hasta el punto libre del sistema y comprende el desnivel topográfico ó carga estática de descarga ( $H_{st}$ ), las pérdidas por fricción en la tubería de conducción y en los dispositivos instalados en ella, tales como válvulas, codos, tes, piezas especiales, aspersores, etc. ó carga de fricción en la descarga ( $H_{fd}$ ).

d). - CARGA MANOMÉTRICA TOTAL O CARGA DINÁMICA TOTAL (CDT). - Es un sistema de bombeo, se le da el nombre de carga manométrica total o carga dinámica total, a la suma de las energías contra las que debe operar una bomba para mover determinada cantidad de agua de un punto a otro. ( Lámina No. 2 ) es decir:

$$CDT = CS + CAD$$

e). - TIPO DE FUERZA MOTRIZ. - Tipo de energía con que se cuenta para la operación del equipo de bombeo: Es necesario saber si los motores serán eléctricos ó de combustión interna. En caso de que se trate de energía eléctrica, se requiere el voltaje de la línea de alta tensión para poder seleccionar el equipo adecuado, si es de combustión interna se requerirá conocer la altitud del sitio de instalación.

### III. - CALCULO Y SELECCION DE UN EQUIPO DE BOMBEO. -

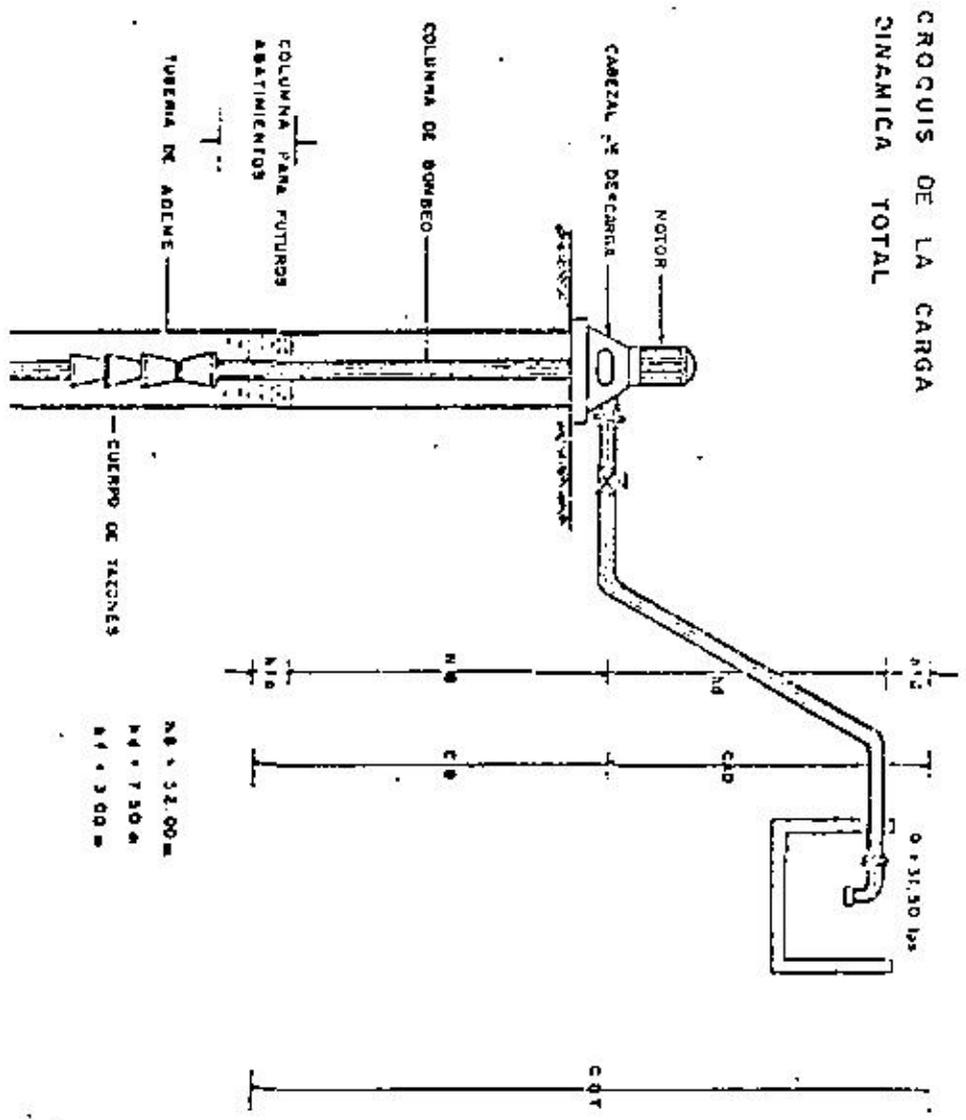
#### A. - Condiciones de servicio. -

- a). - Gasto de explotación (Q) = 31.50 l. p. s.
- b). - Nivel dinámico o de bombeo (NB) = 52.0 m.
- c). - Desnivel topográfico (h<sub>g</sub>) = 7.50 m.
- d). - Pérdidas por fricción en la tubería de descarga y dispositivos instalados (h<sub>fD</sub>) = 3.00 m
- e). - Tipo de Energía = Eléctrica, 13,200 volts, en alta tensión.
- f). - Tipo de Lubricación: Aceite
- g). - Líquido a manejar: Agua Limpia
- h). - Diámetro libre del ademe y su longitud = 304.8 mm - (12") y 150.0 m.
- i). - Profundidad total del pozo = 150.0 m.

#### B. - Cálculo del Equipo de Bombeo:

##### 1. - DETERMINACION DE LA LONGITUD DE LA COLUMNA DE BOMBEO. -

Cada tramo de columna de bombeo mide 3.05 m. (10') de longitud y como el nivel de bombeo es de 52 m. se tiene:  $Long.Col. = \frac{52}{3.05} = 17.05 = 17$  tramos de columna. Con el objeto de proveer futuros abatimientos, es recomendable que la longitud de la columna sea mayor que



el nivel dinámico, por lo que generalmente se solicita con dos o tres tramos más, dependiendo de los abatimientos que se tengan en la zona. Por lo anterior, se tiene:

$$17 + 2 = 19 \text{ Tramos} = 57.95 \text{ m.}$$

## 2. - CALCULO DE LA CARGA DINAMICA TOTAL TENTATIVA.

$$CDT = CB + CAD$$

$$CB = NB + h_{fc}$$

$$NB = 52.00 \text{ m.}$$

$h_{fc}$  = Se desconoce, por lo que inicialmente se considerará del 5% del NB y posteriormente se determinará su valor real.

$$h_{fc} = 5\% NB = 0.05 \times 52 = 2.60 \text{ m.}$$

$$CB = 52 + 2.60 = 54.60 \text{ m. (aprox.)}$$

A continuación se procede a calcular la Carga Adicional en la Descarga (CAD), o sea:

$$CAD = h_t + h_{td} = 7.50 + 3.00 = 10.50 \text{ m.}$$

Por lo tanto, la carga dinámica total tentativa será:

$$CDT = CB + CAD = 54.60 + 10.50 = 65.10 \text{ m.}$$

De donde se deduce que se tendrá que seleccionar una bomba

capaz de dar 31.50 l.p.s., contra una carga dinámica total de 65.10 m.

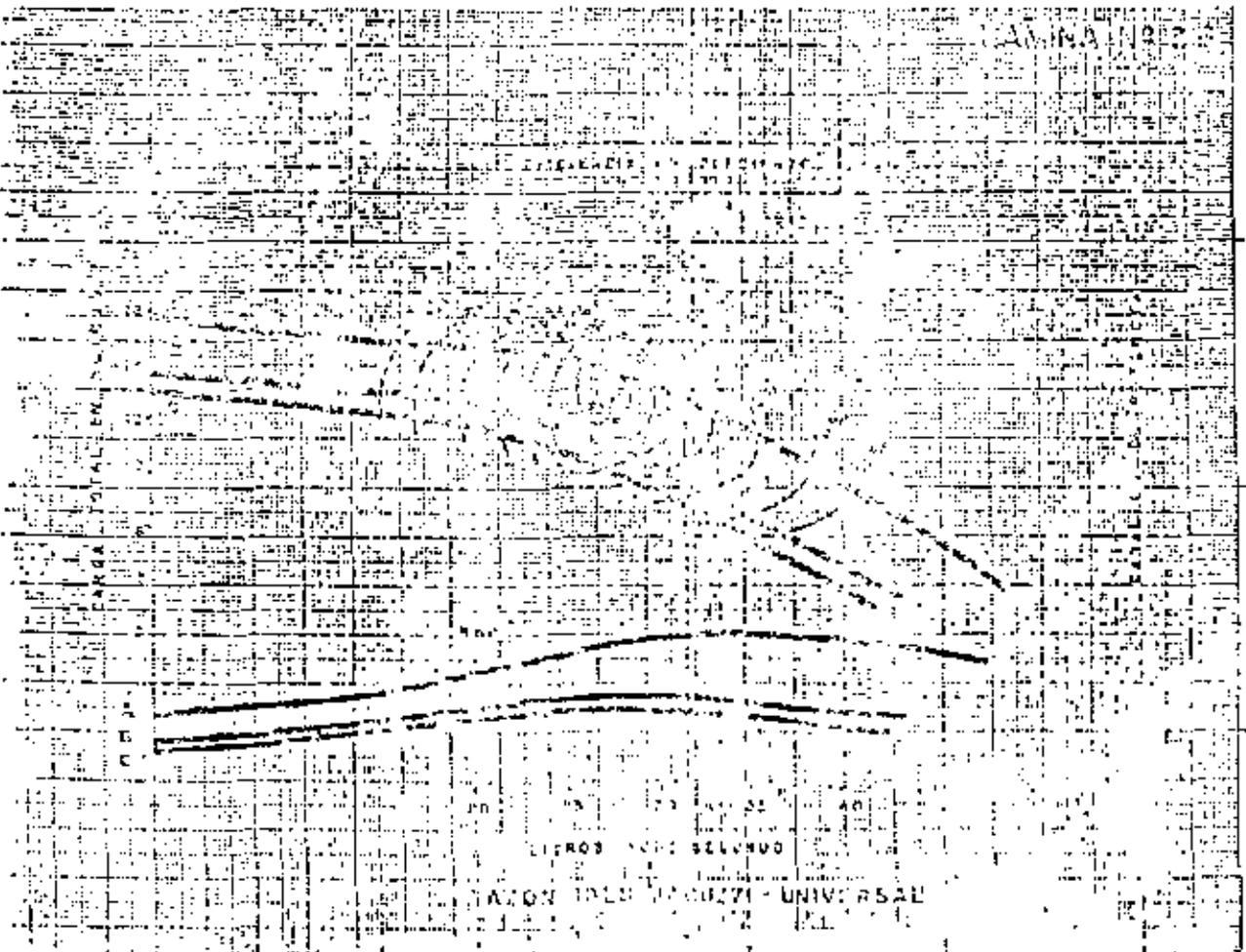
3. - SELECCION DEL CUERPO DE TAZONES. - Todos los fabricantes de equipos de bombeo tienen curvas de operación para diferentes tamaños de tazones, recortes de impulsor y velocidades. En la selección de un modelo de impulsor, el gasto y la eficiencia son los factores determinantes, en las láminas Nos. 3A, 3B y 3C se muestran las curvas de operación de diferentes fabricantes, como se podrá observar para nuestras características de explotación y seleccionando siempre el diámetro máximo del impulsor, cada curva proporciona una eficiencia máxima de 77%, 79% y 83% respectivamente; por lo anterior se seleccionó el impulsor modelo 10 LC (Lámina No. 3C), con velocidad de operación de 1760 r.p.m., cuyo tazón tiene un diámetro nominal de 25.4 cm. (10") aproximadamente y que por lo tanto pasare libremente por la tubería de ademe de 30.48 cm. (12").

La curva A indica el diámetro máximo de fabricación del impulsor, la C el diámetro máximo de recorte y la B el corte medio y se emplean para ajustar el gasto y la carga.

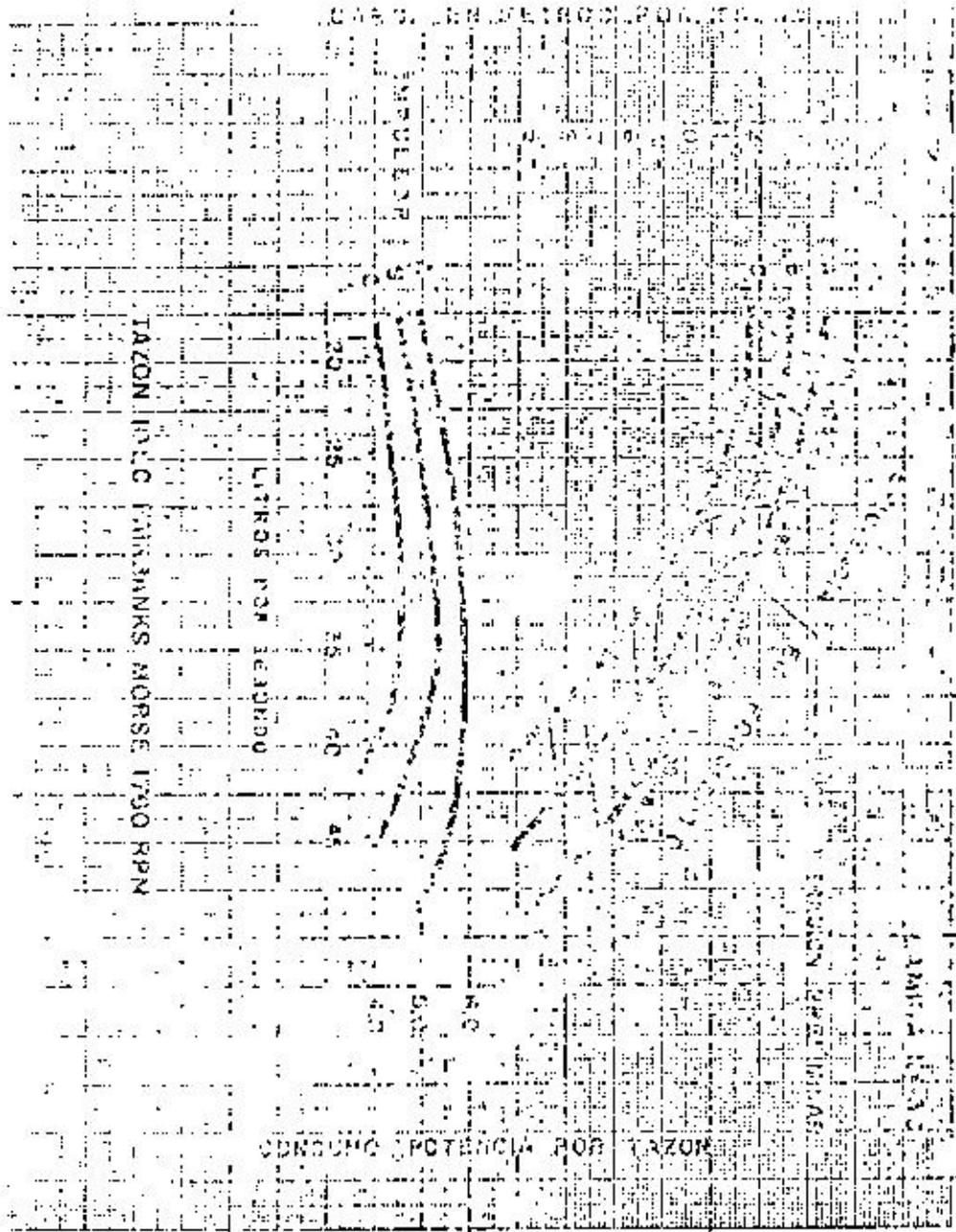
ACTURAS EN MIL MDS



75



76



En la curva del impulsor seleccionado en el di m. A proporción 31.50 lps, contra una carga de 11.73 m. por tazón (C<sub>T</sub>), con una eficiencia del 83%, por lo tanto: No. Pasos =  $\frac{CDT}{C_T} = \frac{65.10}{11.73} = 5.6 = 6$  - Impulsoras. Se requieren 6 impulsoras en el cuerpo de tazones para que se pueda vencer la carga dinámica total.

4. - CALCULO DE LA POTENCIA TEORICA:

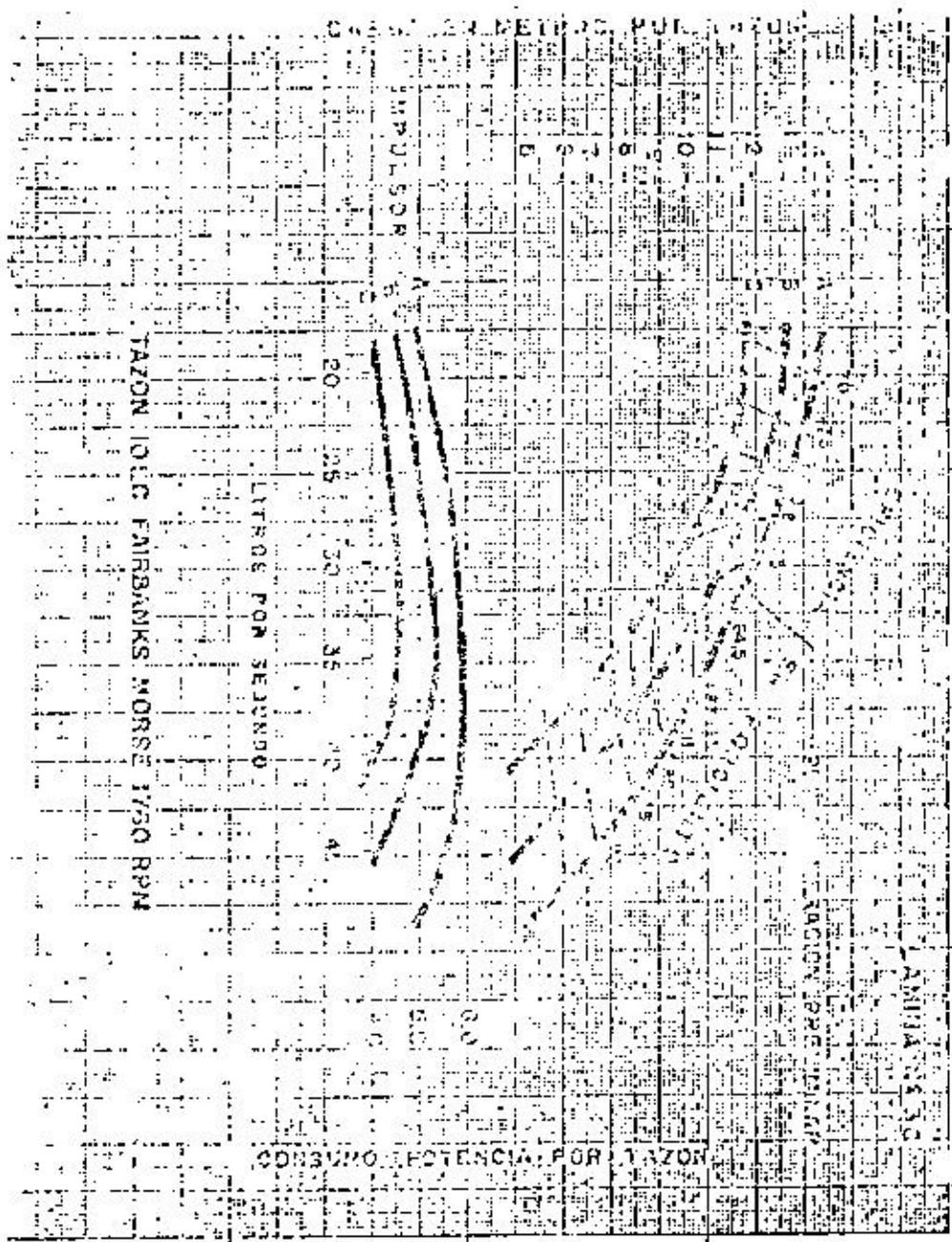
Para calcular la potencia que demandan los impulsores se utiliza la formula siguiente:

$$HP = \frac{Q \cdot CDT}{76 \cdot Ef} \quad GE$$

- Q = Gasto en litros por segundo ó galones por minuto.
- CDT = Carga dinámica total en metros ó pies.
- Ef = Eficiencia en porciento
- GE = Gravedad específica,
- 76 = Constante para obtener la potencia en H. P. ó 3660 en el sistema Ingles.

Como la carga dinámica total es tentada, la potencia consumida será aproximadamente de:

$$HP = \frac{31.50 \times 65.10}{76 \times 0.83} \times 1 = 32.50$$



En la curva del impulsor seleccionado en el di m. A proporcióna 31.50 lps, contra una carga de 11.73 m, por tazón (C<sub>T</sub>), con una eficiencia del 83%, por lo tanto: No. Pasos =  $\frac{CDT}{C_T} = \frac{65.10}{11.73} = 5.6 = 6$  Impulsoras. Se requieren 6 impulsoras en el cuerpo de tazones para que se pueda vencer la carga dinámica total.

4. - CALCULO DE LA POTENCIA TEORICA:

Para calcular la potencia que demandan los impulsoras se utiliza la formula siguiente:

$$HP = \frac{Q \cdot CDT}{76 \cdot Ef} \cdot GR$$

- Q = Gasto en litros por segundo ó galones por minuto.
- CDT = Carga dinámica total en metros ó pies.
- Ef = Eficiencia en porciento
- GR = Gravedad específica.
- 76 = Constante para obtener la potencia en H. P. ó 3%60 en el sistema Inglés.

Como la carga dinámica total es tentativa, la potencia consumida será aproximadamente de:

$$HP = \frac{31.50 \times 65.10}{76 \times 0.83} \times 1 = 32.50$$

5. - SELECCION DEL DIAMETRO DE LA FLECHA: Conocida la potencia que consumen los impulsores, se procede a calcular el diámetro de la flecha que los accionará, misma que deberá soportar esta potencia a la velocidad de operación de la bomba, para lo cual se consulta la tabla de Selección de Flechas (Lámina No. 4), que los fabricantes de bombas han elaborado, en donde se observa que a 1760 rpm, la flecha más adecuada es la de 2.54 cm. (1") de diámetro, ya que soporta hasta 48 H. P.

6. - SELECCION DE LA COLUMNA DE BOMBEO: Se determina en función del gasto y del valor mínimo de las pérdidas por fricción, mismo que se obtiene consultando la Lámina No. 5, en donde se observa que para los 31.50 lps (500 gpm) y flecha de 2.54 cm. (1"), la tubería de columna y tubo cubreflecha adecuados son de 15.24 cm. (6") y 3.8 cm. (1 1/2") de diámetro con 3.70 m. de pérdidas por fricción por cada 100 m. (ó 3.70 pies por cada 100 pies).

7. - CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCION EN LA COLUMNA: Se tiene  $h_f = 3.70$  m. por cada 100 m.

$$h_{fc} = 0.037 \times 57.95 = 2.14 \text{ m. (real)}$$

LAMINA Nº 4

Tabla de Selección de Flechas

11

Diámetro de flecha	CAPACIDAD PERMISIBLE A UNA VELOCIDAD DE:										Empuje total en libras
	3500	2900	1760	1440	1170	960	H.P.	700	580		
3/4"	38.0	31.5	18.0	15.7	12.5	10.2	9.3	7.5	6.3	2030#	
1"	96.0	79.5	48.0	39.5	31.7	26.0	23.5	19.2	15.8	3780#	
1-3/16"	163	125	81.5	67.0	53.0	44.5	40.0	32.4	27.0	5400#	
1-7/16"	290	241	145	121	96.0	80.0	72.0	58.0	48.0	7900#	
1-11/16"	530	440	265	220	175	144	130	106	87.5	11700#	
1-15/16"	740	610	365	305	242	202	181	147	121	14700#	
2-3/16"		900	545	455	360	300	270	220	181	19200#	
2-7/16"		1280	780	645	515	430	385	315	257	24400#	
2-11/16"			1080	890	700	580	525	436	355	30000#	
2-15/16"			1400	1170	930	770	690	565	465	36200#	



11. - PERDIDAS DE POTENCIA EN LA FLECHA. - Tomando en consideración que existen pérdidas por fricción en la flecha que transmite la potencia del motor a los impulsores, -- éstas se obrendrán de la Lámina No. 6 en función de las revoluciones por minuto de la bomba y del diámetro de la flecha, por lo que a la potencia anterior deberá agregarse la pérdida por fricción, que es de 0.53 H. P. por cada 30.40 m. ( 100 - - pies); de donde:

$$\text{Pérdida de potencia} = h_{HP} = \frac{57.95 \times 0.53}{30.40} = 1.00 \text{ HP.}$$

12. - CONSUMO TOTAL DE POTENCIA:

$$HP_t = HP + h_{HP} = 32.28 + 1.0 = 33.28$$

13. - SELECCION DEL MOTOR ELECTRICO. - En virtud que comercialmente no se encuentran motores con ésta capacidad se escoge el motor eléctrico inmediato superior a la potencia requerida, que para nuestro caso será el de 40 HP., que trabajará a la velocidad de 1760 rpm., 440 volts, 4 polos, 3 fases, a prueba de goteo, con trinquete de no retroceso, etc.

14. - SELECCION DEL CABEZAL DE DESCARGA. - Se hace en función tanto del diámetro de la base del motor como de la columna de bombeo seleccionada; para el presente ejemplo un motor de 40 HP, tiene una base cuyo diámetro es de 41.91 cm. (16 1/2") (Lámina No. 7) y como el diámetro de la tubería de columna es de 15.24 cm. (6"), se tendrá que seleccionar un cabezal de descarga que tenga en la base superior - - 41.91 cm. (16 1/2") de diámetro y pueda recibir la columna de 15.24 cm. (6") es decir, será un cabezal Modelo 16 1/2" x 6".

De esta forma se ha seleccionado el equipo de bombeo adecuado a las condiciones de servicio solicitado, el cual estará integrado por lo siguiente (Lámina No. 8):

- Un motor eléctrico de 40 HP.
- Un cabezal de descarga Mod. 16 1/2" x 6"
- 57.95 m. (19 tramos) de columna de bombeo de 15.24 x 3.8 x 2.54 cm. (6" x 1 1/2" x 1").
- Un primer tazón Mod. 10LC Corte B.
- Cinco tazones adicionales Mod. 10LC Corte B.
- Un tubo de succión de 15.24 cm. (6") de diámetro y 3.05 m. (10') de longitud.
- Un colador cónico galvanizado de 15.24 cm. (6") de diámetro.

14a

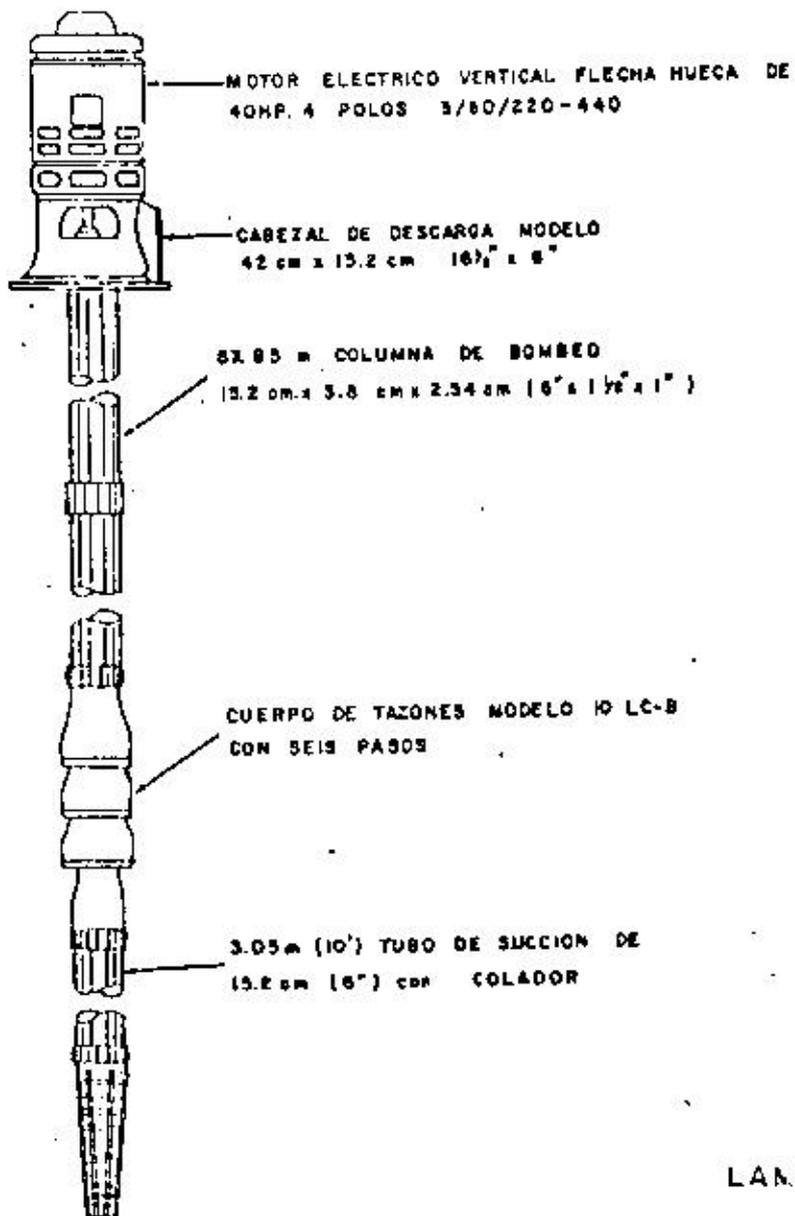
PERDIDA DE POTENCIA EN LA FLECHA POR CADA 30.4 MET. (100 PIES) DE LONGITUD.

RPM.	DIAMETRO DE LA FLECHA											
	1.9	2.54	3.01	3.81	4.38	4.72	5.5	6.15	6.82	7.48	8.14	8.82
	1-3/4	1	1-3/16	1-1/2	4-11/16	1-5/16	2-3/16	2-7/16	2-11/16	2-15/16	2-15/16	2-15/16
3300	.62	1.1	1.45	2.2	2.8							
2900	.52	.86	1.3	1.8	2.3							
1760	.32	.53	.72	1.25	1.4	1.9	2.3	2.9	3.4	4.2		
1460	.26	.44	.61	.86	1.2	1.6	2.0	2.4	2.9	3.5		
1160	.21	.35	.48	.75	.94	1.2	1.5	1.9	2.3	2.7		
970	.29	.40	.61	.77	1.0	1.3	1.5	1.9	2.3			
870	.28	.36	.56	.69	.92	1.2	1.4	1.7	2.1			
730	.22	.31	.48	.58	.77	1.0	1.2	1.4	1.7			
690	.21	.29	.45	.53	.74	.92	1.13	1.32	1.61			
575	.17	.24	.38	.46	.61	.77	.95	1.10	1.34			
480	.15	.21	.32	.39	.52	.65	.81	.94	1.14			
430	.13	.18	.28	.31	.48	.57	.71	.81	1.00			
390	.12	.17	.26	.31	.42	.52	.64	.75	.91			

BOMBA TURBINA VERTICAL  
LUBRICADA POR ACEITE

200 2 1/2 4 6 10 15 20 25 30 40 50 60 75 100 125 150

HP CV	Motor (Watts)	Aspiración	Modelo	Altura Total (Pulg.)	Altura Aspiración	Peso Total (Lbs.)	
1	300/1150	21SP	21KA102PA	10	—	300	
	1500/1800	21SP	21KA104PA	10	—	440	
	1500/1700	21SP	21KA106PA	10	—	460	
	750/900	21SP	21KA108PA	10	—	470	
1 1/2	3000/3600	21SP	21KA152PA	10	—	380	
	1500/1800	21SP	21KA154PA	10	—	400	
	1500/1700	21SP	21KA156PA	10	—	430	
	750/900	21SP	21KA158PA	10	—	470	
2	3000/3600	21SP	21KA202PA	10	—	450	
	1500/1800	21SP	21KA204PA	10	—	490	
	1000/1200	21SP	21KA206PA	10	—	500	
	750/900	21SP	21KA208PA	10	—	560	
3	3000/3600	21SP	21KA302PA	10	—	570	
	1500/1800	21SP	21KA304PA	10	—	670	
	1000/1200	21SP	21KA306PA	10	—	700	
	750/900	25SUP	25KA308PA	10	—	1400	
5	3000/3600	21SP	21KA502PA	10	—	750	
	1500/1800	21SP	21KA504PA	10	—	1100	
	1000/1200	25SUP	25KA506PA	10	—	1560	
	750/900	25SUP	25KA508PA	10	—	1600	
1 1/2	3000/3600	21SP	21KA752PA	10	—	940	
	1500/1800	25SUP	25KA754PA	10	—	1400	
	1000/1200	25SUP	25KA756PA	10	—	1420	
	750/900	25SUP	25KA758PA	12	16 1/2	1800	
10	3000/3600	25SUP	25KA102PA	10	—	1100	
	1500/1800	25SUP	25KA104PA	10	—	1200	
	1000/1200	42SUP	42KA106PA	12	16 1/2	2280	
	750/900	36SUP	36KA108PA	14 1/2	20	2200	
15	3000/3600	25SUP	25KA152PA	10	—	1300	
	1500/1800	42SUP	42KA154PA	12	16 1/2	2000	
	1000/1200	42SUP	42KA156PA	12	16 1/2	2600	
	750/900	36SUP	36KA158PA	16 1/2	25	2400	
20	3000/3600	42SUP	42KA202PA	12	16 1/2	1500	
	1500/1800	42SUP	42KA204PA	12	16 1/2	2400	
	1000/1200	36SUP	36KA206PA	16 1/2	20	3200	
	750/900	36SUP	36KA208PA	16 1/2	20	2800	
25	3000/3600	42SUP	42KA252PA	12	16 1/2	1650	
	1500/1800	42SUP	42KA254PA	12	16 1/2	2400	
	1000/1200	44SUP	44KA256PA	16 1/2	20	3680	
	750/900	44SUP	44KA258PA	16 1/2	20	3100	
30	3000/3600	42SUP	42KA302PA	12	16 1/2	1800	
	1500/1800	42SUP	42KA304PA	12	16 1/2	2700	
	1000/1200	44SUP	44KA306PA	16 1/2	20	4180	
	750/900	44SUP	44KA308PA	20	20	3500	
40	3000/3600	44SUP	44KA402PA	16 1/2	12	2000	
	1500/1800	44SUP	44KA404PA	16 1/2	12	3400	
	1000/1200	44SUP	44KA406PA	20	16 1/2	4800	
	750/900	44SUP	44KA408PA	20	16 1/2	4400	
50	3000/3600	44SUP	44KA502PA	16 1/2	12	3000	
	1500/1800	44SUP	44KA504PA	16 1/2	12	3800	
	1000/1200	44SUP	44KA506PA	20	16 1/2	5160	
	60	3000/3600	44SUP	44KA602PA	16 1/2	20	3600
1500/1800		44SUP	44KA604PA	16 1/2	20	4300	
1000/1200		44SUP	44KA606PA	20	16 1/2	5600	
75		3000/3600	44SUP	44KA752PA	16 1/2	20	3900
	1500/1800	44SUP	44KA754PA	16 1/2	20	4900	
	1000/1200	44SUP	44KA756PA	20	16 1/2	6700	
	100	3000/3600	44SUP	44KA102PA	20	16 1/2	5500
1500/1800		44SUP	44KA104PA	20	16 1/2	6300	
125		3000/3600	44SUP	44KA125PA	20	16 1/2	6300
		1500/1800	44SUP	44KA127PA	20	16 1/2	6900
	150	3000/3600	44SUP	44KA150PA	20	16 1/2	6900
		1500/1800	44SUP	44KA152PA	20	16 1/2	7500



III. - EMPUJE TOTAL O AXIAL DE LA BOMBA:

Con el objeto de verificar que los baleros de carga del motor eléctrico soportarán el empuje total o axial de la bomba, se procede a calcular su valor, el cual es la suma del empuje hidráulico más la carga estática o sea:

$$\text{Empuje total} = (K \times \text{CDT}) + (W \times S) + (K_a \times \text{No. de Pasos}).$$

Donde:

K = Factor de empuje de la bomba en lb/pla.

CDT = Carga dinámica total en pies.

W = Peso de la flecha en lbs.

S = Longitud de la columna en pies.

K<sub>a</sub> = Factor por paso en lb/pla.

(K x CDT) = Empuje hidráulico.

(W x S) + (K<sub>a</sub> x No. de pasos) = Carga estática.

(W x S) = Peso de la flecha

K<sub>a</sub> x No. de pasos = Peso de los impulsores y la flecha de

los impulsores.

En la fórmula anterior K, K<sub>a</sub> y W son constante proporcionadas por cada fabricante de bombas. En la lámina No. 9 entrando con el modelo del impulsor seleccionado se determinan los valores de K y K<sub>a</sub>. Sustituyendo valores en la fórmula, se tiene:

$$\text{Empuje total} = (9.0 \times 2(2.02)) + (2.8 \times 190.0) + (11.2 \times 6) =$$

2507.36 lbs.

Tamaño de bomba	Factor de empuje Hidráulico K	Factor por Paso K <sub>a</sub>
4 LC	1.2	2.0
4 MC	1.2	2.0
6 XLC	2.7	2.5
6 LC	3.2	2.5
6 MC	3.2	2.6
6 HC	3.3	2.6
7 MC	4.7	3.0
8 XLC	5.0	3.5
8 LC	6.0	3.5
8 MC	6.7	3.5
8 HC	7.2	3.5
10 XLC	8.3	10.8
10 LC	9.0	11.2
10 MC	9.1	11.3
10 HC	10.6	11.3
12 LC	13.2	18.0
12 MC	13.4	18.5
12 HC	15.5	19.5
14 LC	17.6	24.0
14 MC	18.5	30.0
14 HC	21.5	24.5
16 LC	19.5	34.5
16 MC	23.0	34.5
18 MC	35.0	46.00
20 MC	38.8	55.0

LAMINA No 9

FACTOR por columna	
Diámetro de flecha (Pulg.)	Peso (W) lb/pla
3/4	1.6
1	2.8
1-3/16	4.0
1-7/16	5.8
1-11/16	8.1
1-15/16	10.6
2-3/16	13.6
2-7/16	17.0
2-11/16	21.0
2-15/16	25.0

Este valor es menor al que soporta el balero de carga con que se surten estos motores y que resiste un máximo de 3400 lbs. (Lámina No. 7), lo que demuestra que la selección del equipo es correcta. En caso de que el empuje total hubiera sido mayor, habría la necesidad de suministrar el motor con baleros de mayor capacidad, o lo que es más común, un juego de dos baleros que aumentan la capacidad de carga original.

#### IV. - ALARGAMIENTO RELATIVO DE LA FLECHA. -

Por otra parte, cuando un equipo de bombeo está en operación sus flechas se alargan debido al empuje hidráulico, por lo que se debe calcular este alargamiento para compensarlo y permitir el juego axial requerido por los tazonas, evitando que los impulsores rocen y se desgasten, lo que ocasionaría un aumento de potencia.

Para obtener el alargamiento relativo de una flecha, se utiliza la fórmula siguiente:

Alargamiento relativo = Alargamiento de la flecha menos el alargamiento de la columna.

$$\text{Alargamiento de la flecha} = \frac{\text{CDT} \times S \times \text{PE} \times K}{2'500,000 \times A_s}$$

$$\text{Alargamiento de la columna} = \frac{\text{CDT} \times S \times \text{PE} \times X_c}{2'500,000 \times A_c}$$

Donde:

- CDT = Carga dinámica total en pies.
- S = Longitud de la columna en pies

- PE = Peso específico del líquido (1.0 para el agua pura)
- K = Factor de empuje de la bomba en lb/pie.
- A<sub>s</sub> = Área de la sección transversal de la flecha en pulg.<sup>2</sup>
- X<sub>c</sub> = Constante de alargamiento de la columna (Peso neto del agua entre la columna y el tubo cubreflecha, menos el factor de empuje de la bomba).
- A<sub>c</sub> = Superficie total de las secciones transversales de la tubería de columna y el tubo cubreflecha en pulg.<sup>2</sup>

Continuando con el ejemplo y substituyendo valores, se tiene:

$$\text{Alargamiento de la flecha} = \frac{\text{CDT} \times S \times \text{PE} \times K}{2'500,000 \times A_s} = \frac{212.02 \times 190 \times 1.0 \times 9.0}{2'500,000 \times 0.785}$$

$$\text{Alargamiento de la flecha} = 0.17 \text{ pulgadas}$$

Para determinar los valores de X<sub>c</sub> y A<sub>c</sub>, se consulta la Lámina No. 10, de donde se obtiene:

$$\begin{aligned} X_c &= \text{Peso neto del agua entre la columna y el tubo cubreflecha} \\ &\text{menos el factor de empuje de la bomba} = 11.79 - 9.0 = 2.79 \text{ lb/pie.} \end{aligned}$$

$$A_c = 6.65 \text{ pulg.}^2$$

Substituyendo estos valores, se tendrá:

$$\text{Alargamiento de la columna} = \frac{\text{CDT} \times S \times \text{PE} \times X_c}{2'500,000 \times A_c} = \frac{212.02 \times 190 \times 1 \times 2.79}{2'500,000 \times 6.65}$$

$$\text{Alargamiento de la columna} = 0.00554 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Alargamiento relativo} = 0.17 - 0.00554 = 0.1645 \text{ pulgadas}$$

TABULACION DEL PESO DEL AGUA EN LAS COLUMNAS DE HOMBRE

Columna y tubo - cubreflecha en - pulg.	Peso del Agua en la tubería de columna en lbs/pie.	Peso del Agua Desalojado por el tubo cubreflecha en lbs/pie.	Peso Neto del agua en la columna lbs/pie.	Superficie total de las secciones transversales de la tubería de columna y tubo cubreflecha. plg <sup>2</sup> AC
2 1/4	2.07	0.191	1.88	1.704
3	3.20	0.94	2.26	3.11
4	5.51	0.94	4.57	4.05
6	5.51	1.22	4.29	4.24
8	5.51	1.93	3.58	4.65
10	8.66	0.94	7.72	5.18
12	8.66	1.22	7.44	5.37
14	8.66	1.93	6.76	5.78
16	8.66	2.81	5.85	6.56
18	12.51	0.94	11.57	6.46
20	12.51	1.22	11.29	6.65
22	12.51	1.93	10.58	7.06
24	12.51	2.81	9.70	7.84
26	12.51	4.17	8.34	8.60
28	22.15	1.22	20.93	8.33
30	22.15	1.93	20.22	8.74
32	22.15	2.81	19.34	9.52
34	22.15	4.17	17.98	10.28
36	22.15	5.44	16.71	10.94
38	35.3	1.9	33.4	10.66
40	35.3	2.8	32.5	11.44
42	35.3	4.1	31.2	12.20
44	35.3	5.4	29.9	12.86
46	49.7	2.8	46.9	15.14
48	49.7	4.1	45.6	15.90
50	49.7	5.4	44.3	16.56
52	49.7	6.8	42.8	17.29
54	59.7	2.8	56.9	18.31
56	59.7	4.1	55.5	19.07
58	59.7	5.4	54.3	19.73
60	59.7	6.8	52.8	20.46

AREA EN PIES DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LAS FLECHAS DE LINEA

3/4"	0.441
1"	0.785
1-3/16"	1.107
1 1/2"	1.766
1-11/16"	2.235
1-15/16"	2.947
2-3/16"	3.756

LAMINA Nº 10

Una vez determinado el valor del alargamiento relativo de la flecha, se compara con el del juego axial del tazón seleccionado, mismo -- que es proporcionado por los fabricantes de bombas (Lámina No. 11), que -- para el tazón Modelo 10 I.C. es de 0.375 pulg. = 0.952 cm., de donde:

$$0.375 > 0.1645$$

lo que indica que el diámetro de la flecha seleccionada es la adecuada.

Generalmente se recomienda efectuar el cálculo del alargamiento relativo de la flecha en aquellos equipos de bombeo cuya longitud de columna sea mayor de 76 m. (250 pies), ó bien cuando la carga dinámica -- total sea mayor de 91 m. (300 pies).

V.- EQUIPO COMBUSTION INTERNA.

Por otra parte, si la bomba es accionada por un motor de -- combustión interna hay que considerar partes accesorias que constituyen la transmisión, la que puede ser por cabezal de engranes en ángulo recto y flecha flexible, ó bien por banda y poleas. Normalmente se utiliza la transmisión por cabezal de engranes en ángulo recto y flecha flexible, por lo que -- continuando con el ejemplo, primeramente se deberá calcular la pérdida en H.P. que se tiene en la flecha flexible y en el cabezal de engranes, misma -- que -- según los fabricantes es de aproximadamente el 3% de la potencia total que demanda la bomba, o sea:

$$33.28 + 1 = 34.28 \text{ H.P.}$$

que es la potencia que tendrá que proporcionar el motor de combustión interna.

83  
631

JUEGO AXIAL PERMITIDO POR LOS TAZONES

MODELO TAZON	Alargamiento permitido T <sub>4</sub>
10 LC	3/8" (0.375)
10 MC	5/16" (0.312)
10 HC	3/8" (0.375)
12 LC	1/2" (0.500)
12 MC	No
12 HC	No
14 LC	5/8" (0.625)
14 MC	7/16" (0.437)
14 HC	No
16 LC	1/2" (0.500)
16 MC	7/16" (0.437)
18 MC	1/2" (0.500)

LAMINA N° 11

a). - SELECCION DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA. -

En un motor de combustión interna hay que considerar varios tipos de pérdidas que lo afectan y cuyos valores son variables de una marca a otra, por lo que a la potencia (continua) nominal deberá deducirse:

1. - Altitud. - 3.5% por cada 305 m. (1000') después de los primeros 305 m. (1000').
2. - Calidad del Combustible. - 2%.
3. - Temperatura. - 2% por cada 5.5° C arriba de 30° C de temperatura ambiente.
4. - Ventilador. - 7 HP.

b). - CALCULO DE LAS PERDIDAS DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA. -

1. - Altitud. - Considerando la altitud del pozo a 1400 m. s. n. m.

$$1400 - 305 = 1095 \text{ m.}$$

$$\frac{1095}{305} = 3.5 \quad 3.5 \times 3.5 = 12.25 \%$$

2. - Calidad del Combustible ..... 2.00 %
3. - Temperatura. - Considerando 35.5° C de temperatura ambiente ..... 2.00 %
4. - Ventilador 7 HP

$$\text{Total de Pérdidas} = 7 \text{ HP} + 16.25 \%$$

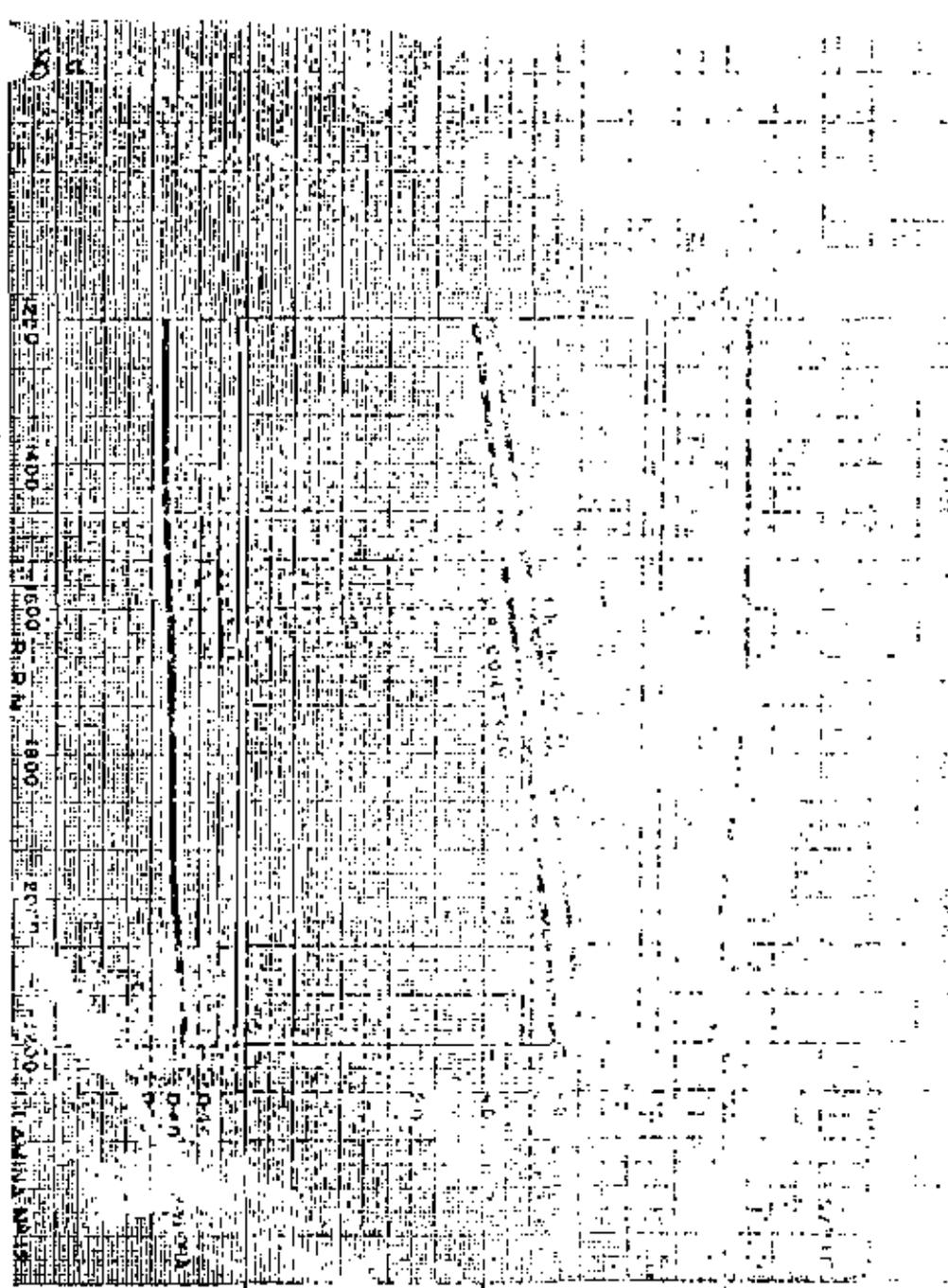
De acuerdo con lo anterior y dado que no se conoce la potencia nominal del motor (HPn), a la potencia efectiva que demanda la bomba - incluyendo las pérdidas por transmisión deberá agregársele las pérdidas antes mencionadas.

$$HPn = \frac{34.28}{100\% - 16.25\%} + 7 = \frac{34.28}{83.75\%} + 7 = 41 + 7 = 48.0$$

Con el dato de la potencia nominal, se consultan las curvas de los motores de los diferentes fabricantes, procurando que el punto caiga en el tercio medio de la misma, ya que una velocidad menor daría como resultado la adquisición de un motor muy grande y costoso y que se carbonizaría fácilmente y una velocidad mayor acabaría prematuramente con el mismo, seleccionándose en esta forma el motor Marca Lister, Modelo HRW4 - que a la velocidad de 1.800 rpm proporciona los 48.0 HP. (Lámina No. 12).

#### c. - SELECCIÓN DEL CABEZAL DE ENGRANES. -

Después de determinar la marca, el modelo y la velocidad del motor, se procede a seleccionar el cabezal de engranes, el que se escoge de acuerdo con la potencia total y la velocidad de la bomba. Como la potencia total es de 33.28 HP., y la velocidad de operación de 1760 rpm., en la Lámina No. 13 se tiene que el Modelo 3i, proporcionar 40 HP a esta velocidad, cuya base tiene un diámetro de 16 1/2", lo que obliga a utilizar un cabezal de descarga que tenga en la base superior este mismo diámetro, concluyendo que invariablemente el --





RELACION CAB. ENGRANADOS

H.P.M. Bomba

RELACION DE VELOCIDADES CAB. ENCL.

HPM	3450	2900	2000	1760	1460	1160	870	870	730
10	1:1	6:5	7:4	2:1					
9									
8	10:11	11:10							
7				7:4					
6	5:6		3:2						
5	5:6	1:1			2:1				
4	4:5								
3			4:3						
2	3:4	10:11		3:2	7:4				
1		5:6	5:4						
0		5:6	6:5	4:3					
-1	2:3	4:5				2:1			
-2		3:4	11:10	5:4	3:2				
-3				6:5		7:4			
-4	4:7		1:1	11:10	4:3	7:4	2:1		
-5		2:3		11:10					
-6	1:2		10:11	1:1	5:4	3:2		2:1	
-7		4:7	5:6		6:5	3:2		2:1	
-8			4:5	10:11	11:10	4:3			
-9		1:2	3:4	5:6	1:1				2:1
-10				4:5		6:5			2:1
-11			2:3	3:4	10:11	11:10			
-12			4:7	2:3	4:5	1:1			
-13				3:4	10:11	11:10			
-14			1:2		2:3	5:6	1:1	11:10	
-15				1:2			1:1	5:4	4:3
-16							5:6	10:11	11:10
-17					1:2			4:5	10:11
-18						1:2			5:6
-19							1:2	2:3	5:6
-20	4:7						1:2	2:3	3:4

LAMINA Nº 14

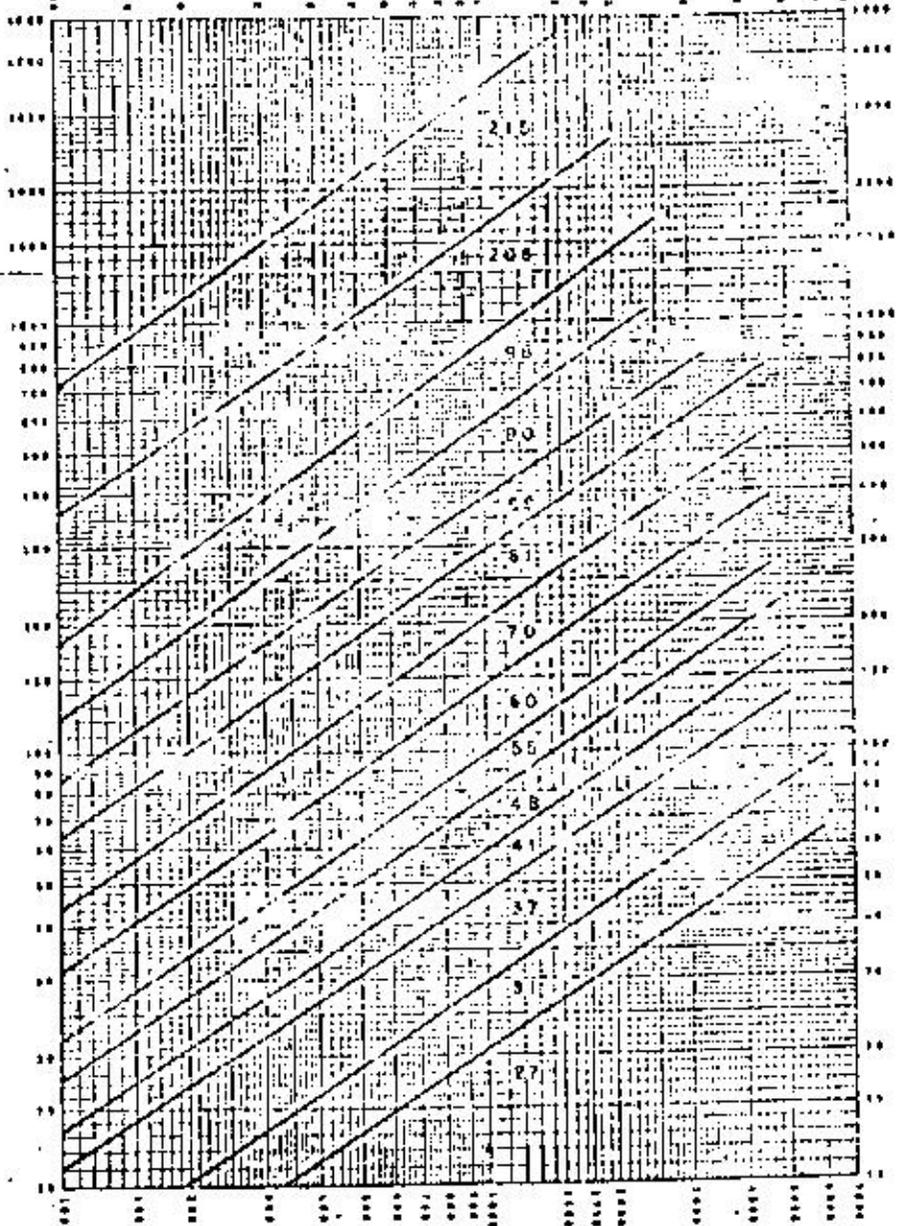


Lámina Nº 15



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EQUIPO ELECTRICO

ING. LEANDRO MONTES LARIOS

ABRIL, 1984

# I N D I C E

1

	PAG.
Apartarrayos.....	22
Arrancador.....	23
Arrancador Magnético.....	29
Arrancador Manual.....	26
Arrancador a Tensión Plena.....	24
Arrancador a Tensión Reducida.....	24
Cálculo del Conductor Eléctrico.....	42
Cables en Paralelo.....	39
Capacidad del Transformador.....	19
Conductores Eléctricos.....	35
Conductores Eléctricos Sumergibles.....	35
Conexión Delta Estrella del Transformador.....	17
Consejos para la conservación de Arrancadores y Motores.....	52
Cuchilla Fusible.....	20
Diagrama Unifilar.....	49
Determinación de la Potencia consumida por un Motor.....	9
Equipo de Control y Protección.....	23
Instrumentos de Medición.....	50
Interruptor.....	31
Interruptor de Fusibles.....	32
Interruptor Termomagnético.....	32
Interruptor Electromagnético.....	32
Motor Hírozontal.....	5
Motor Monofásico.....	1
Motor Sumergible.....	5
Motor Trifásico.....	1
Motor Vertical.....	5
Partes de Equipo Eléctrico.....	48
Partes Principales del Transformador.....	17
Principio de Operación del Motor.....	3
Regulación.....	41
Selección de la Capacidad del Motor Vertical.....	6
Selección de la Capacidad del Motor Sumergible.....	8
Subestación Eléctrica.....	15
Tabla de Capacidad de Corriente de Conductores TW y THW.....	36
Tabla de Características del Conductor Sumergible.....	38
Tabla para selección de tubo conduit.....	40
Tabla para determinar conductor para motor vertical horizontal.....	44
Tabla para determinar conductor para motor sumergible.....	46
Tabla para selección de Equipo de control y transformador.....	34
Tipos de motores.....	1
Transformador Eléctrico.....	15
Tubo Conduit.....	39
Velocidad del Motor.....	3

## TIPOS DE MOTORES ELECTRICOS

**MOTOR ELECTRICO DE INDUCCION.** - El motor eléctrico de inducción recibe este nombre porque opera bajo el principio de inducción electromagnética y se define como una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

El motor de inducción es conocido también como motor "asíncrono" porque no llega a desarrollar la velocidad "síncrona" que no puede ser alcanzada por el motor por ser la velocidad de las ondas electromagnéticas.

El motor eléctrico compete ventajosamente con el de combustión interna por tener una vida económica mucho mayor, por su alta eficiencia, por su costo, operación y mantenimiento más bajos, puede ser monofásico o trifásico de rotor devanado o de jaula de ardilla, de 2 ó varios polos según la velocidad y frecuencia de operación.

**MOTOR MONOFASICO.** - Es utilizado en potencias pequeñas y cuando la alimentación disponible así sea.

**MOTOR TRIFASICO.** - Es el más usado, se fabrica desde 1/4 HP hasta potencias mayores de 2000 HP, la ventaja sobre el monofásico

es la de demandar menor corriente.

**MOTOR DE ROTOR DEVANADO.** - Recibe este nombre porque está devanado, se construye por paquetes de láminas troqueladas y ranuradas montadas sobre la flecha, las bobinas se devanan sobre las ranuras, su arreglo depende del número de polos y fases.

**MOTOR DE ROTOR JAULA DE ARDILLA.** - El 90% de la fabricación de motores es rotor jaula de ardilla y recibe este nombre debido a que tiene la forma de una jaula de ardilla, en este caso el bobinado está constituido por barras fundidas de aluminio quedando unidas entre sí en corto circuito.

**ELEMENTOS QUE FORMAN UN MOTOR DE INDUCCION.** - Básicamente el motor de inducción está formado por los siguientes elementos:

- a). - Estator
- b). - Rotor
- c). - Carcaza

10

**ESTATOR.** - El estator representa una de las partes del circuito magnético, está formado por paquetes de láminas de acero al silicio troqueladas y ranuradas con objeto de que el bobinado del estator pueda

alojarse en las ranuras, a semejanza del transformador el estator forma el circuito primario.

**ROTOR.** - Es la parte móvil del motor y la que transmite por medio de la flecha la energía mecánica a la carga, en forma análoga al transformador representa el circuito secundario.

**CARCAZA.** - Recibe también el nombre de soporte o envolvente por ser el elemento que contiene al estator y rotor.

#### PRINCIPIO DE OPERACION DEL MOTOR ELECTRICO DE INDUCCION

Si se aplica tensión a las terminales del estator, se produce una fuerza magnetomotriz uniforme y giratoria. Si por ejemplo, el rotor es "jaula de ardilla", en cada barra se induce una fuerza magnetomotriz de sentido opuesto que hace circular una corriente produciéndose un par que hace girar al rotor.

**VELOCIDAD DEL MOTOR.** - La velocidad del motor depende únicamente de la frecuencia y del número de polos, se calcula con la fórmula de la velocidad síncrona.

$$N_s = \frac{120 f}{p}$$

D o n d e :

$N_s$  Es la velocidad síncrona en revoluciones por minuto (rpm).

$f$  Es la frecuencia en ciclos por segundo (cps)

$p$  Es el número de polos.

Así por ejemplo si el número de polos es 2 para 60 cps:

$$N_s = \frac{60 \times 120}{2} = 3600 \text{ rpm.}$$

**DESLLZAMIENTO.** - El deslizamiento se define como la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor, se expresa en porciento por medio de la fórmula siguiente:

$$\% S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

D o n d e :

$N_s$  Es la velocidad síncrona en rpm.

Nr	Es la velocidad del rotor en rpm.
$\% S$	Es el porcentaje de deslizamiento ( el máximo permisible es del 15% ).

**MOTOR HORIZONTAL.** - El motor horizontal es el más común y se llama así por la posición de la flecha que es paralela con respecto a su base.

**MOTOR VERTICAL.** - El motor vertical tiene la flecha normal a su base, se construye de flecha sólida ó hueca siendo el de flecha hueca el más empleado, se utiliza para accionar bombas verticales de turbinas, para evitar la rotación inversa de la bomba tiene trinquete de no retroceso.

La potencia nominal de los motores horizontales y verticales que se construyen bajo Normas Americanas es la potencia al freno es decir la que entregan en la flecha, por lo que la potencia total desarrollada es la que resulta de dividir la potencia nominal entre la eficiencia.

**MOTOR SUMERGIBLE.** - El motor eléctrico sumergible va unido en la succión de la bomba por medio de un cople rígido de acero inoxidable, trabaja con una carga de agua en su interior independiente del agua del pozo para lubricar las chumaceras y refrigerar las bobinas, el

devanado de las bobinas está hecho con alambre de cobre aislado a prueba de agua.

En los motores eléctricos sumergibles construidos bajo Normas Europeas, la potencia nominal es la potencia total desarrollada, por lo que debe multiplicarse la potencia nominal o dividirse la potencia requerida por la eficiencia del motor para seleccionar su capacidad.

**FACTOR DE SERVICIO.** - La potencia nominal de la placa del motor multiplicada por el factor de servicio, es una indicación que marca la carga total que puede soportar sin daño, cuando opera a la tensión, frecuencia y temperatura nominales.

#### SELECCION DE LA CAPACIDAD DEL MOTOR ELECTRICO

Considerando los siguientes datos:

Gasto = 50 lps

Carga dinámica total = 103 m.

Eficiencia = 75%

a). - Motor eléctrico vertical. -

La potencia requerida por la bomba en HP para los datos anteriores se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$HP_{req} = \frac{Q \times C.D.T.}{76 \times E}$$

D o n d e :

Q	Es el gasto en lps
C.D.T.	Carga dinámica total
E	Eficiencia de la bomba
76	Constante para obtener HP

$$HP_{req} = \frac{50 \times 103}{76 \times 0.75} = 90.35$$

En base al cálculo anterior el motor adecuado es de 100 HP, considerando la eficiencia del 90% la potencia total desarrollada será.

$$HP_T = \frac{100}{0.9} = 111.11$$

Pero como la potencia requerida es de 90.35 HP la potencia total desarrollada por el motor de 100 HP es:

$$HP_T = \frac{90.35}{0.9} = 100.39$$

#### b). - Motor Eléctrico Sumergible

Partiendo de la potencia requerida del cálculo anterior, - según las eficiencias siguientes se tiene:

El motor de 100 HP tiene una eficiencia del 86%.

El motor de 125 HP tiene una eficiencia del 87%.

Multiplicando la eficiencia por la potencia se obtiene la potencia al freno es decir en la flecha.

$$HP = 100 \times 0.86 = 86$$

$$HP = 125 \times 0.87 = 108.75$$

Dividiendo la potencia requerida entre la eficiencia del motor se obtiene la potencia nominal.

$$HP = \frac{90.35}{0.86} = 105.05$$

$$HP = \frac{90.35}{0.87} = 103.85$$

Como se observa el motor adecuado es el de 125 HP.

## DETERMINACION DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR UN MOTOR ELECTRICO

El medio más exacto de obtener la potencia consumida por un motor es con un Wattmetro, haciendo la conversión a HP, pero si no se cuenta con este instrumento puede calcularse en forma muy aproximada -- determinando la corriente en Amperes y el voltaje en volts con un Voltampermetro.

### EJEMPLO No. 1

En un motor de 100 HP se obtuvieron las siguientes lecturas:

#### CON EL VOLTAMPERMETRO

Voltaje E = 452 Volts

Corriente I = 99.7 Amp.

#### CON EL WATTMETRO

#### POTENCIA TOTAL DESARROLLADA

$$P = 68.5 \text{ KW}$$

#### POTENCIA REACTIVA

$$P = 32.36 \text{ KVAR}$$

#### CONVERSION DE KW A HP

$$\text{HP} = \frac{\text{KW}}{0.746} \times N$$

$$\text{HP} = \frac{68.5}{0.746} \times 0.9 = 82.64$$

Con los valores de potencia obtenidos con el Wattmetro se calcula la potencia aparente en KVA y el factor de potencia.

#### POTENCIA APARENTE

$$\text{KVA} = \sqrt{\text{KW}^2 + \text{KVAR}^2}$$

$$\text{KVA} = \sqrt{(68.5)^2 + (32.36)^2} = \sqrt{4692.25 + 1047.16} = 75.75$$

#### FACTOR DE POTENCIA

$$\text{FP} = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}} = \frac{68.5}{75.75} = 0.9$$

Para determinar la potencia con los datos de corriente y voltaje se pueden emplear las siguientes fórmulas:

POTENCIA TOTAL DESARROLLADA

$$P = \frac{\sqrt{3} \times E \times I \times FP}{1000} = \text{KW} \quad \dots \dots (1)$$

POTENCIA NOMINAL Y CONVERSION DE KW A HP

$$\text{HP} = \frac{\text{KW}}{0.746} \times N \quad \dots \dots (2)$$

POTENCIA NOMINAL EN HP

$$\text{HP} = \frac{\sqrt{3} \times E \times I \times N \times FP}{746} \quad \dots \dots (3)$$

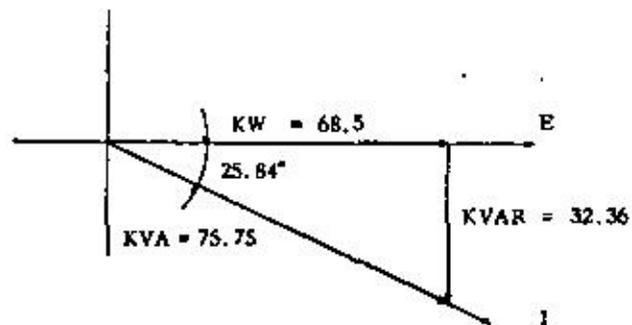
USANDO 1 Y CONSIDERANDO FP = 0.85

$$P = \frac{1.73 \times 452 \times 99.7 \times 0.85}{1000} = 66.27 \text{ KW}$$

USANDO 2

$$I'' = \frac{66.27}{0.746} \times 0.9 = 79.95$$

DIAGRAMA DE POTENCIAS



$$FP = \cos 25.84^\circ = 0.9$$

## EJEMELO No 2

En un motor de 200 HP se obtuvieron las siguientes lecturas:

## CON VOLTAMPERMETRO

$$\begin{aligned} E &= 450V \\ I &= 201.4A \end{aligned}$$

## CON WATTMETRO

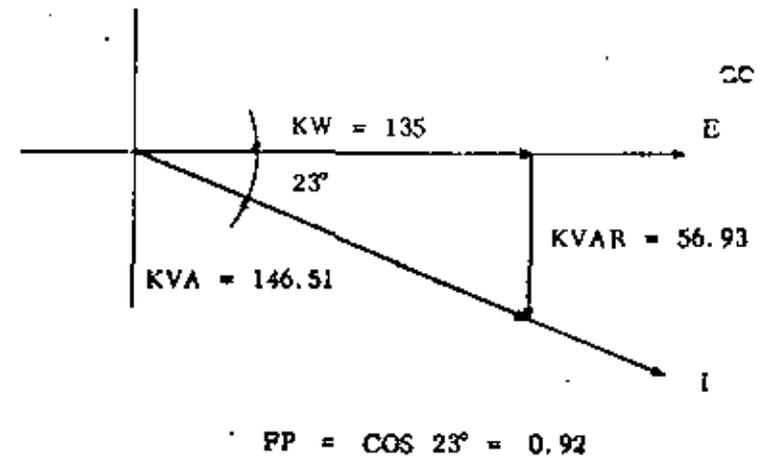
$$\begin{aligned} P &= 135 \text{ KW} \\ \text{HP} &= 162.86 \\ P &= 56.93 \text{ KVAR} \\ \text{KVA} &= 146.51 \\ \text{F. P.} &= 0.92 \end{aligned}$$

## POTENCIA TOTAL DESARROLLADA

$$P = \frac{1.73 \times 450 \times 201.4 \times 0.85}{1000} = 133.27 \text{ KW}$$

$$\text{HP} = \frac{133.27}{0.746} \times 0.9 = 160.78$$

## DIAGRAMA DE POTENCIAS



## SUBESTACION ELECTRICA

Una subestación eléctrica es el conjunto de equipos o dispositivos que permiten cambiar las características de la energía eléctrica - ( voltaje, corriente, etc. ).

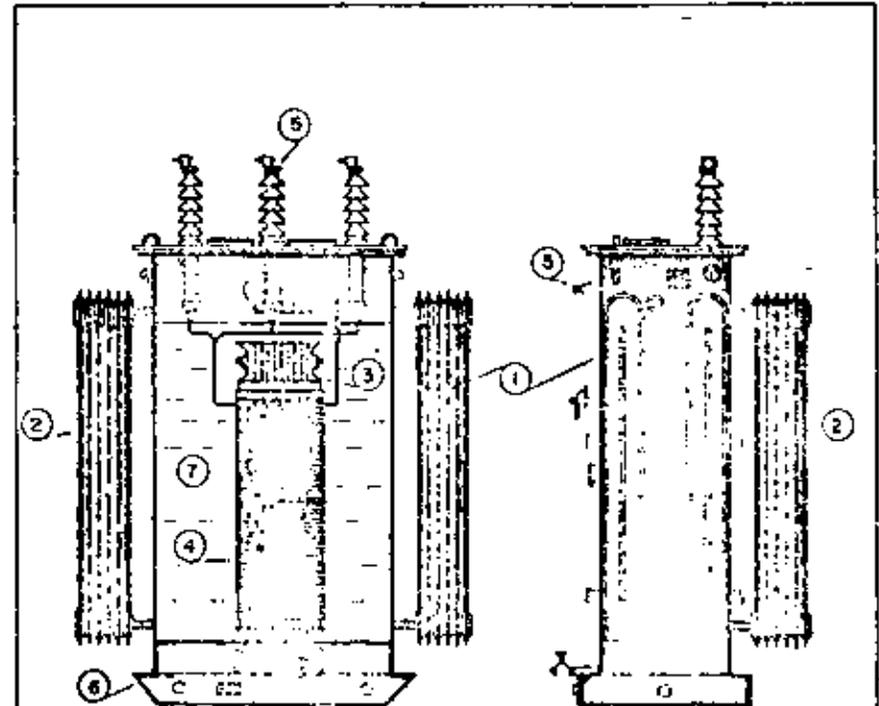
### ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA SUBESTACION. - -

La subestación la constituyen el transformador, las cuchillas, interruptor, apartarrayos, pararrayos, aisladores, postes, estructuras, etc.

### TRANSFORMADOR ELECTRICO. - Un transformador es --

una máquina que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro conservando la frecuencia constante, bajo el principio de inducción electromagnética.

Los transformadores se construyen con aceite ó secos, con enfriamiento por aire; por aceite ya sea natural o forzado por medio de bombas y ventiladores. el enfriamiento más empleado es el de aceite con enfriamiento natural, en éste tipo el aceite circula por convección natural dentro de un tanque provisto de enfriadores o radiadores tubulares.



### PARTES ESENCIALES DEL TRANSFORMADOR

- 1.- TANQUE
- 2.- TUBOS RADIADORES
- 3.- NUCLEO (CIRCUITO MAGNETICO)
- 4.- DEVANADOS
- 5.- BOQUILLAS O AISLADORES DE PORCELANA
- 6.- BASE PARA DESLIZAR
- 7.- REFRIGERANTE

## PARTES PRINCIPALES DEL TRANSFORMADOR

- a). - Núcleo o circuito magnético.
- b). - Devanados.
- c). - Aceite refrigerante y aislante.
- d). - Tanque o recipiente.
- e). - Boquillas de baja y alta tensión.
- f). - Tapa o cambiador de derivaciones.
- g). - Tubos radiadores.

Los transformadores pueden ser monofásicos o trifásicos, de uno ó varios voltajes en el primario y secundario con conexiones Delta Estrella, Estrella Delta, Delta Delta, Estrella Estrella, etc. el más usado para equipos de bombeo es el trifásico, conexión Delta Estrella.

CONEXIÓN DELTA ESTRELLA. - Es un arreglo que se hace en los devanados de los transformadores y se emplea porque pueden obtenerse dos voltajes diferentes sin hacer cambios en las conexiones de los devanados.

$H_1, H_2, H_3$  . - Terminales de la conexión delta en alta tensión.

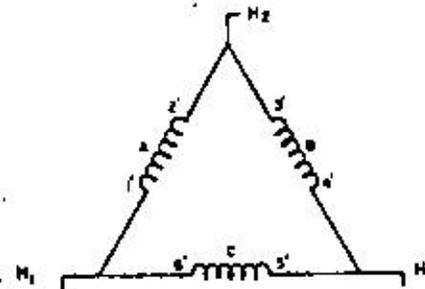
A, B, C . - Devanados de alta tensión.

1', 3', 5' . - Principio de bobinas de los devanados de alta tensión.

2', 4', 6' . - Final de bobinas de los devanados de alta tensión.

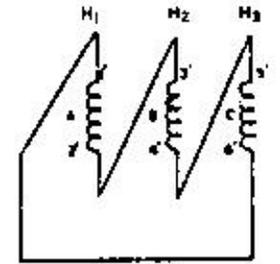
$X_1, X_2, X_3$  . - Terminales de la conexión estrella en baja tensión.

## SIMBOLOS

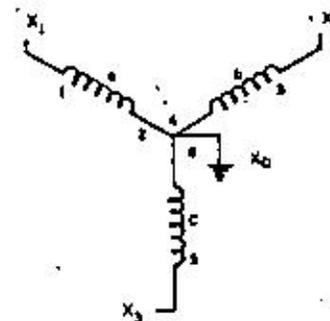


DELTA

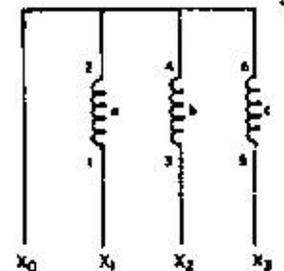
## DIAGRAMAS



CONEXION DELTA



ESTRELLA



CONEXION ESTRELLA

## CONEXION DELTA ESTRELLA

X0. - Terminal del neutro o punto común de la conexión estrella.

a , b , c. - Devanados de baja tensión

1 , 3 , 5. - Principio de bobinas de los devanados de baja tensión.

2 , 4 , 6. - Final de bobinas de los devanados de baja tensión.

Si el valor del voltaje es 440 volts entre cualquier par de terminales. por ejemplo:  $X_1 - X_2$ . el voltaje entre cualquier terminal y neutro será 254 volts por ejemplo:  $X_1 - X_0$ . si el voltaje es 220 volts entre  $X_1 - X_2$ , entre  $X_1 - X_0$  será 127 volts.

La razón es que en un sistema trifásico estrella el voltaje entre fases llamado "voltaje de línea" debe dividirse entre  $\sqrt{3}$  para obtener el voltaje de fase.

CAPACIDAD DE UN TRANSFORMADOR PARA UN MOTOR - ELECTRICO. - Normalmente se considera que un 1HP = 1 KVA pero si se desea conocer estrictamente la capacidad en KVA se parte de la equivalencia de 1 HP en Watts utilizando la fórmula siguiente:

$$KVA = \frac{HP \times KW}{FP \times N}$$

Donde :

KVA Es la potencia aparente en Kilovolt - Amperes.

KW Es la potencia real en Kilowatts.

FP Es el factor de potencia del motor (85% mínimo -- aceptable).

N Es la eficiencia del motor (90%)

HP Es la potencia en caballos = 746 Watts.

Así por ejemplo para 100 HP utilizando la fórmula.

$$KVA = \frac{100 \times 0.746}{0.85 \times 0.9} = 97.5$$

Partiendo de la igualdad de 1 HP = 1 KVA el transformador requerido es de 100 KVA pero como el transformador comercial es de -- 112.5 KVA se selecciona éste.

CUCHILLAS FUSIBLE. - Las cuchillas desconectadoras fusible sirven para proteger al transformador contra corriente excesiva, -- provocada por sobrecarga o corto circuito, además sirven para conectar -- o desconectar el transformador de la línea de alta tensión.

INTERRUPTOR. - En subestaciones de plantas de bombeo se

CAPACIDAD DEL LISTON FUSIBLE PARA USARSE  
EN DESCONECTADORES FUSIBLE, PARA TRANS-  
FORMADORES TRIFASICOS EN VOLTAJES DE:  
13.2, 22 y 33 KV.

KVA DEL TRANSFORMADOR	AMPERES DEL FUSIBLE		
	13.2 KV	22 KV	33 KV
15	2	1.5	1
30	3	2	1.5
45	5	3	2
50	5	3	2
75	7	5	3
112.5	10	7	5
150	15	7	5
225	20	10	10
300	20	15	10

hace necesario contar con un medio de desconexión para los casos en que se requiera desconectar la subestación por reparación o siniestro en las instalaciones, este medio de desconexión debe ser capaz de abrir con carga y esto se logra con un interruptor.

**APARTARRAYOS.** - El equipo eléctrico debe estar protegido contra sobretensiones de origen atmosférico que se originan con las descargas atmosféricas, esta protección se logra con el apartarrayos cuya función es la de descargar a tierra la corriente que se produce en una descarga atm. cuando ésta no caiga sobre la línea eléctrica de alta tensión ya que por el fenómeno de inducción se inducen sobrevoltajes en la línea cuyas ondas viajan a la velocidad de la luz en ambas direcciones de la línea.

**PARARRAYOS.** - El pararrayos es una punta aguda de metal buen conductor que se instala en las partes más elevadas ( edificios, torres, postes, etc. ), para atraer el rayo y proteger al equipo contra descargas directas.

**AISLADORES.** - Para mantener un buen aislamiento entre las partes energizadas y tierra se utilizan los aisladores que se construyen de porcelana u otros materiales altamente resistentes al paso de la corriente.

### EQUIPO DE CONTROL Y PROTECCIÓN

Las instalaciones eléctricas deben estar provistas de elementos detectores de situaciones anómalas de operación, que puedan evitar que éstas lleguen a destruirse o dañarse ocasionando interrupción del servicio e inversiones por reparación; las instalaciones con motores eléctricos se controlan y protegen por medio de arrancadores e interruptores.

**ARRANCADOR.** - El arrancador como su nombre lo indica, sirve para poner en marcha un motor así como para detenerla, todo motor de más de 10 HP debe estar provisto de un arrancador, los arrancadores protegen a los motores contra sobrecargas por medio de elementos térmicos o magnéticos a través de relevadores de sobrecarga que efectúan el paro del motor.

El arrancador es capaz de interrumpir una corriente diez veces mayor que la nominal del motor a plena carga, pero las corrientes debidas a fallas de corto circuito son mucho mayores. Por ello el circuito debe estar siempre protegido por medio de fusibles o interruptores automáticos, éstos deben instalarse antes del arrancador.

Los arrancadores se construyen manuales y automáticos a tensión plena y tensión reducida, para equipos de bombeo se utilizan los automáticos a tensión reducida.

**ARRANCADOR A TENSION PLENA.** - Estos arrancadores son los más sencillos pues constan de un contacto o contactor y un relevador de sobrecarga, se usan cuando se requiere un par elevado al arranque y la corriente tomada no es excesiva para la línea de alimentación, en motores pequeños o motores con corriente de arranque reducida ya que los motores de inducción en el arranque toman de 6 a 10 veces la corriente de plena carga causando con ello caídas de Voltaje en la línea de alimentación, haciendo que los motores instalados en el mismo sistema salgan de operación al bajarse el voltaje.

**ARRANCADOR A TENSION REDUCIDA.** - Este arrancador limita la corriente de arranque reduciendo el par de arranque, es el más usado, se construyen 4 tipos que son:

- a). - Tipo autotransformador.
- b). - Tipo de resistencias primarias.
- c). - Tipo devanado bipartido.
- d). - Tipo estrella delta.

**ARRANCADOR A VOLTAJE REDUCIDO TIPO AUTOTRANSFORMADOR.** - Es el tipo más usado por tener más ventajas, consta generalmente de 2 autotransformadores conectados en delta abierta con derivaciones de voltaje al 50, 65 y 80% de la tensión de línea, los fabricantes --

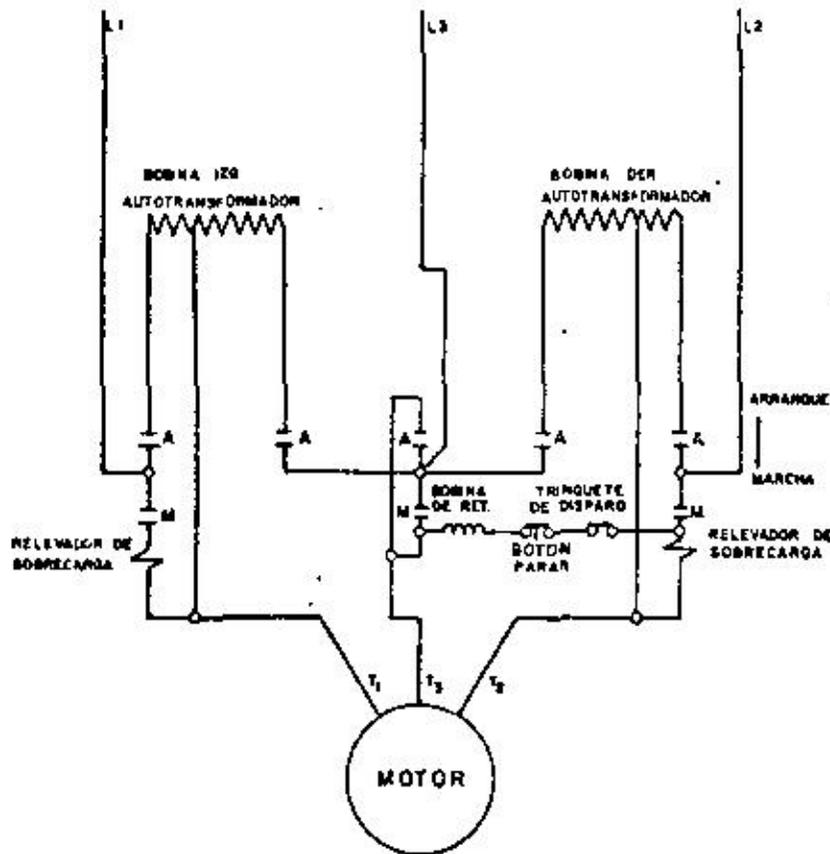


DIAGRAMA ELECTRICO DEL  
ARRANCADOR MANUAL

los suministran en la derivación del 65%.

Las características de estos arrancadores son: corriente de arranque reducida, par de arranque bajo y prácticamente constante, potencia absorbida pequeña y factor de potencia bajo.

Se construyen arrancadores de autotransformador manuales y automáticos, en los manuales, los contactos están sumergidos en aceite y se accionan por una palanca que se acciona desde el exterior de la caja, constan de 5 contactos de arranque A y 3 de marcha M.

El arrancador automático consta de un contactor de arranque de 5 contactos 2A y un contactor de marcha con 3 contactos M, cuando se oprime el botón de arranque el contactor de arranque acciona conectando el autotransformador tomando el motor la tensión reducida, el contactor acciona también un relé de tiempo el que después de que el motor acelera desconecta el contactor de arranque y conecta el de marcha, quedando fuera el autotransformador y el motor directo a la línea a través del relevador de sobrecarga.

ARRANCADOR MANUAL. - El arrancador manual consta básicamente de 3 bobinas de autotransformador (una para cada alimentador), contactos de arranque, contactos de marcha, dispositivos de protec-

ción y su palanca de operación. Cada una de las bobinas del autotransformador tiene derivaciones para reducir la tensión de arranque al 80%, 65% y 50% de la tensión plena. La derivación usada deberá proveer el par requerido a la mínima corriente de arranque.

Para operar este arrancador, se mueve la palanca a la posición de "arranque" y se mantiene en esa posición (7 - 13 seg.) conectando el motor a través del autotransformador; posteriormente se pasa la palanca a la posición de "marcha" donde se mantiene indefinidamente sostenida por una bobina de retención, en esta posición el autotransformador es sacado de la línea de alimentación y el motor queda conectado a tensión plena. La bobina de retención se conecta en serie con el contacto del relevador de sobrecarga, de manera que cuando actúa éste, desconecta la bobina, la cual hace que la palanca vuelva a su posición de "desconectado".

Para desconectar el motor, basta con oprimir el botón de "paro" el cual desconecta la bobina de retención. Los contactos en este tipo de arrancador están sumergidos en aceite con objeto de evitar el flaqueo. También hay arrancadores en aire, los cuales en lugar de contactos tienen un interruptor de doble tiro.

La mayoría de los arrancadores de este tipo, usan en la actualidad dos bobinas de autotransformador. En estos arrancadores, ca

da una de las bobinas se conecta en serie con dos de las líneas, formando una conexión equivalente a una delta abierta.

ARRANCADOR MANUAL A VOLTAJE REDUCIDO. - Estos arrancadores están contruidos para usarse con motores "jaula de ardilla", cuya potencia no permite el arranque a pleno voltaje, debido a que la corriente sería excesiva y causaría un descenso repentino del voltaje, que perturbaría a los conectados en el mismo circuito, haciéndolos salir de su operación; actualmente se protegen contra sobrecarga y bajo voltaje, con relevadores con protección en las 3 fases y bobina de cierre.

CAPACIDAD DE ACEITE Y PESO DE LOS ARRANCADORES MANUALES

TAMAÑO	HP	Lt	PESO Kg
2	15 - 30	8	45
3	30 - 50	12	95
5	60 - 200	23	140
5M	250 - 300	23	235

1-4  
CT

**ARRANCADOR MAGNETICO** - En los arrancadores magnéticos la operación es similar a los manuales, excepto que el cambio se hace automáticamente por medio de contactores magnéticos y un relevador de tiempo.

**ARRANCADOR MAGNETICO A VOLTAJE REDUCIDO.** - En los arrancadores del tipo autotransformador, se utilizan para el arranque de motores "jaula de ardilla" limitando la corriente en la etapa de arranque e impidiendo corrientes que causen fluctuaciones perjudiciales en la línea de alimentación.

Constan de dos contactores de arranque ( voltaje reducido ) un contactor de marcha (pleno voltaje), relevador de tiempo, relevador de sobrecarga, autotransformador con 3 derivaciones a 50, 65 y 80% de la tensión nominal (se suministran en la derivación de 65%).

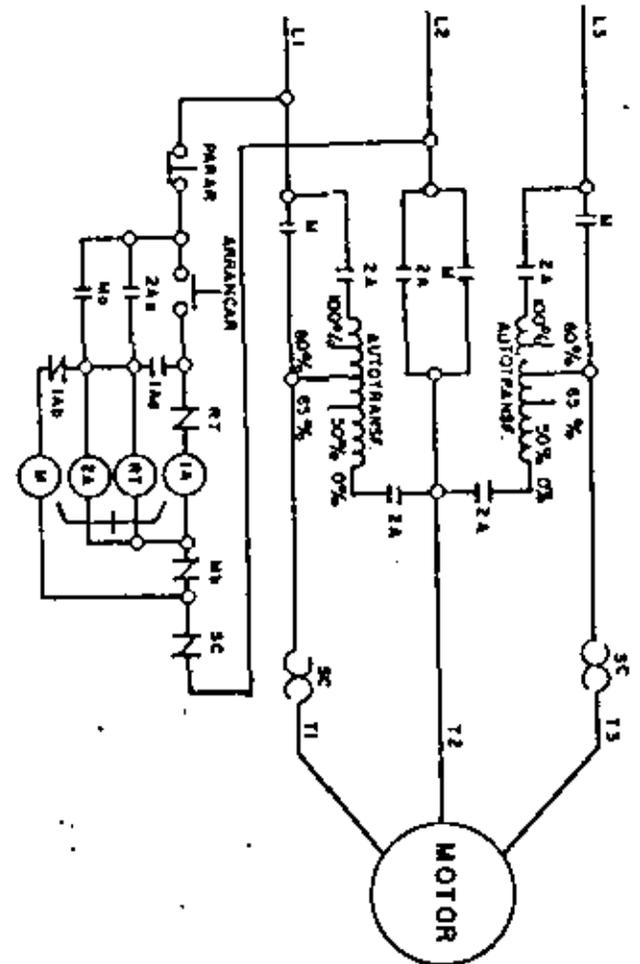
Los arrancadores magnéticos pueden operar a control remoto, se recomienda el uso de relevadores de sobrecarga tripolares para dar protección en las 3 fases.

#### VENTAJAS DEL ARRANCADOR AUTOMATICO RESPECTO AL MANUAL

1o. - Puede operarse a control remoto.

30

DIAGRAMA ELECTRICO DEL  
ARRANCADOR MAGNETICO



16

- 2o. - Puede arrancarse un mayor número de veces que el manual.
- 3o. - Su transición es cerrada evitando que el motor se desconecte al pasar de arranque a marcha.
- 4o. - Como la transferencia de arranque a marcha es automática se evita que al operarlo se mantenga el autotransformador conectado hasta llegar a quemarlo

**CAPACIDAD DEL ARRANCADOR.** - El arrancador debe ser de la misma capacidad en HP que el motor. puede ser mayor siempre y cuando la protección térmica o magnética sea adecuada a la potencia instalada del motor pero nunca inferior porque se quemaría el autotransformador.

**INTERRUPTOR.** - Las instalaciones deben estar protegidas por medio de un interruptor que debe instalarse antes del arrancador.

Para proteger las instalaciones contra corto circuito existen tres tipos de interruptores que son:

- a). - De fusible. -
- b). - Termomagnéticos. -
- c). - Electromagnéticos. -

Su aplicación es de acuerdo con las características eléctricas que se requieran.

**INTERRUPTOR DE FUSIBLES.** - Es la protección más simple, consta de una aleación de plomo y estaño de un punto de fusión muy bajo la que al fundirse interrumpe el circuito.

**INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO.** - Este interruptor tiene dos elementos de disparo uno térmico y otro magnético, el térmico se calienta al pasar una corriente excesiva producida por una sobrecarga efectuándose el disparo, el magnético es de "tiempo inverso", o sea que a mayor corriente menor es el tiempo de disparo y esto se produce en un corto circuito.

Este interruptor se usa más que el de fusibles por ocupar menos espacio, ser más liviano, porque no necesita cambiarse ningún elemento cuando opera, porque su capacidad es la mitad de la del fusible para protección de motores, por consiguiente más económico.

**INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO.** - Estos interruptores se usan cuando se requieren capacidades interruptivas muy altas, se construyen de operación manual y eléctrica, consisten de 2 mecanismos

uno de almacenamiento de energía por medio de carga de resorte y otro para cierre y disparo.

#### SELECCION DE LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR, - -

La capacidad recomendada para fuerza en termomagnético o electromagnético es dos veces la potencia y la del de fusible cuatro veces.

TABLA PARA SELECCIONAR LAS CAPACIDADES DE APARATOS DE CONTROL Y TRANSFORMADOR

Motor HP	Arrancador HP	Interruptor Term. 440 V. AMP	Transformador KVA
30	30	70	30
40	40	100	45
50	50	100	75
60	60	125	75
75	75	150	75
100	100	200	112.5
125	125	250	150
150	150	300	150

### CONDUCTORES ELECTRICOS

Los conductores eléctricos usados en instalaciones para equipos de bombeo son el TW, THW y el sumergible.

**CONDUCTOR TW.** - De cubierta termoplástica a base de cloruro de polivinilo PVC de uso general, resistente a la temperatura hasta 60°C en local seco o mojado, 600 volts, se fabrica en calibres de No. -- 20 al 4/0 AWG.

**CONDUCTOR THW.** - De cubierta termoplástica a base de cloruro de polivinilo especial PVC, de uso general resistente a la temperatura hasta 90°C en ambiente seco, 75°C con ambiente húmedo y 60°C en aceite, 600 Volts, se fabrica en calibres del 14 AWG al 1000 MCM.

**CONDUCTOR PARA ALIMENTACION DE BOMBAS SUMERGIBLES.** - Es un cable de tres conductores flexibles con aislamiento de polietileno en colores para identificación de fases y cubierta de cloruro de polivinilo PVC negra, para operar sumergido en el agua, resistente a la temperatura hasta 75°C, 600 volts, es de fabricación especial y bajo pedido, se fabrica en calibre 12 al 3/0 AWG.

TABLA COMPARATIVA DE CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE ENTRE EL CONDUCTOR TW Y THW PARA 30°C EN EL AMBIENTE

CALIBRE AWG 6 MCM	TW		THW	
	1 A 3 COND. EN TUBO	1 COND. AL AIRE LIBRE	1 A 3 COND. EN TUBO	1 COND. AL AIRE LIBRE
20	3	3		
18	5	5		
16	8	8		
14	15	20	25	30
12	20	25	30	40
10	30	40	40	55
8	40	55	50	70
6	55	80	70	100
4	70	105	90	135
2	95	140	120	180
1	110	165	140	210
1/0	125	195	155	245
2/0	145	225	185	285
3/0	165	260	210	330
4/0	195	300	235	385
250			270	425
300			300	480
350			325	530
400			360	575
500			405	660
600			455	740
750			500	845
1000			585	1000
TEMP. ° C	FACTORES DE CORRECCION PARA TEMP. SUPERIOR A 30°C			
	MULTIPLIQUESE LA CAPACIDAD DE CORRIENTE POR:			
	AISLAMIENTO			
	60°C	60°C	75°C	90°C
35	0.91	0.91	0.94	0.95
40	0.82	0.82	0.88	0.91
45	0.71	0.71	0.82	0.87
50	0.58	0.58	0.75	0.82
55	0.41	0.41	0.67	0.76
60			0.58	0.71
70			0.35	0.58
75				0.50
80				0.41

## FACTORES DE CORRECCION POR AGRUPAMIENTO

## CABLES CON SEPARACION MANTENIDA DE 1/4 A 1 VEZ SU DIAMETRO

NUMERO DE CABLES INSTALADOS VERTICALMENTE	EN CHAROLA					
	NUMERO DE CABLES INSTALADOS HORIZONTALMENTE					
	1	2	3	4	5	6
1	1.00	0.93	0.87	0.84	0.83	0.82
2	0.89	0.83	0.79	0.76	0.75	0.74
3	0.80	0.76	0.72	0.70	0.69	0.68
4	0.77	0.72	0.68	0.67	0.66	0.65
5	0.75	0.70	0.66	0.65	0.64	0.63
6	0.74	0.69	0.64	0.63	0.62	0.61

## CABLES SIN SEPARACION

EN CHAROLA	
NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES	FACTOR
3	1.00
4 - 6	0.80
7 - 24	0.70
25 - 42	0.60
43 Y MAS	0.50

EN TUBO CONDUIT O DUCTO CUADRADO				
NUMERO DE CONDUCTORES	4 - 6	7 - 24	25 - 42	MAS DE 42
FACTOR	0.80	0.70	0.60	0.50

## TABLA DE CARACTERISTICAS DEL CONDUCTOR PARA BOMBA SUMERGIBLE PARA 75°C DE OPERACION Y 30°C DE TEMPERATURA AMBIENTE

CALIBRE AWG	DIMENSIONES EXTERIORES		PESO Kg/Km	CAPACIDAD DE CORRIENTE EN AMP
	ALTO mm	ANCHO mm		
12	7.2	15.4	205	26
10	9.7	20.8	345	30
8	11.6	26.3	515	45
6	12.6	29.5	710	65
4	13.9	33.4	990	85
2	15.6	38.5	1410	115
1/0	20.2	49.1	2280	150
2/0	21.1	51.8	2680	175
3/0	22.9	57.1	3330	200

## FACTORES DE CORRECCION PARA TEMPERATURAS MAYORES DE 30°C

°C	FACTOR
40	0.88
45	0.82
50	0.75
55	0.67
60	0.58

40

Tabla para seleccionar el tubo conduit

CALIBRE CONDUCTOR AVG A NCM	NÚMERO DE CONDUCTORES TW O THW ADMISIBLES EN TUBO CONDUIT									
	9 NOM/NAET	13 (1/2")	14 (3/4")	25 (1")	32 (1 1/4")	34 (1 1/2")	52 (2")	64 (2 1/2")	76 (3")	102 (4")
14	3.5	5	12	21	33	15	27	25	27	24
12	4.0	4	7	16	25	9	16	19	20	19
10	4.6	3	3	12	19	7	12	14	14	16
8	6.1			6	10	5	9	10	9	16
6	7.9			4	6	3	6	7	7	13
4	9.1			3	4	3	5	5	6	10
2	10.7				3	3	6	6	8	9
1	12.8				3	3	5	5	7	8
L/0	13.8				2	2	4	4	8	24
2/0	15.0						4	4	19	19
3/0	16.3						4	4	16	16
4/0	17.8						3	3	13	13
250	19.8						3	3	10	10
300	21.2						3	3	9	9
350	22.5						3	3	8	8
400	23.7						3	3	7	7
500	25.9						3	3	6	6
600	28.8						3	3	5	5
750	31.5						3	3	4	4
1000	35.4						3	3	3	3

LA TABLA ANTERIOR FUE CALCULADA SOBRE LOS SIGUIENTES PORCENTAJES DEL AREA NOMINAL DE LOS TUBOS

* φ EXTERIOR	No. DE CONDUCTORES	φ UTILIZABLE DEL AREA
	1	53
	2	31
	MAS DE 2	40

5

**CANALIZACION.** - Los conductores eléctricos forrados de ben protegerse contra daño mecánico y cualesquier acción atmosférica o de roedores, etc, para conservar su aislamiento y evitar fallas por corto circuito se usa el tubo conduit o ducto.

**TUBO CONDUIT.** - Sirve para alojar en su interior los conductores eléctricos, puede ser metálico rígido o flexible, negro, galvanizado, pared delgada o gruesa, de plástico y asbesto cemento, se instala oculto o visible, se fabrica en diámetros de 13mm (1/2") a 102mm(4").

**DUCTOS.** - Hay dos tipos, el metálico y de cemento, el metálico se instala visible y se fabrica de sección cuadrada de 6.5 x 6.5, 10 x 10 y 15 x 15 cm. el de cemento se instala subterráneo y puede ser de dos o cuatro vías con diámetro máximo por vía de 102 mm (4").

**MUFA SECA.** - Para evitar la introducción del agua de lluvia en el tubo conduit se usa la mufa seca que es una pieza metálica curva con tapa de baquelita con agujeros para introducir el conductor.

**CABLES EN PARALELO.** - Cuando se tiene la necesidad de conducir corrientes altas, se recomienda el uso de cables en paralelo (con la condición de que sean del mismo calibre) en lugar de un solo cable

por fase, debido a que a mayor diámetro, se dificulta más su manejo al instalarse; no deben usarse conductores de diferentes calibres, por el hecho de que los conductores de menor sección pueden conducir más Amperes por mm<sup>2</sup> que los de mayor sección, por el "efecto superficial" o también llamado "efecto piel"; ya que mientras que, en un conductor delgado la corriente se distribuye uniformemente en toda su sección, en un conductor grueso la corriente sólo circula alrededor o sea en su superficie, de ahí el nombre antes mencionado.

**REGULACION.** - Cuando la carga que se va alimentar está alejada de la fuente, es conveniente verificar la caída de tensión para un calibre seleccionado; ya que no solo basta seleccionar el conductor de acuerdo con la corriente a conducir, aún habiendo considerado los factores de corrección por agrupamiento y temperatura, pues si se tienen caídas arriba de las permisibles, se estará desperdiciando energía, lo cual es indeseable en toda instalación eléctrica; las caídas máximas permisibles según Normas, son de 3% para alumbrado y 4% para fuerza; para determinar el calibre adecuado de un conductor por medio de la caída de tensión, se pueden utilizar las siguientes fórmulas:

$$a) \quad \text{Monofásico 2 hilos} \quad A = \frac{4 \times I \times L}{E_n \times P}$$

$$b) \quad \text{Trifásico} \quad A = \frac{2 \times I \times L \times \sqrt{3}}{E_f \times P}$$

DONDE:

- A = Área del conductor en mm<sup>2</sup>.
- I = Corriente total del circuito en Amp.
- L = Longitud total del circuito en m.
- E<sub>n</sub> = Voltaje entre fase y neutro en volts.
- E<sub>f</sub> = Voltaje entre fases en volts.
- P = Porcentaje de caída de voltaje.

#### CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL CONDUCTOR ELECTRI

CO. - El Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas establece que el alimentador de un motor eléctrico debe ser capaz de conducir el 125% de la corriente a plena carga.

$$I_c = 1.25 \quad I_{pc}$$

Para calcular la capacidad del conductor eléctrico para alimentar varios motores se toma el 125% de la corriente a plena carga del motor mayor más la suma de las corrientes a plena carga de los otros motores.

$$I_c = 1.25 I_{pc} \text{ motor mayor} + I_{pc1} + I_{pc2} + I_{pcn}$$

D onde

$I_c$  corriente del conductor alimentador en Amp.

$I_{pc}$  corriente a plena carga del motor en Amp.

La corriente a plena carga de un motor eléctrico de inducción trifásica se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$I_{pc} = \frac{HP \times 746 W}{\sqrt{3} \times E \times FP \times N}$$

D onde

HP Es la potencia del motor en caballos de fuerza.

746 W Es el equivalente de 1 HP.

E Es el voltaje entre fases en Volts.

FP Es el Factor de potencia del motor.

N Es la eficiencia del motor.

$\sqrt{3}$  Es el factor para sistema trifásico.

23

TABLA DE CALIBRES DE CONDUCTOR Y TUBO CONDUIT A 440 VOLTS

POTENCIA MOTOR HP	CALIBRE Y TIPO DE CONDUCTOR EN TUBO CONDUIT	
	TW	THW
20	8	10
25	8	10
30	6	8
40	4	6
50	2	4
60	2	2
75	1/0	2
100	3/0	1/0
125	4/0	3/0
150		4/0
200		300
250		500
300		600

## SELECCION DEL CONDUCTOR PARA UN MOTOR ELECTRICO DE 100 HP.

a). - Motor vertical de 100 HP, 440 Volts.

$$I_{pc} = 123 \text{ Amp.}$$

$$I_c = 1.25 \times 123 = 153.75 \text{ Amp.}$$

## CONDUCTOR

El calibre adecuado del conductor tipo TW es el No. 3/0 - -  
AWG. que maneja 165 Amp.

En THW el calibre adecuado es el No. 1/0 AWG que maneja  
155 Amp.

## TUBO CONDUIT

El diámetro del tubo conduit para alojar 3 conductores del -  
3/0 AWG es de 52mm ( 2" ).

Para alojar 3 conductores 1/0 AWG es de 38mm ( 1 1/2" ).

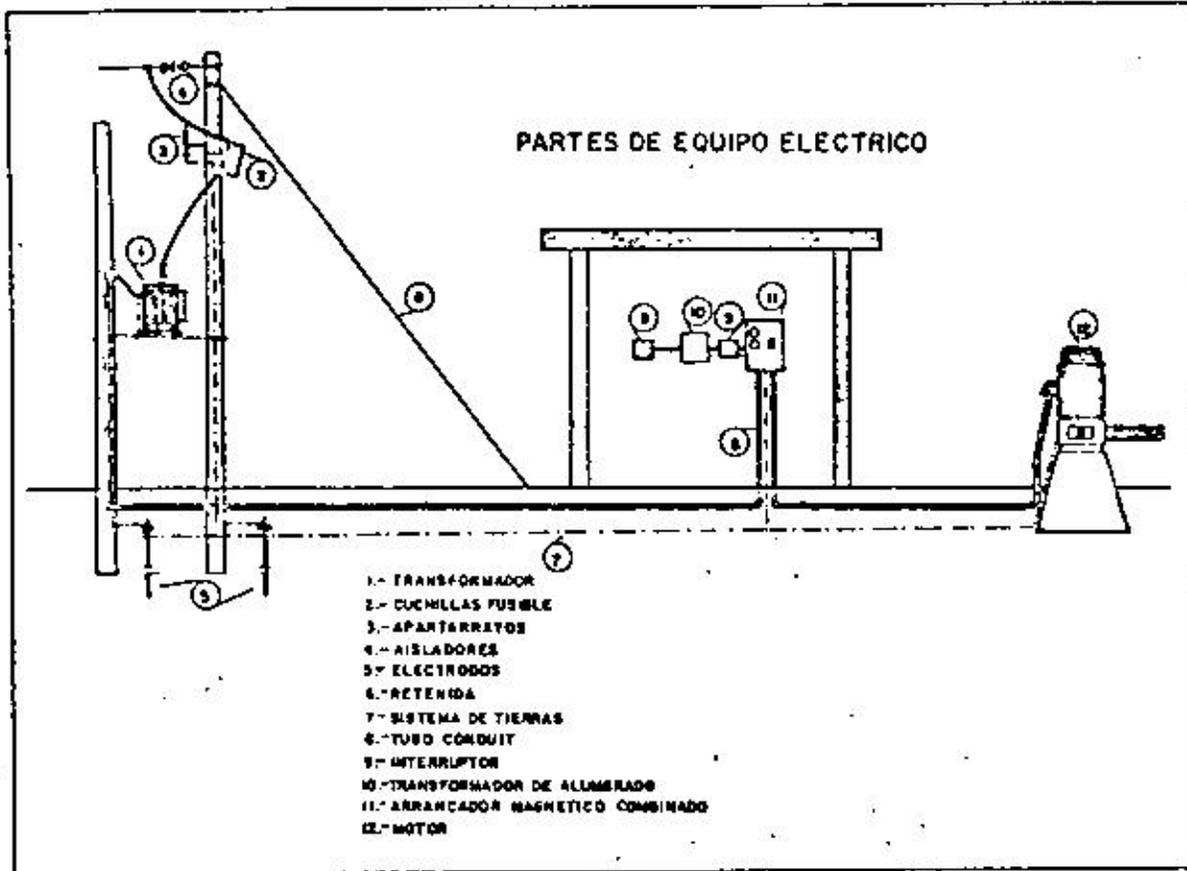
b). - Motor sumergible de 100 HP, 440 Volts.

$$I_{pc} = 125 \text{ Amp.}$$

TABLA PARA SELECCIONAR CABLES SUBMARINOS EN 440  
VOLTS

POTENCIA MOTOR (HP)	CORR. MOTOR PLENA CARGA (AMPERES)	CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG
5	9	3 x 12
7.5	12.5	3 x 12
10.5	15.5	3 x 12
12.5	19.	3 x 10
15	21.5	3 x 10
17.5	24.5	3 x 10
20	28	3 x 8
25	34.5	3 x 8
33	45	3 x 6
41	56	3 x 4
50	67.5	3 x 4
62	84	3 x 2
75	100	3 x 1/0
85	113	3 x 1/0
100	125	3 x 2/0
125	156	3 x 3/0
150	186	6 x 1/0
200	255	6 x 2/0
250	310	6 x 3/0

20  
41



$$I_c = 1.25 \times 125 = 156.25 \text{ Amp.}$$

### CONDUCTOR

El calibre adecuado del cable submarino es de 3 x 2/0 AWG

que no requiere tubo conduit.

## INSTRUMENTOS DE MEDICION

**VOLTAMPERMETRO DE GANCHO.** - Con este instrumento se pueden hacer mediciones de corriente y voltaje, su operación es sencilla obteniendo lecturas de corriente por medio de la pinza o gancho que se abre para encerrar al conductor donde se desea medir la corriente, la medición de voltaje se obtiene a través de dos terminales de voltaje que se aplican a las terminales de la línea.

**MEGGER.** - Se utiliza para medir la resistencia de aislamiento de los devanados de los transformadores, motores, arrancadores y de los conductores.

**WATTMETRO DE GANCHO.** - Con este instrumento se determina la potencia consumida en Watts y el factor de potencia.

**INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA.** - Estos aparatos miden la temperatura a través de una sonda, un registrador con aguja y cables con registro en grados centígrados, son apropiados para determinar la temperatura de operación de los motores.

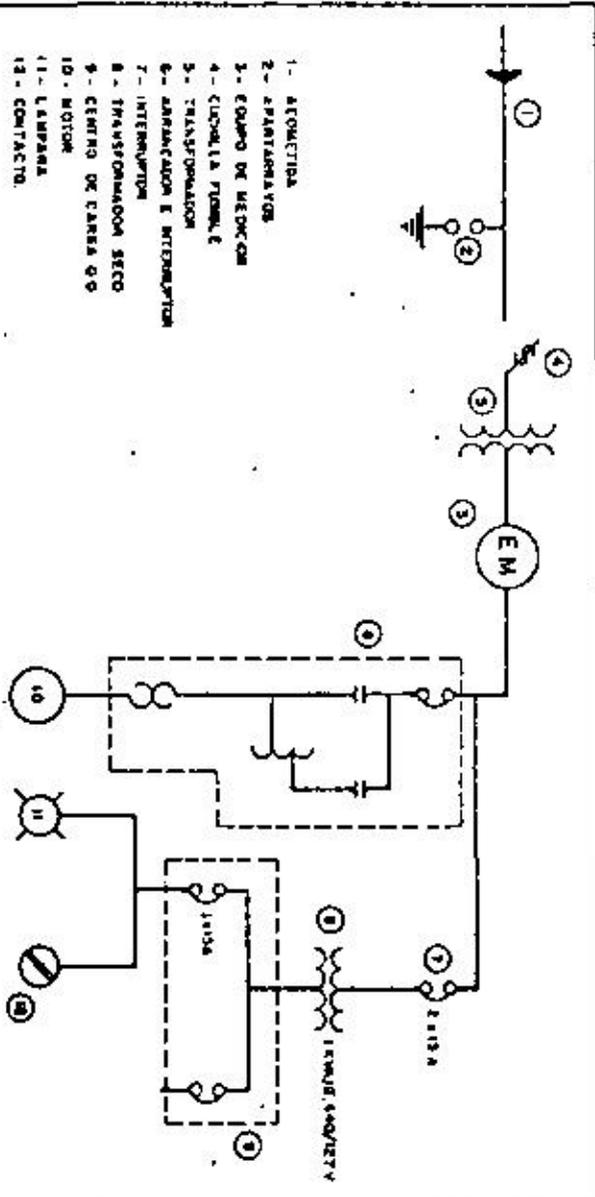


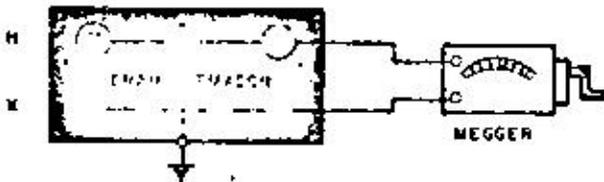
DIAGRAMA UNIFILAR

CONSEJOS WESTINGHOUSE Y GENERAL ELECTRIC PARA LA CONSERVACION DE ARRANCADORES Y MOTORES DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA

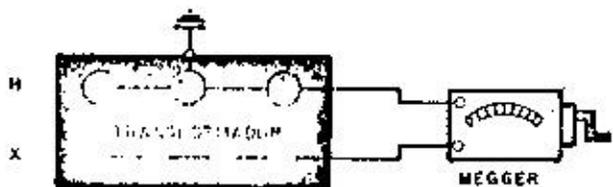
51  
DIAGRAMAS ILUSTRATIVOS PARA LA MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CON MEGGER



DEVANADO DE ALTO VOLTAJE VS DEVANADO DE BAJO VOLTAJE



ALTO VOLTAJE VS BAJO VOLTAJE + TANQUE A TIERRA



ALTO VOLTAJE + TANQUE A TIERRA VS BAJO VOLTAJE

ANOMALIA

EL MOTOR SE PARA

CAUSA

Motor sobrecargado

Voltaje muy bajo

Dispositivo de sobrecarga disparado.

REMEDIO

Disminúyase la carga.

Medir la tensión

Esperar a que se enfríe el dispositivo de sobrecarga y volver a arrancar.

EL MOTOR NO ARRANCA

Línea desconectada

Conexiones de control equivocadas.

Conexiones flojas

La máquina impulsada está bloqueada

Circuito abierto en los devanados del rotor o estator.

Corto circuito en los devanados del estator.

Contacto a tierra en el devanado.

Cofinetes duros.

Tiene una fase abierta.

Conectar la línea.

Comprobarlas con el diagrama de conexiones.

Apretar las conexiones.

Arrancar el motor en vacío. Si éste arranca bien, examínese la máquina impulsada.

Localizar los circuitos abiertos.

Localizar la bobina en corto circuito.

Localizar el contacto a tierra.

Arreglar o cambiar el cofinete.

Ver que no haya ninguna fase abierta.

ANOMALIA	CAUSA	REMEDIO
EL MOTOR TARDA MUCHO EN ACELERAR	Demasiada carga.	Disminuir la carga.
	Rotor defectuoso	Cambiarlo
	Voltaje muy débil	Que la empresa de energía aumente el voltaje.
ROTACION INVERTIDA.	Fases en secuencia errada.	Inviértanse las conexiones en el motor o en el tablero.
EL MOTOR SE CALIENTA O HUMEA	Sobrecarga	Medir la carga con el amperímetro. Reducirla.
	Ventilación defectuosa.	Limpiar los conductos de ventilación y los devanados, debe salir chorro constante de aire.
	Desequilibrio eléctrico puede tener una fase abierta.	Comprobar si hay desequilibrio de tensión y si el motor trabaja en una sola fase.
	Bobina a tierra.	Encontrar y reparar.
	Alto o bajo voltaje.	Comprobar con voltímetro.
	El rotor roza el estator.	Si no se debe a frenado defectuoso, cambiar los cojinetes.
EL MOTOR VBRA	Motor mal alineado	Realínease.
	Bases débiles.	Reforzarlas.
	Cojinetes de bolas defectuosos.	Reemplazar.

ANOMALIA	CAUSA	REMEDIO
MOTOR RUIDOSO	El motor funciona con una sola fase.	Parar el motor y arrancarlo de nuevo, no arrancará si está en una sola fase.
	El rotor roza con el estator.	Centrar el rotor.
	El motor flojo en la base.	Apretar los pernos de sujeción.
RUIDO MAGNETICO EN EL MOTOR	Entrehierro no uniforme.	Revísese y corrija.
	Rotor desequilibrado.	Equilibrese.
EL CONTACTOR O EL RELEVADOR NO SE CIERRA	No hay voltaje de entrada.	Revísense los fusibles y el interruptor.
	Bajo voltaje.	Revísese la línea de entrada y véase si los conductores son demandado delgados.
	Arrollamiento en circuito abierto.	Reemplácese.
	Botón, enclavamiento o relevador que no hacen buen contacto.	Ajustese para que se mueva correctamente y haga la presión apropiada.
	Conexión floja o conductor roto.	Desconéctese la corriente y revísese el circuito con una linterna.
	Botón mal conectado.	Revísense las conexiones y véase si están de acuerdo con el diagrama.

29

ANOMALIA	CAUSA	REMEDIO
EL CONTACTOR O EL RELEVADOR NO SE ABRE.	El contacto del relevador de sobrecarga está abierto.	Ajústese el relevador
	Piezas mecánicas dañadas, gastadas o mal ajustadas.	Límpiense y ajústense mecánicamente. Alinéense los cojinetes y véase que funcionen sin obstáculo. Repárense o reemplácense las piezas gastadas o dañadas.
	Botón mal conectado	Revísense las conexiones y véase si están de acuerdo con el diagrama.
	El botón, el enclavamiento o el contacto del relevador no está abriendo el circuito de la bobina.	Ajústese para obtener el movimiento correcto, facilidad de funcionamiento y apertura apropiada.
	Piezas mecánicas dañadas, gastadas o mal ajustadas.	Límpiense y ajústense mecánicamente. Alinéense los cojinetes y véase que funcionen sin obstáculo. Repárense o reemplácense las piezas gastadas o dañadas.

## ANOMALIA

## CAUSA

## REMEDIO

56

EXCESIVA CORROSION DE LOS CONTACTOS. LOS CONTACTOS SE FUNDEN Y SE PEGAN O SE CALIENTAN DEMASIADO.

Los resortes de los contactos no ejercen suficiente presión, lo cual hace que éstos se calienten o produzcan arcos al cerrarse.

Ajústense para aumentar la presión de contacto. Reemplácense los resortes o los contactos si fue necesario.

La superficie de los contactos está áspera y sólo deja pasar corriente por un área muy reducida.

Alísense los contactos con papel de lija o una lima de grano fino. Reemplácense si están muy gastados.

Los contactos vibran impulsados por vibraciones producidas fuera del gabinete del arrancador.

Compruéhese la presión del resorte del contacto del disyuntor para ver si es suficiente. Apruébense todas las conexiones. Si la situación no mejora, móntese o móvase el control donde no vibre.

## BIBLIOGRAFIA

57

1. - Manual Estandar del Ing. Elect. Archer E. Knowlton
2. - Curso de Transformadores y Motores Trifásicos de Inducción del Ing. Gilberto Enriquez Harper
3. - Manual Eléctrico Phelps Dodge Pyesa
4. - Conservación Preventiva de Motores y Generadores Westinghouse Electric International Company
5. - Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas
6. - Catálogo de Conductores Condux
7. - Catálogo de Conductores Phelps Dodge Pyesa
8. - Catálogo Industrial Cutler Hammer
9. - Catálogo Eléctrico IBM



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

INTRUSION SALINA  
NORMA DE CALIDAD

ING. JUAN MANUEL LESSER I.

ABRIL, 1984

## GENERALIDADES SOBRE LA INTRUSION SALINA EN ACUIFEROS COSTEROS Y METODOS DE CONTROL

Por: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

La explotación de agua subterránea en acuíferos de zonas costeras encara un gran riesgo, denominado "Intrusión Salina". Muchas de las zonas costeras de México están siendo degradadas por este fenómeno, como resultado del exceso de bombeo.

Un renglón importante en los acuíferos costeros, es el estudio de la determinación de la intrusión salina cuando ésta aún no la ha afectado nocivamente. Dentro de estos estudios, es esencial, la determinación de la posición del nivel piezométrico y sus fluctuaciones con el tiempo, así como el registro de los incrementos de salinidad en los pozos. Si se cuenta con estos datos puede conocerse rápidamente la posición y la peligrosidad de la intrusión y planear las alternativas más convenientes para su control.

### CARACTERISTICAS FISICAS DE LA INTRUSION SALINA.

Para que una zona costera se vea afectada por este fenómeno, es necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- a) Continuidad Hidráulica.- En muchas cuencas costeras de nuestro país, existe continuidad hidráulica en los materiales que forman las planicies costeras la cual se continúa hasta el mar, cerca de la línea de la costa. Puede presentarse también, capas de material permeable confinado, que se continúa a cierta profundidad, hasta más allá de la costa. Algunos acuíferos se encuentran cubiertos por lodo y otros materiales relativamente impermeables que impiden que el agua de mar los contamine.
- b) Inversión del Gradiente.- Otras de las condiciones necesarias para que se lleve a cabo la intrusión salina, es la inversión del gradiente, la cual, se presenta cuando la carga hidráulica del mar es mayor a la del acuífero. Esto sucede si el nivel piezométrico es abatido a profundidades bajo el nivel del mar.

Cuando el gradiente es hacia el mar, existe un flujo de agua hacia él y cuando el gradiente es hacia tierra adentro se establece un flujo de agua, hacia el valle. En la

práctica, la magnitud el gradiente hidráulico se obtiene a partir de la medición de la profundidad al nivel del agua en pozos y norias.

### PRINCIPIO DE GHYBEN - HERZBERG.

A lo largo de las líneas de costa el agua de los acuíferos se encuentra descansando sobre el agua de mar, debido a la diferencia de densidades de éstas. El contacto entre estas dos masas de agua (interfase salina) se encuentra en equilibrio dinámico, por lo cual las modificaciones en las condiciones originales del acuífero, producen cambios en la posición del contacto entre las dos aguas.

La profundidad a la cual se encuentra la interfase fue descrita por Badon Ghyben en 1869, y aplicada a problemas específicos por Bairat Herzberg en 1901.

La teoría se basa en lo siguiente:

El peso de una columna vertical de agua dulce que va desde el nivel piezométrico del acuífero hasta la interfase se encuentra equilibrada por el peso de una columna de agua de mar que vaya desde el nivel del mar, hasta la interfase. Esto es, el peso de la columna de agua dulce de longitud  $h + Z$  es igual al peso de una columna de agua de mar de longitud  $Z$ , donde "h" es la elevación del nivel estático a partir del nivel del mar y "Z" es la profundidad a la interfase, a partir del mismo nivel de referencia.

Si "Dd" y "Dm" representan las densidades del agua dulce y de mar respectivamente, la condición para el balance hidrostático se expresa de la siguiente manera:

$$D_m \cdot g \cdot Z = D_d \cdot g \cdot (h + Z)$$

$$Z = \frac{D_d}{D_m - D_d} h$$

Considerando que las densidades del agua de mar y del agua dulce son 1.025 y 1.000, respectivamente, tenemos que:

$$Z = 40 h$$

O sea que por cada metro que se eleve el nivel piezométrico sobre el nivel del mar, existirán 40 metros de agua dulce bajo el mismo nivel de referencia (Figura 2). La posición del nivel piezométrico sobre el mar, condiciona la profundidad a la interfase. Los movimientos de la superficie del mar por mareas y de la superficie piezométrica del acuífero, producidos por aumento ó disminución de agua en él, pro-

ducen fluctuaciones en la posición de la interfase. El área en donde se llevan a cabo estas fluctuaciones, se denominan zona de difusión. La mayoría de los acuíferos que no están sobreexplotados, descargan agua hacia el mar y la posición real de la interfase, en este caso, se encuentra a mayor profundidad (Hubbert) que la calculada por Ghyben-Herzberg, (figura 3).

MECANISMO DE LA INTRUSION SALINA.

Existen varios mecanismos por los cuales el agua de mar puede intrusionar a un acuífero costero. Estos, están relacionados con la disminución de la elevación del nivel piezométrico y la inversión del gradiente hidráulico, que permite al agua de mar moverse hacia tierra adentro. Bajo condiciones naturales en los acuíferos costeros, existe un equilibrio entre la recarga, la descarga y el cambio del almacenamiento. Es conveniente que exista un flujo de agua dulce al mar, para conservar el equilibrio, y evitar la intrusión. Conforme el agua subterránea es extraída por bombeo, el nivel estático baja acomodándose a las nuevas condiciones y el flujo de la intrusión salina se comienza a mover hacia el acuífero, ocupando primero las zonas costeras y posteriormente la zona de explotación del valle.

METODOS DE CONTROL DE LA INTRUSION SALINA.

Varios métodos de control son conocidos y utilizados para prevenir la intrusión salina. Los más comunes son:

- 1).- Reducción de la extracción
- 2).- Recarga artificial,
- 3).- Fronteras impermeables.
- 4).- Barrera con pozos de bombeo y
- 5).- Barreras con pozos de inyección (figura 4).

REDUCCION DE LA EXTRACCION.

Una de las medidas técnicamente más sencillas para prevenir la intrusión de agua de mar, es la reducción de la extracción de agua subterránea, a un nivel planificado. Esta medida implica una disminución en las demandas de agua lo cual, en ocasiones crea problemas socioeconómicos y políticos muy fuertes. Cuando se opta por este método y el bombeo es reducido, puede establecerse nuevamente el gradiente hacia el mar y la intrusión es reemplazada por un ligero flujo de agua dulce hacia el mar. Si existe información suficiente sobre la variación de los niveles del agua y si se conocen las condiciones geológicas del subsuelo, la reducción de la extracción puede ser controlada de tal manera, que se obtenga la máxima cantidad de agua sin provocar una intrusión salina nociva.

Para ello es necesario contar con una fuente adicional de agua así como condiciones apropiadas del terreno, de tal manera, que la recarga pueda llevarse a cabo. Las obras para la recarga pueden consistir en zanjas superficiales construidas en el área de recarga a través de las cuales se hace circular agua que se infiltra al subsuelo. Otro tipo de obras, consiste en la construcción de presas de infiltración, localizadas en la zona de recarga. En zonas donde existen capas confinantes impermeables, pueden construirse pozos de inyección. Al llevar a cabo esta recarga se provoca la reinvención del gradiente hacia el mar, la cual es acompañada por un flujo de agua dulce. La recarga, en esta forma, es económica, respecto a los otros métodos, pero en la mayoría de los casos no se cuenta con fuentes de agua adicional para llevarla a cabo.

FRONTERAS IMPERMEABLES.

Consiste en la construcción de una barrera impermeable entre la línea de costa y los pozos de explotación. El medio de construcción puede ser excavando una zanja que posteriormente se rellena con materiales arcillosos. Otro tipo de barrera, consiste en el inyectado de material impermeable. Estas construcciones son usadas solo en áreas relativamente someras. Es importante, el conocer los resultados posteriores a su construcción, ya que, si la impermeabilización es completa, permitirá abatimientos fuertes y por lo tanto la obtención de mayores volúmenes de agua almacenada. Este método tiene la desventaja de no contar con un flujo de agua subterránea hacia fuera de la zona, que en ocasiones, es necesario para mantener un balance de sales favorables.

BARREIRA DE POZOS DE BOMBEO.

Consiste en una línea de pozos localizados entre la zona de explotación del valle y el mar. Los pozos, deben de extraer toda el agua de mar que intrusión al acuífero, hasta obtener un equilibrio hidrostático. Para ello, los niveles de agua deben de ser bajados en la barrera, más que en cualquier otro punto en la cuenca. El volumen de extracción que se lleva a cabo en el valle, debe de ser reducido, cuando menos una cantidad ligeramente menor a la que se obtenía antes de aplicar el método. Es importante, disponer del registro de los niveles del agua en la zona de la barrera, así como el conocer la cantidad exacta de agua que se debe de bombear para obtener los resultados deseados. Esta cantidad de agua que se debe de extraer, es muy variable y deberá de ser mayor

al volumen de agua de mar que originalmente intruía. -  
Mientras más cerca del mar se localiza la barrera, el bombeo tendrá que ser mayor.

#### BARRERA CON POZOS DE INYECCION.

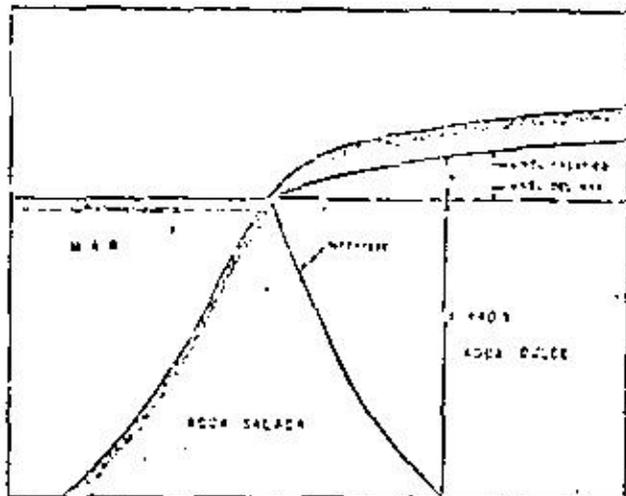
Este método para control de intrusiones salinas, -  
consiste en la construcción de pozos de inyección alineados -  
a lo largo de la costa, su funcionamiento va a depender de la  
resistencia que encuentre el agua al moverse en el subsuelo.  
Al inyectar agua al acuífero se provoca la elevación del ni-  
vel piezométrico lo cual se lleva a cabo hasta alcanzar el --  
gradiente requerido. Debido a la diferencia en densidad en-  
tre el agua de mar y el agua dulce, se requiere una columna -  
de 41 metros de agua dulce para equilibrar una columna de 40  
metros de agua salada. Para controlar la intrusión es nece-  
sario primeramente determinar el espesor de sedimentos permea-  
bles. Posteriormente se construye la barrera de pozos de in-  
yección y se provoca la elevación del nivel piezométrico a lo  
largo de la línea de pozos, hasta alcanzar una altura de 75 -  
centímetros arriba del nivel del mar, por cada 30 metros de -  
espesor del acuífero bajo el mismo nivel de referencia. La -  
cantidad de agua utilizada para dicho fenómeno puede ser esti-  
mada. Después de que en la barrera con pozos de inyección, -  
se establece un equilibrio, la cantidad de agua que fluye ha-  
cia el acuífero, será la cantidad de agua de mar que intruía  
anteriormente, siempre y cuando la explotación de la pla-  
nicie se haya conservado igual. Para mantener el balance di-  
námico de esta zona, es necesario que exista un pequeño flujo  
de agua dulce hacia el mar. La magnitud de este flujo es va-  
riable, pero será de alrededor del 10% de la que fluye hacia  
el acuífero. El número de pozos requeridos para formar la ba-  
rreira dependerá de las características hidráulicas del acuífe-  
ro, en especial de la capacidad específica de un pozo de bom-  
beo perforado en la zona.

#### METODO COMBINADO; BARRERA POR POZOS DE BOMBEO BARRERA POR PO- ZOS DE INYECCION.

Este método utiliza la combinación de los dos méto-  
dos anteriores. Para ello, la barrera por pozos de bombeo, -  
es localizada entre la línea de costa y la zona de explotación  
del valle y la barrera por pozos de inyección se ubica tierra  
adentro, del otro lado de la zona de explotación. La barrera  
combinada, compuesta de los dos sistemas, operando simultánea-  
mente, minimizada los efectos de subsidencia y extracción de  
agua, así como otros efectos secundarios y permite una mayor  
flexibilidad en su operación sobre la de uno solo de los sis-

temas previamente descritos.

NOTA : Para la elaboración de este artículo, se -  
utilizaron datos de diferentes textos y trabajos, principal-  
mente de los apuntes del curso de hidrología subterránea del  
Departamento de Recursos Hidráulicos del Estado de California,  
E.U., por Raymond C. Richter.



INTRUSION SALINA SEGUN LA TEORIA DE G.HERZBERG

FIG- 1

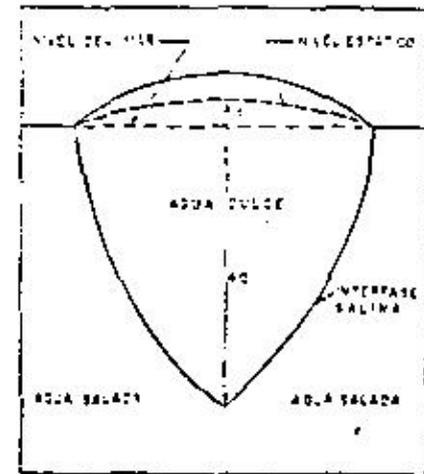
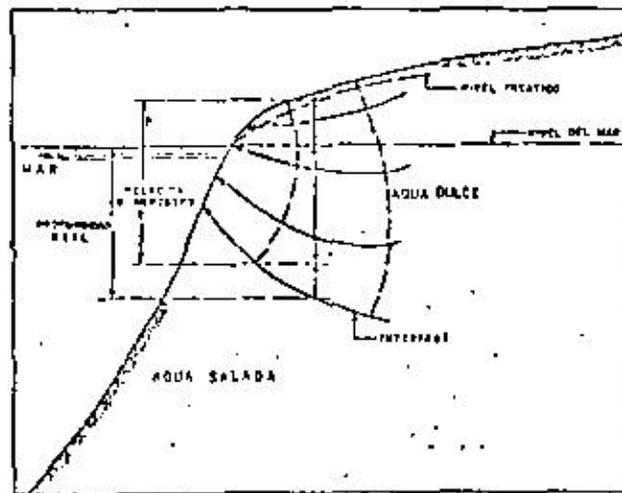
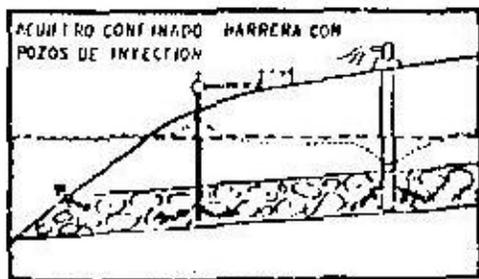
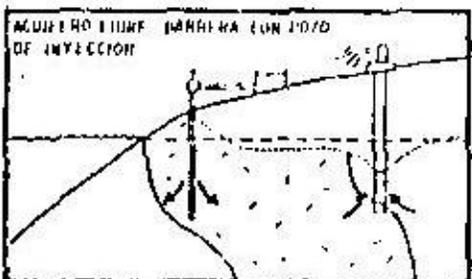
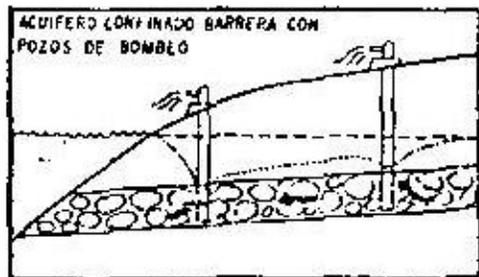
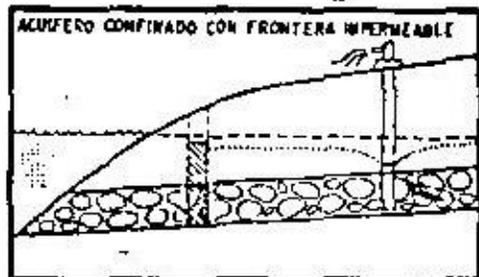
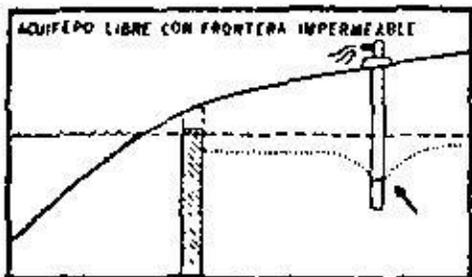
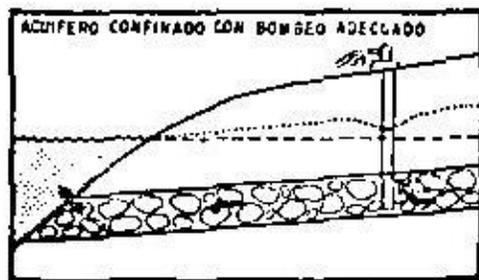
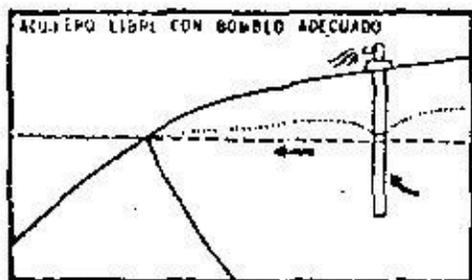
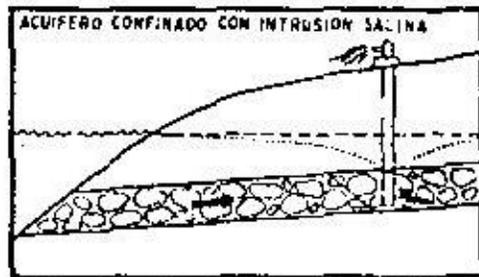
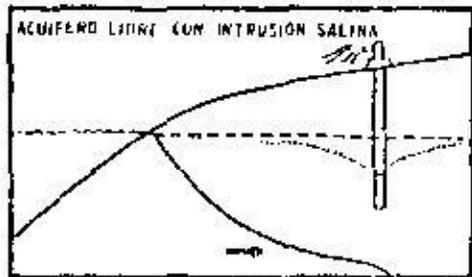
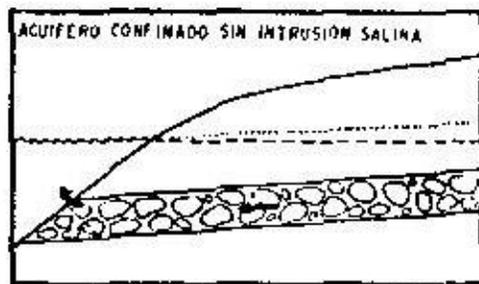
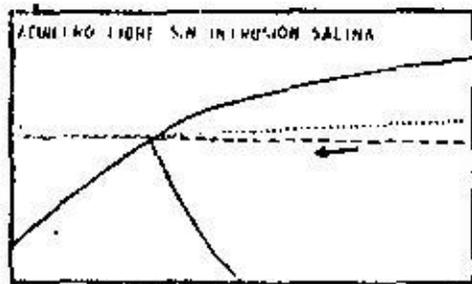


FIG. 2 POSICION DE LA INTERFASE SALINA EN UNA ISLA



DISCREPANCIA ENTRE LA PROFUNDIDAD REAL A LA INTERFASE Y LA CALCULADA POR G.HERZBERG.

FIG- 3



NIVEL PIEZOMETRICO ..... NIVEL DEL MAR ----- AGUA DULCE [ ] AGUA SALADA [ ] AGUA INYECTADA [ ]

FIG. 4



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

HIDROGEOQUIMICA

ING. JUAN MANUEL LESSER I.

ABRIL, 1984

## H I D R O G E O Q U Í M I C A

Por: Ing. Juan Manuel Lesser I.

I. RESUMEN

La interpretación geoquímica del agua subterránea, se utiliza junto con la geología, hidrología y geofísica, como un auxiliar para conocer y entender, en una forma más completa, el funcionamiento de los acuíferos y la planeación de una mejor y más racional explotación.

Para efectuar la interpretación geoquímica, se toma en cuenta que, el agua que forma los acuíferos, proviene principalmente de la lluvia, donde parte de ésta, al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. Al circular por el subsuelo, entra en contacto con diversas rocas, disolviendo las sales minerales que las forman y produciendo cambios en su composición. La química del agua dependerá de la solubilidad y composición de las rocas por las que circula y de los factores que afecten la solubilidad, como son: las temperaturas del agua y las rocas, el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua y otros factores.

Por lo tanto, la composición del agua está en íntima relación con el funcionamiento general del acuífero. Es por ello que, a partir de su composición química, se puede obtener la dirección del movimiento del agua subterránea, la localización de las zonas de recarga del acuífero, los tipos de roca a través de las cuales circula, así como algunas características físicas del acuífero y la calidad del agua para usos agrícolas, ganaderos, agropecuarios, potables, turísticos e industriales.

A lo largo de las líneas de costa, en las planicies costeras, el agua de los acuíferos se encuentra en contacto sobre el agua de mar, debido a la diferencia de densidades de éstas. El contacto entre estas dos masas de agua se encuentra en equilibrio y, las modificaciones producidas en las condiciones originales del acuífero, originan cambios en la posición de dicho contacto. Al explotar los acuífe-

ros costeros, se rompe este equilibrio, produciendo una intrusión de agua de mar, dentro del acuífero.

Debido a las diferencias en concentración y composición química, existente entre el agua de mar y el agua dulce, los métodos geoquímicos ayudan a conocer la posición y velocidad de avance de la intrusión salina.

En diferentes laboratorios de la S. R. H., la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, ha venido efectuando análisis químicos de muestras de agua, obtenidas tanto en pozos como en norias, galerías filtrantes y manantiales. En estos laboratorios se determinan los sólidos totales disueltos, la conductividad eléctrica, la dureza total y las concentraciones de los iones siguientes: Ca, Mg, Fe, Mn, Na,  $SO_4$ , Cl,  $HCO_3$ ,  $NO_2$  y  $NO_3$ , principalmente.

Con los resultados de los análisis, se elaboran configuraciones de los índices más representativos, obteniéndose, a partir de ellas, las zonas de recarga, las cuales coinciden con los lugares donde se encuentran las menores concentraciones de sales. Se obtiene también, la dirección del flujo del agua subterránea, debido a que ésta va disolviendo mayor cantidad de sales conforme avanza. Así, también se pueden determinar las zonas con mayor o menor permeabilidad, ya que éstas afectarán, en mayor o menor grado, la composición y concentración de sales en el agua.

A partir de la composición química del agua, se deduce el tipo de roca que forma el acuífero, así, el agua que circula a través de rocas calizas, tendrá en solución abundante calcio y carbonatos, en contraste con agua que circula a través de rocas yesíferas, la cual tendrá disueltos iones de calcio y sulfatos.

Para obtener la calidad del agua para uso doméstico, se comparan los resultados de los análisis químicos, con los límites máximos permisibles ya establecidos, obteniéndose, rápida y directamente, la clase de agua para este uso.

Con respecto a la clase de agua para riego, se utiliza la clasificación de Wilcox, a partir de la cual y por medio de las concentraciones de sodio, magnesio, calcio y la conductividad eléctrica, se conoce la clase de agua para riego a que pertenece cada muestra analizada, así como las recomen-

daciones relativas al tipo de suelo en que debe usarse, las prácticas del control de la salinidad y los tipos de cultivos más adecuados.

Para la industria, el agua se puede clasificar inicialmente por su dureza. Posteriormente, dependiendo del tipo de industria, el agua deberá cumplir ciertos requisitos establecidos.

## II. GENERALIDADES

### 2.1. EL CICLO HIDROLOGICO

Como es sabido, el agua de lluvia que se precipita sobre -- los continentes, tiene tres caminos por seguir: 1) evaporarse para formar las nubes; 2) escurrir por la superficie del suelo formando arroyos y ríos que finalmente vierten -- sus aguas al mar y; 3) infiltrarse en el subsuelo para formar acuíferos. Esta agua infiltrada, posteriormente es drenada por corrientes superficiales o aflora en forma de manantiales para evaporarse y seguir su camino hacia el mar.

### 2.2. BALANCE DEL AGUA DENTRO DEL CICLO HIDROLOGICO

Del 100% del agua que se evapora, para incorporarse a la atmósfera en forma de nubes, el 86% proviene del mar y el 14% restante, de los continentes. Del 86% que se evapora en -- los océanos, el 78% se precipita en el mar y el 8% en los -- continentes. (Fig. 1). El otro 14% de evaporación, se precipita sobre los continentes, haciendo un total de 22% de -- precipitación sobre éstos. De este 22%, se evapora el 14%, escurre hacia el mar en forma de corrientes superficiales -- el 7%, y el 1% restante se infiltra en el subsuelo y en forma de agua subterránea, es incorporada al mar.

El agua subterránea que forma los acuíferos proviene principalmente de la lluvia, donde parte de ésta al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. El agua infiltrada, en ocasiones, pasa por -- zonas cercanas a cámaras magmáticas o puede permanecer atrapada entre sedimentos en forma de agua fósil.

Al circular por el subsuelo, entra en contacto con diversas formaciones geológicas, disolviendo las sales minerales que forman las rocas y produciendo cambios en su composición. -- Por lo tanto, la composición química del agua dependerá de

# C I C L O   H I D R O L O G I C O

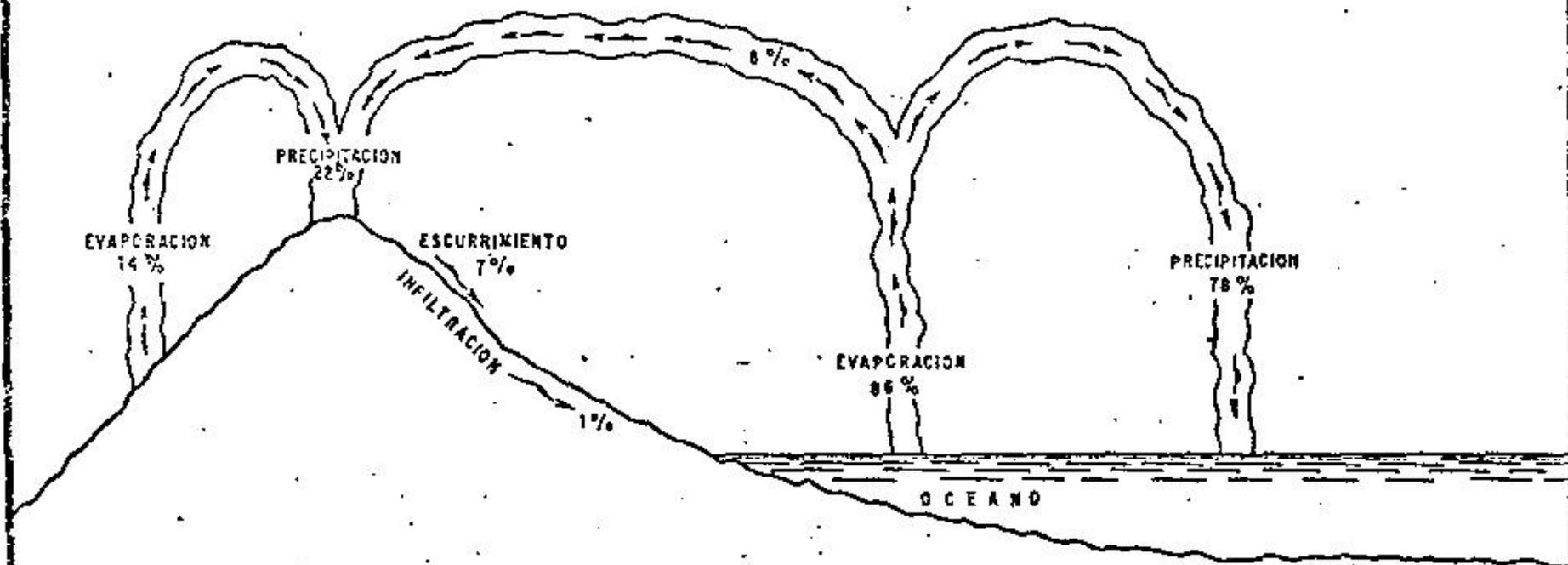


FIG. - 1

4

la solubilidad y composición de las rocas por las que circula y de los factores que afectan la solubilidad, como son: las temperaturas del agua y las rocas; el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua y otros factores.

### 2.3. QUIMICA DEL AGUA DEL CICLO HIDROLOGICO

- a) Composición del agua de lluvia. - Al precipitarse hacia la corteza terrestre, arrastra diferentes materiales finos, que se encuentran en suspensión en la atmósfera y que, en muchos casos, son transportados por el viento.

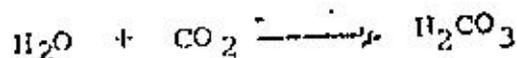
La composición química general del agua de lluvia, según Garrels y Mackenzie (1971), es la siguiente: (Figs. 2 y 3)

Na	1.98 ppm	Ca	0.09	HCO <sub>3</sub>	0.12
K	0.30	Cl	3.79		
Mg	0.27	SO <sub>4</sub>	0.58		

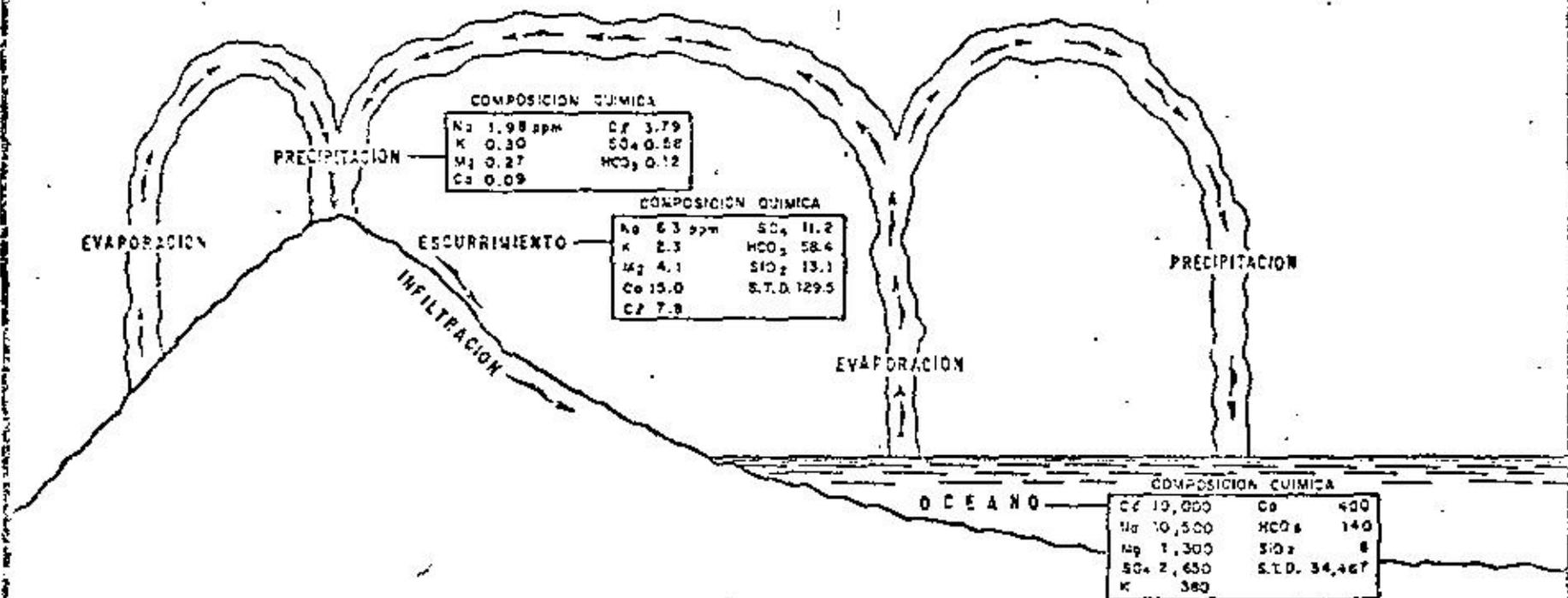
La concentración de elementos disueltos en la lluvia en diferentes lugares, es variable: por ejemplo, el contenido de cloro y sodio, en la precipitación que se lleva a cabo en algunas zonas costeras, es mayor de 2 y 1 ppm respectivamente, mientras que en los continentes es menor de 0.3 y 0.2 ppm, respectivamente.

Debido a la baja concentración de sales en el agua de lluvia, ésta se considera como "agua pura" y -- las variantes existentes entre la composición y -- concentración de un lugar a otro, no son de importancia en la interpretación hidrogeoquímica, salvo lugares excepcionales, donde corrientes de aire levantan una gran cantidad de partículas que posteriormente son arrastradas por la lluvia.

Al precipitarse, las moléculas de agua incorporan bióxidos de carbono de la atmósfera, formando ácido carbónico como se ilustra en la siguiente reacción.



# CICLO HIDROLOGICO Y COMPOSICION MEDIA DEL AGUA DE LLUVIA, RIOS Y OCEANOS



FIG

# ILUSTRACION SOBRE LA COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA EN DIVERSAS CIRCUNSTANCIAS

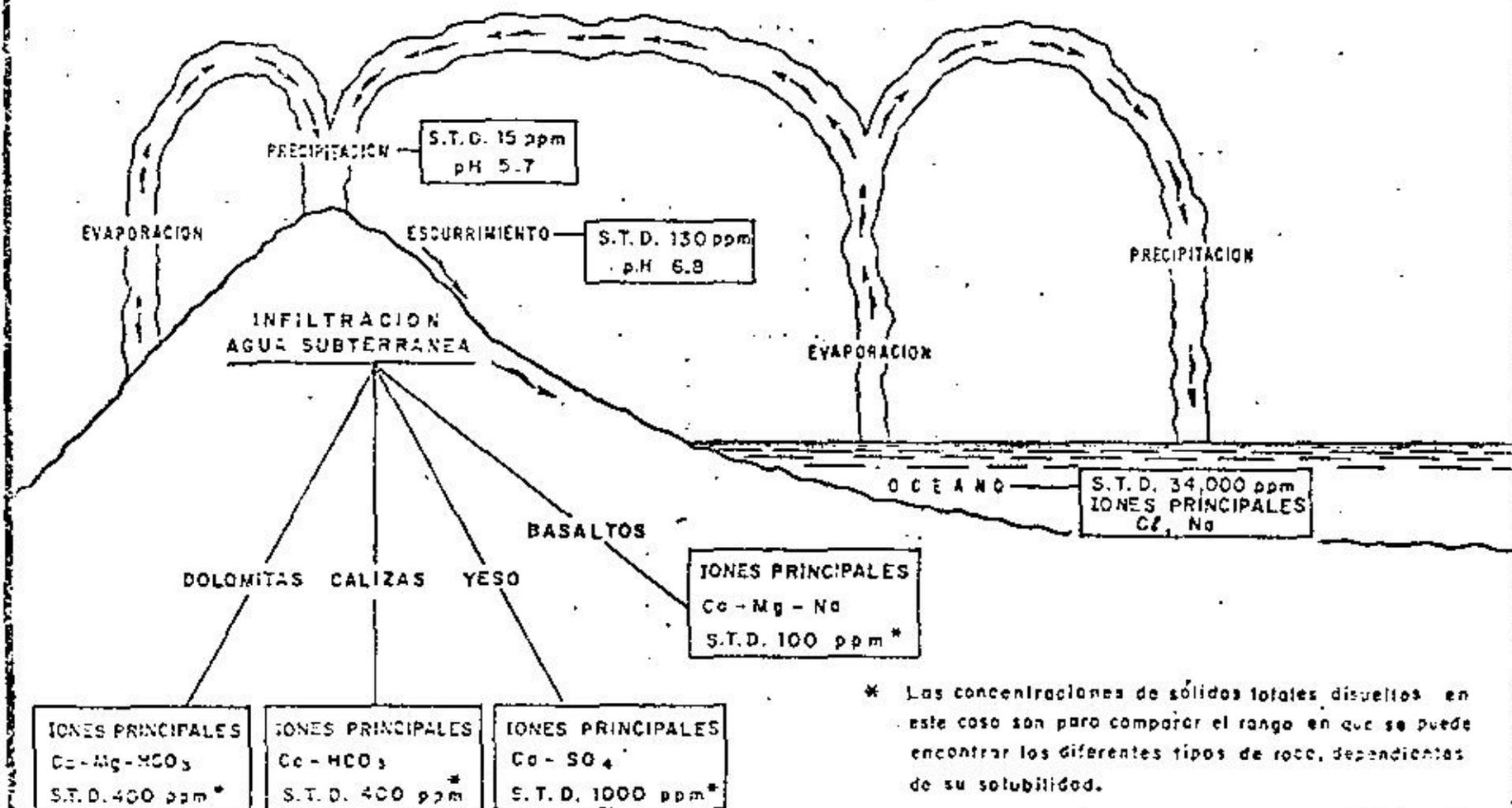


FIG - 3

Este ácido, tiene un gran poder de disolución y el principal agente de ataque del agua sobre las rocas.

- b) Composición del agua de ríos. - Las corrientes superficiales, que en la mayoría de los casos son la causa inmediata de la lluvia, tienen contacto con los materiales que forman los cauces, así como con los fragmentos de roca transportados por la corriente.

Al contacto con dichos materiales, el agua los ataca y disuelve, llegando a tener una composición dependiente del tipo de materiales con los que tiene contacto.

La composición promedio del agua de ríos, según Livingstone (1963), es la siguiente:

Cl	7.8 ppm	Ca	15.0	Al	0.01
Na	6.3	HCO <sub>3</sub>	58.4	S.T.D.	129.5
Mg	4.1	SiO <sub>2</sub>	13.1		
SO <sub>4</sub>	11.2	NO <sub>3</sub>	1.0		
K	2.3	Fe <sup>2+</sup>	0.67		

- b) Composición del agua de mar. - Los océanos constituyen los mayores depósitos de agua en el mundo, y se caracterizan por tener una gran cantidad de sales disueltas. Estas sales son producto de la erosión química efectuada por el agua durante el ciclo hidrológico, desde la formación de la tierra, hasta nuestra época.

Originalmente, los océanos se formaron por condensación de vapor de agua, la cual se acumuló en las partes bajas de la tierra. Se inició el ciclo hidrológico y esta agua empezó a disolver los minerales que formaban las rocas, conduciendo las sales, producto de erosión química, hacia las cuencas oceánicas. Continuó el ciclo hidrológico y con él, el aumento de sales en el agua de mar.

La composición química del agua de mar, de acuerdo con Goldberg (1957), es:

Cl	19,000 ppm	Ca	400
Na	10,500	HCO <sub>3</sub>	140
Mg	1,300	SiO <sub>2</sub>	6
SO <sub>4</sub>	2,650	S.T.D.	34,467

- d) Composición del agua subterránea. - La composición química del agua subterránea dependerá del tipo de roca, a través de la cual circula y de otros muchos factores complejos. (Fig. 3).

Así, tenemos que un agua que circula a través de rocas calizas, tendrá principalmente iones de calcio, carbonatos y bicarbonatos. Si circula por yesos y anhidritas, tendrá una gran cantidad de sólidos disueltos, debido a la fácil disolución de estas rocas, predominando la presencia de iones de calcio y sulfatos. El agua que circula a través de basaltos, tendrá pocos sólidos disueltos, debido a que esta roca es de difícil disolución; además, tendrá aproximadamente, la misma cantidad de calcio, magnesio y sodio.

En las figuras 4 y 5 se muestra la composición química de algunas rocas y minerales comunes.

### III. METODO DE TRABAJO EN LA INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA

Para llevar a cabo una interpretación hidrogeoquímica, se procede de la siguiente manera (Fig. 6):

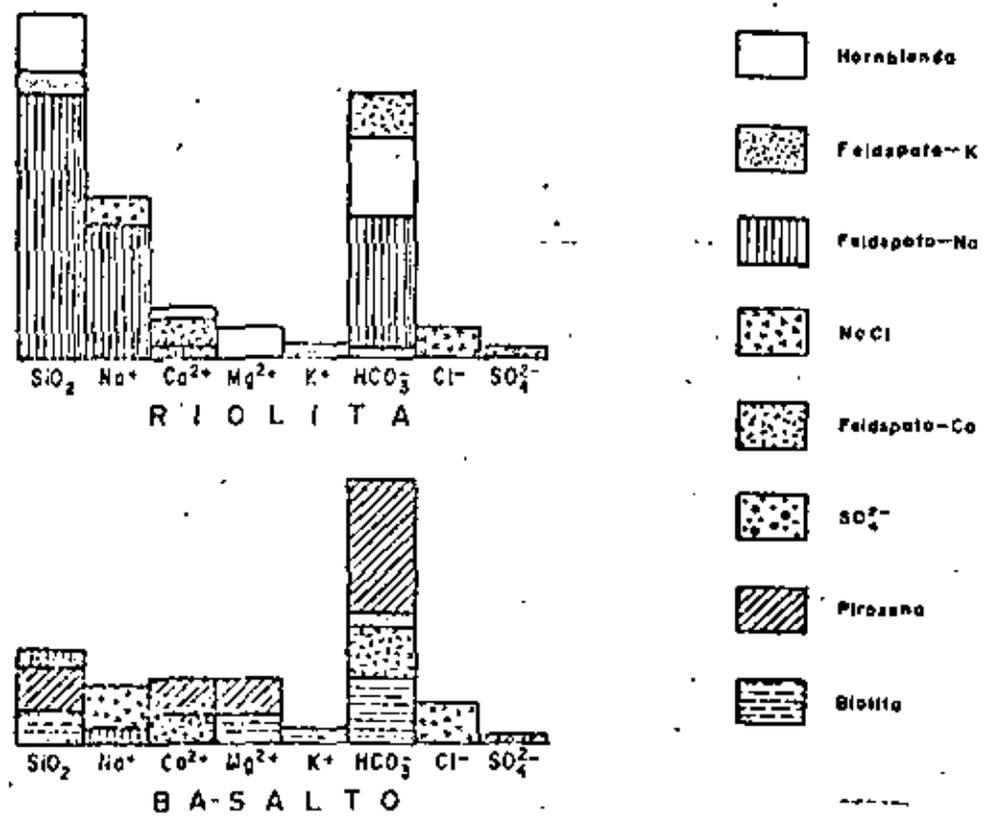
#### **3.1. SELECCION Y MUESTREO DEL AGUA SUBTERRANEA**

Se efectúa una selección de aprovechamientos, tomando en cuenta una distribución espacial, que dependerá de las circunstancias, así como el tipo de aprovechamiento ya sea pozo, noria, manantial, galería, etc., ya que en ocasiones, los diferentes tipos de aprovechamientos, corresponden a sistemas acuíferos diferentes.

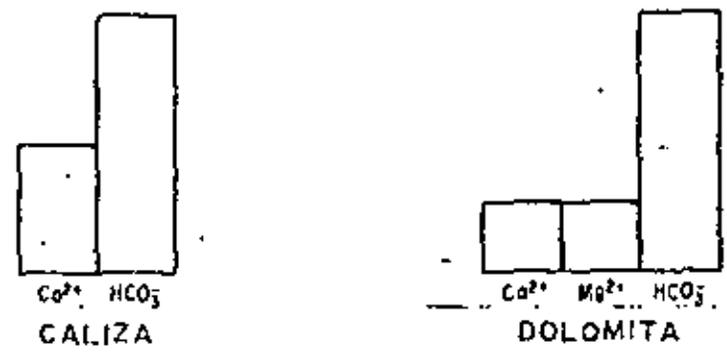
El muestreo se debe efectuar usando frascos de polietileno de un litro de capacidad, con doble tapa. Los frascos deben llenarse totalmente para evitar la gasificación de algunos componentes que podría provocar reacciones químicas y alterar la composición de la muestra que es representativa de enormes volúmenes de agua.

Al obtener la muestra en el campo, se deben tomar datos relativos a la localización y características del aprovechamiento, así como la temperatura ambiente, la temperatura del agua al momento del muestreo, el pH y la resistividad

### COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA QUE CIRCULA POR DIFERENTES ROCAS

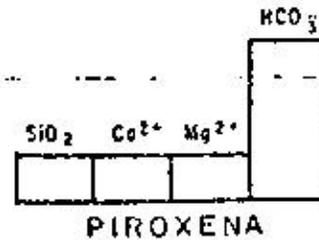
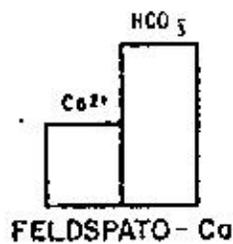
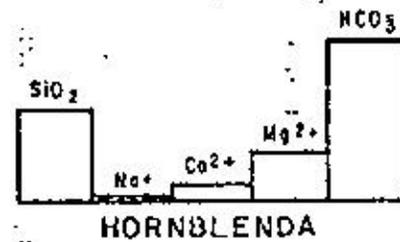
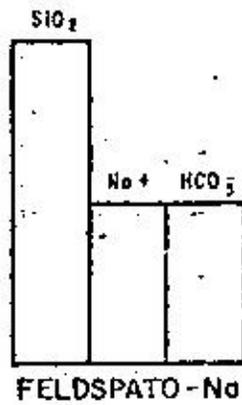
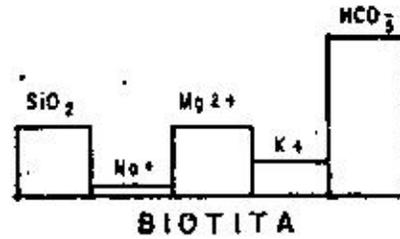
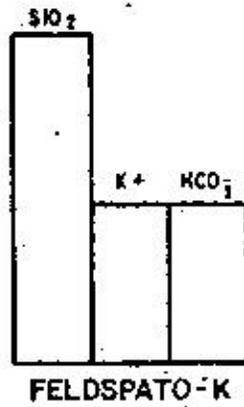


### RECONSTRUCCION EN HISTOGRAMAS DE LA COMPOSICION DEL AGUA DE RIOLITAS Y BASALTOS



HISTOGRAMAS MOSTRANDO LA COMPOSICION DEL AGUA DE CALIZAS Y DOLOMITAS

# COMPOSICION QUIMICA DE ALGUNOS MINERALES



DIAGRAMAS DE BARRAS QUE MUESTRAN LA COMPOSICION DE ALGUNOS MINERALES CONSTITUYENTES DE LAS ROCAS IGNEAS

# INTERPRETACION GEOQUIMICA

METODO DE TRABAJO

SELECCION Y MUESTREO DEL AGUA SUBTERRANEA

- SELECCION POR POZOS, NORIAS, GALERIAS, FILTRANTES Y MANANTIALES.
- MEDICION DE pH Y TEMPERATURA DEL AGUA EN EL CAMPO.
- OBTENCION DE LA MUESTRA DE AGUA EN BOTELLA DE POLIETILENO DE UN LITRO DE CAPACIDAD

ANALISIS FISICO - QUIMICOS

DETERMINACION DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO, POTASIO, BICARSONATO, CLORURO, SULFATO, SOLIDOS TOTALES DISUELTOS, ETC.

ELABORACION DE PLANOS, Y DIAGRAMAS E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

TABLA RESUMEN CONFIGURACIONES DIAGRAMAS-TRIANGULARES ETC.

FIG. 6

eléctrica del agua.

### 3.2. ANALISIS FISICO-QUIMICOS

Una vez obtenidas las muestras, se remiten al laboratorio - en donde se efectúan los análisis fisicoquímicos, determinándose las concentraciones de los principales cationes (Ca, Mg, Na, K), aniones ( $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ) los sólidos totales disueltos y, dependiendo del tipo de terreno, su sugiere la - determinación de otros índices, por ejemplo, para un terreno con trazas de termalismo, sería conveniente la determinación de litio y boro, así para otros casos, se requeriría - determinar  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ , F, etc. (Fig. 18)

SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.- Los sólidos totales disueltos representan el residuo que queda al evaporar cierta cantidad del agua. No son representativas de la suma de las concentraciones de los diferentes elementos analizados, ya que, durante la evaporación en el laboratorio, los sólidos volátiles se pierden y los bicarbonatos se convierten en carbonatos. También quedan retenidas cierta cantidad de agua de cristalización que no alcanza a evaporarse. Por lo tanto, el valor de los sólidos totales disueltos, sólo proporciona un índice del ataque del agua sobre las formaciones geológicas y de la solubilidad y facilidad de remoción de las sales del subsuelo.

### 3.3. UNIDADES USADAS PARA REPORTAR LOS ANALISIS QUIMICOS

Las unidades más comunes, en las que se reportan los análisis químicos efectuados a muestras de agua, son: partes -- por millón y miliequivalentes por litro.

Las "partes por millón", son unidades de peso por peso, que equivale a un miligramo de soluto, por un kilogramo de solución. La unidad de peso por volumen, se tiene al asumir -- que un litro de solución, pesa un kilogramo; entonces, tenemos que una "parte por millón", es igual a un "miligramo -- por litro".

Debido a que las unidades anteriores están dadas en peso, -- no hay equivalencia entre iones de diferente especie, o sea, que no se pueden mezclar, debido a que tienen diferente peso molecular y carga eléctrica. Por lo tanto, para relacionar diferentes iones en fórmulas químicas o para efectuar -- correlaciones entre ellos, se utilizan unidades equivalentes.

La unidad más usada es el "miliequivalente por litro", la cual se obtiene multiplicando los "miligramos por litro", por  $\frac{C}{PA}$ ; donde "C" es la carga del ion y "PA" es el peso atómico.

Otra unidad conocida y usada en Química, es "moles por litro", siendo una mole, el peso atómico de una sustancia en gramos.

Las abreviaciones usadas en las unidades mencionadas, son las siguientes:

ppm	partes por millón.
mg/l	miligramos por litro.
me/l	miliequivalentes por litro.
mol/l	moles por litro.

### 3.4. ELABORACION DE TABLAS, PLANOS Y DIAGRAMAS E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

- a) Tablas resumen. - Para controlar y tener una idea en conjunto de la composición, concentración y calidad del agua, se recomienda elaborar tablas en las cuales se resume toda la información obtenida. En la Fig. 16 se muestra un ejemplo.
- b) Configuraciones. - Con el objeto de tener una distribución espacial de la calidad del agua y con ella determinar cualitativamente las zonas de recarga, la dirección del flujo del agua subterránea, así como tener idea de algunas propiedades físicas del acuífero, se elaboran configuraciones de las determinaciones efectuadas.

Con el objeto de ilustrar este punto, en las Figs. 7 y 8 se muestran las configuraciones de sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, para los Valles de Aldama y Samalayucan, Chih.

En el plano de curvas isovalores de sólidos totales disueltos de Aldama, se observa que las zonas con menores concentraciones se encuentran en el extremo noreste de la ciudad de Chihuahua y en el flanco este de la Sierra de La Gloria, coincidiendo

do éstas con las zonas de recarga del acuífero, don de el agua de lluvia se infiltra.

Las concentraciones aumentan de la ciudad de Chihuahua hacia la de Aldama, indicando que el agua subterránea fluye en dicha dirección al ir disolviendo sales conforme avanza.

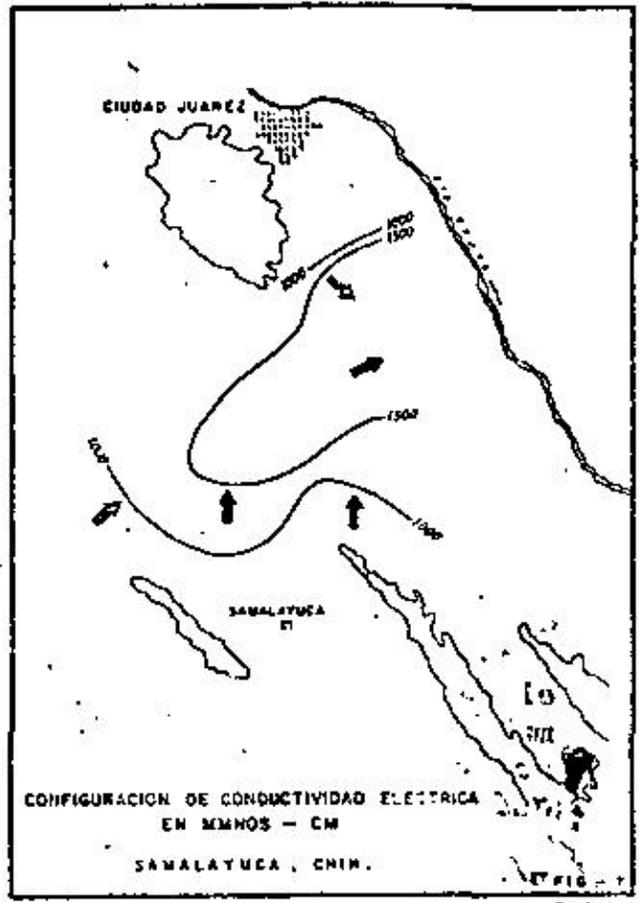
Las concentraciones aumentan de la Sierra de La Gloria, hacia el noreste y después hacia el sureste, a lo largo del río Chuisca, mostrando que la dirección del agua subterránea es hacia el sureste.

En la configuración de conductividades del área Samalayuca-Juárez, (Fig. 8) se observa la curva 1000 al pie de la Sierra de Juárez y de 1500 hacia el sureste de ella. Esta distribución, indica que la Sierra de Juárez corresponde a una zona de recarga, donde el agua de lluvia se infiltra y fluye hacia el sureste. Observaciones similares se hacen en Samalayuca, donde se deduce un flujo de agua de sur a norte y noreste, uniéndose con el de la Sierra de Juárez, para continuar hacia el Río Bravo.

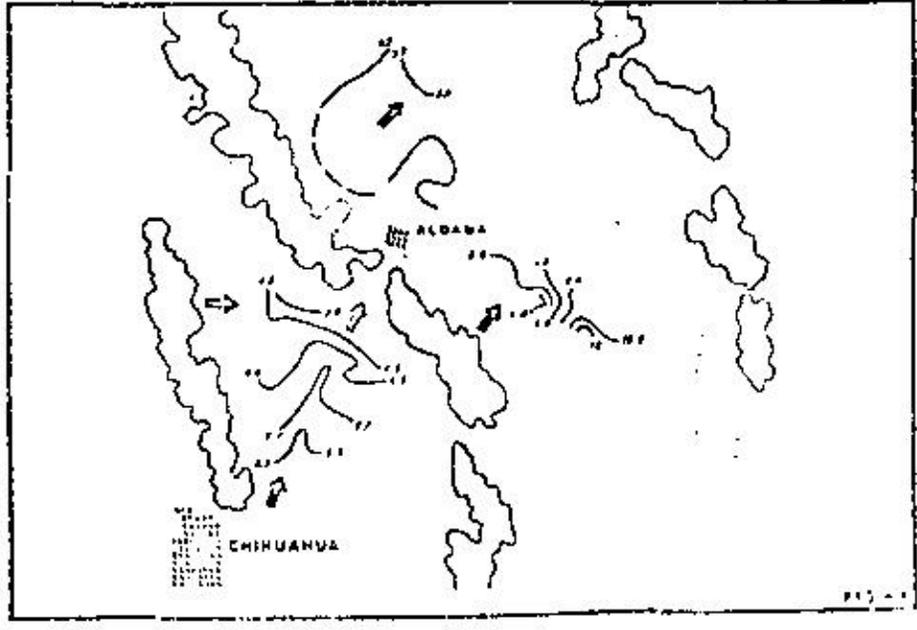
Por lo tanto, de estas configuraciones se obtiene, entre otras cosas, la zona de alimentación del acuífero y dirección del flujo, el cual coincide con el encontrado por métodos piezométricos.

En la Fig. 9 se muestra un corte geológico ilustrativo, que relaciona la zona de recarga y la dirección del movimiento del agua subterránea, con la concentración y composición química del agua.

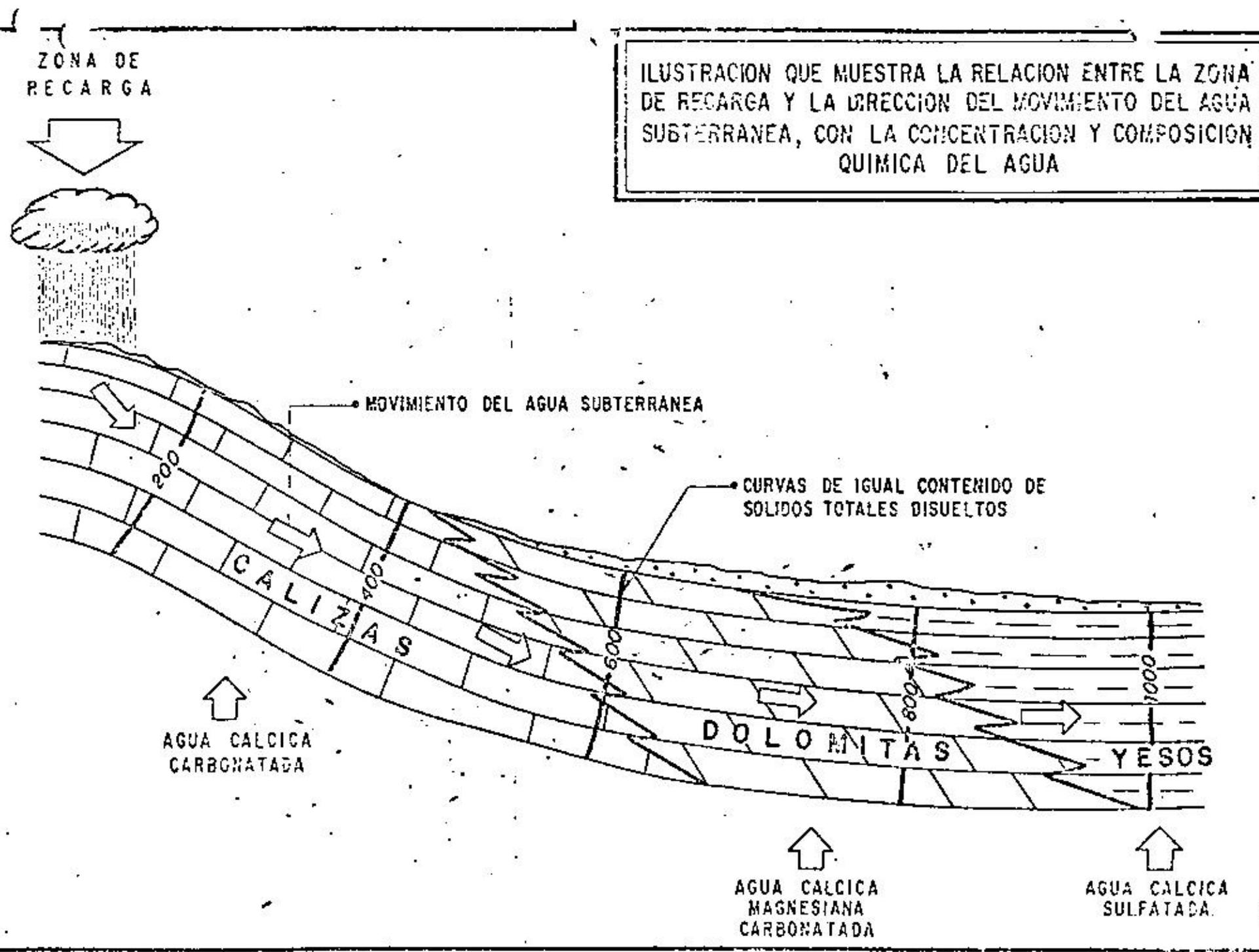
- c) Diagramas triangulares. - Con el objeto de obtener, en forma rápida e ilustrativa, los diferentes tipos o familias de agua, de acuerdo al catión y anión predominante, se forman diagramas triangulares, como el que se muestra en la Fig. 10. En el triángulo de la izquierda de este diagrama se grafican, en porcentaje de me/l, los principales cationes y, en el triángulo de la derecha, también en las mismas unidades, los principales aniones. En los vértices de estos triángulos se definen aguas cálcicas, magnesianas, bicarbonatadas, etc., si las muestras no encuentran localizadas en los vértices con los por-



CONFIGURACION DE SOLIDOS TOTALES EN ME.C., CHIHUAHUA-ALDAMA, CHIH.



ILUSTRACION QUE MUESTRA LA RELACION ENTRE LA ZONA DE RECARGA Y LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA, CON LA CONCENTRACION Y COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA



# DIAGRAMA TRIANGULAR

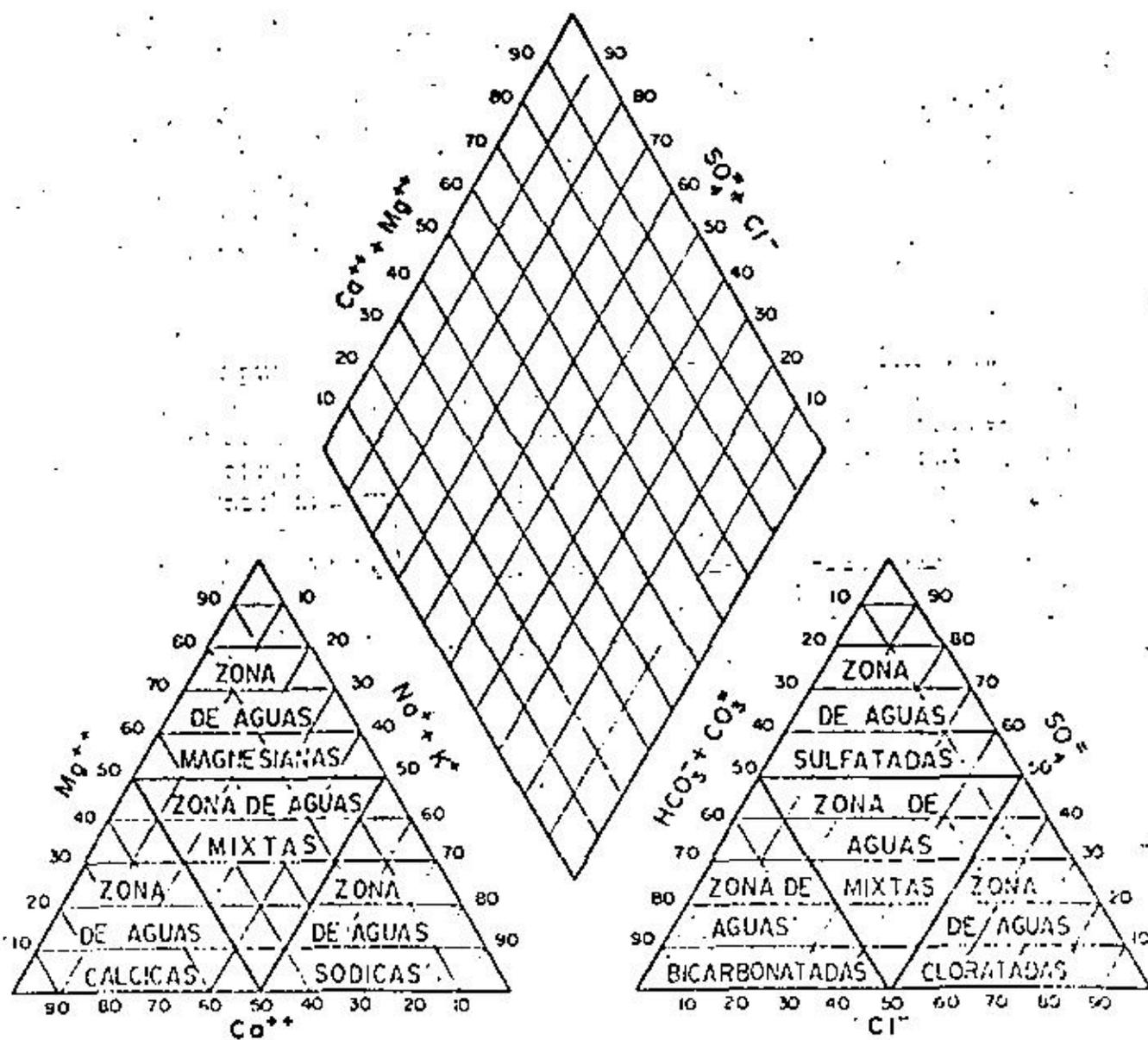


FIG. - 10

centajes mayores al 50% de calcio, magnesio, bicarbonato, etc., respectivamente. Se define como agua mixta, la que se grafica al centro del triángulo, por no existir un ion que predomine.

En la Fig. 11 se muestra un diagrama triangular, en el cual se graficaron muestras de agua del Valle de Tecomán-Manzanillo, Col., observándose la existencia de agua de tipo sódico-clorurada, mixta-mixta y cálcico-bicarbonatada.

El tipo o familia de agua, se vacía sobre un plano delimitando zonas con agua de diferente composición. En la Fig. 12 se muestra el plano correspondiente al diagrama triangular de la zona de Tecomán-Manzanillo, en el cual se delimitaron las zonas correspondientes a las familias de agua ya mencionadas. El agua sódico-clorurada, es consecuencia directa de contaminación del acuífero, con agua de mar. El agua mixta-mixta, es una mezcla de aguas de diferentes tipos y en la cual no predomina ningún ion en especial. El agua cálcico-bicarbonatada, es el producto de la disolución de rocas calizas por el agua.

- 1) Resistividades y sólidos totales disueltos. - La resistividad es una medida indirecta de los sólidos totales disueltos (S.T.D.) que contiene el agua, ya que sus valores son inversamente proporcionales a éstos últimos. Tomando en cuenta esta característica, se forma una gráfica (Fig. 13) con la cual, se pueden calcular resistividades a partir de sólidos totales disueltos, o viceversa. Los sólidos totales disueltos calculados, en algunos casos, nos ayudan a complementar la información de configuraciones de una forma rápida y económica. Las resistividades calculadas, se pueden utilizar para hacer correlaciones con geofísica

En la Fig. 17, se muestra un ejemplo de la relación entre resistividad y S.T.D., el cual corresponde al área de Sonoyta, Son. En ella se encuentra que, en ciertos lugares, el agua subterránea tenía concentraciones de S.T.D., muy altas y se encontraba rodeado por pozos con agua de mejor calidad. Se efectuaron sondeos geofísicos de resisti-







vidad, los cuales, al ser interpretados, mostraron la existencia de lentos localizados de muy baja resistividad, los cuales corresponden a agua salobre atrapada entre los sedimentos.

Existen otros tipos de clasificación y representación de análisis químicos, como las de Chase Palmer, Shoeller, Souline, Wilcox, etc.

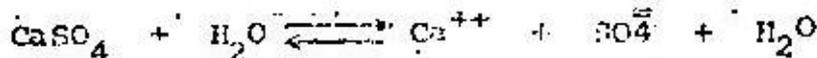
#### IV. GRADO DE SATURACION DEL AGUA CON RESPECTO A LOS MINERALES MAS COMUNES

Cuando algunas muestras presentaban altas concentraciones de sólidos totales, se procedió a hacer un análisis del grado de saturación del agua con respecto a los minerales más comunes; yeso  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , calcita  $\text{CaCO}_3$ , dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

##### 4.1. METODOLOGIA

Para obtener el grado de saturación de una sal en el agua, se obtiene la constante de actividad iónica (Kai) y se compara con la constante de equilibrio (Ke). Para valores de (Kai) mayores que (Ke), la muestra se encuentra sobresaturada y para valores de (Kai) menores que (Ke), la muestra no se encuentra sobresaturada.

En el caso del yeso, este se disocia según la siguiente reacción:



Aplicando la ley de Acción de Masas, obtenemos que la constante de actividad iónica es igual a las actividades de los productos entre los reactantes, o sea:

$$k_{ai} = \frac{[\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^{--}] [\text{2H}_2\text{O}]}{[\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]}$$

Donde los paréntesis indican la actividad iónica del ion -- que en encierran.

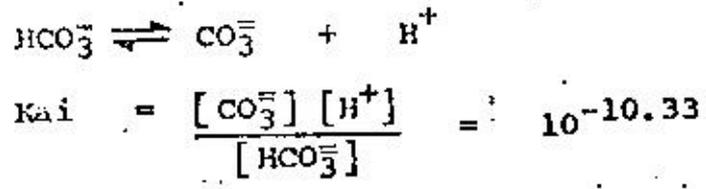
La actividad de los compuestos, es igual a 1. -- por lo tanto:

$$K_{ai} = [Ca^{++}] [SO_4^{=}] \text{-----} (1)$$

De manera similar para la calcita se tiene:

$$CaCO_3 = Ca^{++} + CO_3^{=} \\ K_{ai} = [Ca^{++}] [CO_3^{=}] \text{-----} (2)$$

Debido a que los análisis no reportan carbonato, (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>), se utilizó la determinación de bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>=</sup>), sustituyendo la fórmula (2) de la siguiente manera:



Despejando:

$$[CO_3^{=}] = \frac{[HCO_3^{=}] \cdot 10^{-10.33}}{[H^+]}$$

Sustituyendo en la ecuación (2):

$$K_{ai} = \frac{[Ca^{++}] [HCO_3^{=}] 10^{-10.33}}{[H^+]} \text{-----} (3)$$

Las actividades iónicas se obtienen multiplicando el coeficiente de actividad iónica (δ) de cada elemento, por la concentración en moles por litro (M).

$$\begin{aligned} \text{O sea:} \quad [Ca^{++}] &= \delta_{Ca} \cdot M_{Ca} \\ [SO_4^{=}] &= \delta_{SO_4} \cdot M_{SO_4} \\ [HCO_3^{=}] &= \delta_{HCO_3} \cdot M_{HCO_3} \end{aligned}$$

Las concentraciones en moles por litro (M) se obtienen dividiendo las partes por millón reportadas en los análisis químicos por el peso atómico. El coeficiente de actividad iónica (δ) se calculó mediante la fórmula de Debye-Huckel:

$$\log \gamma = \frac{-A z_i^2 \sqrt{I}}{1 - B a_i \sqrt{I}}$$

Donde  $z$  es la carga del ion;  $A$  y  $B$  son constantes dependientes de la temperatura (en nuestro caso a  $25^\circ\text{C}$ ,  $A = 0.5085$  y  $B = 0.3281 \times 10^8$ ; (Klots, 1950);  $a_i$  es una constante relacionada con el tamaño y carga del ion (HEM, 1970)  $I$  es la fuerza iónica calculada por la fórmula:

$$I = \frac{1}{2} (M \cdot z^2)$$

Donde  $M$  es la concentración de cada ion en moles por litro.

La constante de actividad iónica ( $K_{ai}$ ), así obtenida, se compara con la constante de equilibrio ( $K_e$ ), para encontrar el grado de saturación del agua con respecto a yeso y calcita.

Los valores de  $K_e$  son: (Garrel y Chist, 1965):

$$K_e \text{ (calcita)} = 10^{-8.34}$$

$$K_e \text{ (yeso)} = 10^{-4.61}$$

De manera similar, se procede para el cálculo de las constantes de otros minerales.

Ya obtenido el grado de saturación, se delimitan, sobre planos, las áreas sobresaturadas, a partir de las cuales, se deduce la dirección del movimiento del agua subterránea y se explica el comportamiento químico del agua.

En las zonas en donde el agua se encuentra sobresaturada de alguna sal, es de esperarse la precipitación de dicho compuesto y consecuentemente, la incrustación en bombas, tuberías, calderas y demás material que tenga contacto con esta agua. Mientras que las áreas en donde el agua no se encuentre saturada de sales, ésta continuará disolviendo y aumentando su concentración iónica.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**PERFORACION DE POZOS PARA AGUA**

**EL USO Y LA APLICACION DE TRAZADORES PARA AGUA SUBTERRANEA**

**ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES**

**ABRIL, 1984**

# EL USO Y LA APLICACION DE TRAZADORES DE AGUA SUBTERRANEA

Por: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

## R E S U M E N

La técnica sobre la aplicación de trazadores en agua subterránea, se ha venido desarrollando con nuevas metodologías en los últimos 25 años. Los principales trazadores utilizados son fluoriceínas, sales, esporas e isótopos. Las fluoriceínas son uno de los trazadores más económicos y fáciles de utilizar. Su aplicación se ha incrementado al introducir en el proceso de detección, el espectrofluorómetro y la concentración por medio de carbón activado. Las esporas, son el trazador más nuevo que existe, el cual ha probado ser de gran utilidad. Otro tipo de trazadores de agua subterránea, son los isótopos deuterio, oxígeno 18, tritio y carbono 14, cuya técnica y aplicación es cada día mayor.

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

En determinadas ocasiones es de esencial importancia el conocer con exactitud si existe conexión entre dos puntos de un acuífero. Para ello se han llevado a cabo, desde el siglo pasado, experimentos consistentes en mezclar, en el agua de un aprovechamiento subterráneo localizado aguas arriba, una sal o un tinte, el cual puede ser reconocido en otro aprovechamiento localizado a cierta distancia aguas abajo, determinando así, la posible conexión entre dichos puntos. A esta técnica se le conoce como trazadores de agua subterránea.

Este método, se ha aplicado principalmente en rocas fracturadas, donde el tiempo de tránsito es corto, y en distancias hasta de 40 km (Zotl, 1970). En menor proporción, se ha llevado a cabo en medios granulares, ya que por una parte la velocidad de flujo es relativamente pequeña y por otra, la arcilla produce absorción e intercambio iónico, por lo cual la aplicación en este medio debe ser en distancias cortas.

Los puntos de inyección más comunes, son ríos subterráneos localizados dentro de cavernas y los principales puntos de muestreo son manantiales. Con algunas limitaciones los puntos de inyección y muestreo de trazadores pueden ser también pozos, norias,

galerías filtrantes, drenes, lagos y presas.

En algunas ocasiones, se ha utilizado esta técnica para determinar si el agua de manantiales, ríos o drenes, corresponden a filtraciones de una presa o lago.

Un buen trazador, debe reunir las características siguientes: Debe ser no tóxico; soluble en agua, identificable en pequeñas concentraciones; resistente a cambios químicos; tener poca o nula capacidad de intercambio iónico; no ser absorbido o retenido por suelo o rocas; su determinación debe ser mediante análisis sencillos y su aplicación económica.

Los principales trazadores son fluoriceínas, sales espumas e isótopos.

### FLUORICEINAS

Son sustancias que tienen la propiedad de emitir luz fluorescente. La longitud de onda de esta luz, varía de una sustancia a otra, propiedad que se utiliza para identificarlas. Las sustancias más comunes utilizadas como trazadores son: Uranina, Rosina, Amidorhodamina G extra, Rhodamina FB y Tinopal CBS-X. A continuación se describen las características de cada una de estas sustancias.

URANINA.- Es la de mayor aplicación. Consiste en una fluoriceína de sodio que presenta un color naranja en soluciones concentra

das (mas de 1 ppm), que cambia a verde-amarillento al ser diluida. La intensidad de fluorescencia depende del pH. En la figura 1, se muestra la relación entre el pH y la intensidad de fluorescencia de la uranina. En aguas muy ácidas, pierde su fluorescencia pero este proceso es reversible, pudiendo recobrarla al añadir un compuesto básico, como KOH ó NH<sub>3</sub>. Esta propiedad puede utilizarse para identificar el trazador.

El poder de la uranina, puede disminuir por medio de procesos fotoquímicos como la luz ultravioleta, por agentes oxidantes como el cloro y el ozono y en algunos casos por procesos biológicos.

Es visible en concentraciones mayores de 0.01 ppm. Antiguamente se utilizaban lámparas de luz ultravioleta para identificarla cuando se encontraba en concentraciones bajas. Actualmente las concentraciones entre  $1 \times 10^{-2}$  y  $2 \times 10^{-6}$  ppm son medidas con espectrofluorómetro.

La intensidad máxima de fluorescencia se detecta a una longitud de onda de  $515 \times 10^{-9}$  m. A mayor o menor longitud de onda la intensidad disminuye en forma simétrica (figura 2) y la forma de la curva distingue a la uranina de otra fluorocina. Para concentraciones menores a  $2 \times 10^{-6}$  ppm, se utiliza carbón activado (W.B. WHITE, 1967, F. BAVER, 1972) el cual se coloca en el agua durante un tiempo que varía de un día a semanas, donde la uranina es absorbida y concentrada de 50 a 500 veces por el car-

bón y su concentración medida posteriormente.

Para extraer la uranina del carbón, se le agrega a éste algunas gotas de una de las siguientes preparaciones:

- a) Una parte de alcohol etílico al 95% y una parte de hidróxido de potasio diluido al 15% en agua destilada.
- b) Ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF), dos partes de agua destilada y una gota de  $\text{NH}_3$ .

Por último, la uranina es resistente a la absorción por arcillas y su uso no es tóxico para el hombre o animales.

**ROSIÑA.** - Presenta una fluorescencia naranja-rosa, cuya máxima intensidad se detecta a una longitud de onda de  $535 \times 10^{-9}$  m.

Cuando se presentan valores mayores de 0.01 ppm, es visible al ojo humano. Entre 0.01 y  $50 \times 10^{-6}$  ppm, puede detectarse con espectrofluorómetro. Concentraciones menores se concentran con carbón activado del cual puede extraerse añadiendo una sustancia compuesta por ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

Al utilizarse junto con rhodamina FB o uranina, se producen interferencias por lo que su aplicación conjunta es limitada.

**ANTROQUINONINA C EXTRA.** - Conocida anteriormente como sulfonil...

5  
mina G extra, presenta una fluorescencia naranja-rosa en soluciones concentradas, que cambia a verde al ser diluida. Su mayor intensidad se presenta a una longitud de onda de  $554 \times 10^{-9}$  m. - Es visible en concentraciones mayores de 0.01 ppm y con espectrofluorómetro pueden detectarse hasta  $6 \times 10^{-3}$  ppm. Valores menores pueden concentrarse por medio de carbón activado, del cual puede ser extraída la fluoriceína, por medio de una solución de ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

Esta fluoriceína presenta inconvenientes, ya que es difícil de disolver y fácilmente absorbida por arcillas. En presencia de uranina, rhodamina FB o eosina, se producen interferencias.

RHODAMINA FB.- Presenta un color púrpura y fluorescencia roja. Su mayor intensidad se detecta a una longitud de onda de  $578 \times 10^{-9}$  m. Es visible al ojo humano en concentraciones mayores de 0.01 ppm. Con espectrofluorómetro se detectan hasta  $10 \times 10^{-3}$  ppm. Valores menores pueden ser concentrados por medio de carbón activado del cual se extrae por medio de una de las soluciones siguientes:

- a) Cinco partes de propanol y 5 partes de hidróxido de amonio.
- b) Ocho partes de N-N dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

La rhodamina FB, presenta interferencias al combinarse

con uranina, eosina o aminorhodamina G, extra. Es tóxica cuando se inhala en soluciones concentradas. Por otra parte, en presencia de arcillas es altamente absorbida.

**MINOPAL CBS-X.** - Presenta un color verde con fluorescencia azul. Su mayor intensidad se determina a una longitud de onda de  $430 \times 10^{-9}$  m. Es visible solamente en concentraciones mayores de 1 ppm. Con espectrofluorómetro se pueden detectar hasta  $440 \times 10^{-3}$  ppm. Valores menores son concentrados por medio de carbón activado del cual la fluoriceina puede extraerse agregando unas gotas de una solución que contenga ocho partes de N-N dimetilformadina (DMF) y dos de agua destilada. Este producto, es absorbido por arcillas.

#### EJEMPLO SOBRE LA APLICACION DE FLUORICEINA.

Con el propósito de ilustrar su aplicación, a continuación se presentan los resultados obtenidos en un experimento llevado a cabo en una región cárstica.

Se propuso conocer la conexión entre el agua de un río que se infiltraba dentro de una dolina y dos manantiales situados a 5 kilómetros de la primera. Para ello, se inyectaron 3 kg de uranina en el agua de la dolina y se obtuvieron muestras de agua cada dos horas en los manantiales "H" y "S".

En el manantial "S", no se detectó uranina, por lo que

se concluye que este no tiene conexión con la zona de recarga donde se inyectó el trazador.

En el manantial "H", se empezó a detectar uranina 56 horas después de la inyección, y la concentración del trazador fue aumentando hasta llegar a  $32 \text{ mg/m}^3$ , según muestra en la figura 3.

Tomando en cuenta el tiempo requerido por el trazador para circular entre los puntos de inyección y muestreo, y la distancia entre ellos, se obtuvo la velocidad mínima de circulación, la cual fue de  $3.7 \text{ km/día}$ .

Otro ejemplo ilustrativo de la aplicación de trazadores ahora en acuíferos granulares someros es el siguiente:

En un valle aluvial que presenta un acuífero freático a  $3 \text{ m}$  de profundidad, se perforaron 9 pozos a  $3''$  de diámetro y  $5 \text{ m}$  de profundidad, distribuidos en la forma como se ilustra en la figura No. 4.

En el pozo central, se inyectó uranina y se obtuvieron muestras de agua en el resto de los pozos, cada 20 minutos.

Después de 3 horas 20 minutos de la inyección, se detectó uranina solamente en los pozos 4 y 5, de donde se puede obtener que el agua subterránea fluye en dirección Suroeste, a una velocidad de  $1.5 \text{ m/hr}$ .

Este método es utilizado en zonas sin información y su aplicación queda limitada por la profundidad a que se encuentre el nivel estático, ya que mientras mayor es ésta, mayor es el costo de los pozos de muestreo e inyección.

### S A L E S

Las sales son el trazador artificial de agua subterránea más antiguo que se conoce se haya aplicado con éxito. Los productos utilizados más comunes son, sal de cloruro de sodio y sal de cloruro de potasio.

La sal es disuelta en agua y posteriormente incorporada al acuífero. Una de las desventajas que presenta este método, es que requiere que en la zona de inyección el caudal de agua que entre al acuífero sea grande. Por otra parte se necesita una gran cantidad de sales en cada experimento.

En zonas cársticas, para distancias entre 3 y 5 km se requiere inyectar un mínimo de 500 kg de sal (Zotl, 1975). La cantidad más grande que se ha llegado a inyectar en un experimento de trazadores, fue de 50 toneladas de NaCl, (W. Koss, en B. Batsche et. al., 1970), donde después de 4 días, se encontró en uno de los manantiales de observación un incremento de cloruros de sólo 39 ppm.

Los grandes volúmenes de trazador requeridos mediante el

te método, hacen que su uso sea limitado. La ventaja consiste en que pueden efectuarse determinaciones cuantitativas.

#### EJEMPLO SOBRE LA APLICACION DE SALES

Durante los trabajos realizados para conocer la posible conexión entre el agua de un río que se infiltraba en una dolina y dos manantiales localizados a 5 kilómetros de ésta, como se mencionó en párrafos anteriores, se inyectaron 600 kg de cloruro de sodio y 400 kg de cloruro de potasio.

Posteriormente se obtuvieron muestras de agua con intervalos de dos horas cada una, tanto en el manantial "H" como en el "S", las cuales se analizaron químicamente determinándose el contenido de cloruros, sodio y potasio.

Al igual que en los resultados obtenidos para la fluorización (párrafos anteriores), en el manantial "S", no se detectó incremento alguno en su contenido salino, por lo cual se concluyó que este manantial no tiene conexión con el agua de infiltración de la dolina.

Por lo que se refiere al manantial "H", los resultados de los análisis se graficaron en la figura 5, donde se observa que 56 horas después de la inyección de las sales, se detectó un incremento en los iones determinados, ratificando la comunicación entre la dolina y el manantial.

Considerando el tiempo que tardó en aparecer el trazador en el manantial y la distancia entre éste y la dolina, se obtuvo la velocidad de flujo del agua de este acuífero.

Por otra parte, con estos resultados y los de los análisis químicos y volúmenes aforados, es factible determinar el volumen mínimo de agua almacenado, así como el conocer en que proporción el agua del manantial, proviene de la que se infiltra en la dolina.

### E S P O R A S

Las esporas utilizadas como trazadores corresponden al tipo *Lycopodium Clavatum*. Tienen un diámetro de 30-55 micras y un color amarillo pálido (1 micra =  $10^{-4}$  cm).

Su forma es similar a la de un triángulo isósceles con la dos convexos. Sus orillas forman cadenas de semicírculos cóncavos (figura 6). Están cubiertas por una fina membrana insoluble por lo que al ser incorporadas al agua son transportadas en suspensión. No se sedimentan y tienen la propiedad de no ser absorbidas o intercambiadas con el suelo o rocas.

En el año de 1953, A. Mayr, trató de emplear las esporas como trazador debido a las propiedades que presentan pero su identificación resultó problemática. J. Zotl y V. Maurin, idearon teñir las esporas de diferentes colores para facilitar su

identificación lo cual resultó exitoso. De esta manera pueden - mezclarse en agua, esporas de diferentes colores y posteriormente detectarse en cierta zona de muestreo identificándose, por el color, con cuales sitios tiene conexión.

El muestreo de esporas se lleva a cabo instalando redes - para plancton las cuales se pueden dejar por tiempo indefinido en el lugar de muestreo. Al preparar la muestra para observarla en el microscopio, se ha visto que se obtienen resultados satisfactorios, si se lleva a cabo lo siguiente:

A las muestras de campo se le agregan 3 gotas de hidróxido de potasio al 10%, 3 gotas de formol al 35% y una pisco de urea; posteriormente se calienta en baño de María por tres minutos. Se centrifuga y el sedimento se concentra en un tubo al que se le agrega una gota de ácido etílico. Se coloca una pequeña parte de la preparación en una lámina delgada para su análisis al microscopio.

I S O T O P O S

Los principales isótopos utilizados como trazadores en agua subterránea, se dividen en estables (Deuterio y Oxígeno 18) y radioactivos (Tritio y Carbono 14). A continuación se describen sus principales características.

DEUTERIO Y OXIGENO 18 - Son identificados con las siglas D y <sup>18</sup>O. Se encuentran en el agua de mar en promedio de 320 y

2 000 ppm respectivamente. Sus concentraciones son representadas mediante las relaciones D/H y  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  y expresadas en unidades  $\delta$  como sigue:

$$\delta D = \frac{(D/H)_{\text{MUESTRA}} - (D/H)_{\text{SMOW}}^*}{(D/H)_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

La evaporación produce un fraccionamiento isotópico y en el agua de lluvia de zonas con climas moderados es lineal y en la proporción siguiente:

$$\delta D = 8\delta^{18}\text{O} + 10$$

El fraccionamiento isotópico, está en relación con la temperatura y altitud.

Tomando en cuenta los procesos y propiedades de estos isótopos, es posible diferenciar agua superficial sujeta a evaporación, de agua de lluvia, o de agua infiltrada a diferentes alturas.

**TRITIO.** - Tiene una vida media de 12.26 años. Antes del año de 1953, cuando se efectuaron las primeras pruebas con bombas atómicas, el agua de lluvia, contenía entre 5 y 10 unidades de tritio (U.T.). Como resultado de dichas explosiones, el contenido de tritio en la atmósfera se incrementó llegando a medirse hasta 800 U.T. en algunos lugares. La concentración de este isótopo en el agua, varía con la latitud y los cambios estacionales.

\* Standard Mean Ocean Water.

teniendo en cuenta lo anterior se puede decir que el agua con contenidos bajos de tritio, menores de 1 U.T. corresponde a agua infiltrada hace más de 50 años. Si tiene concentraciones entre 10 y 20 U.T. indica que el agua es de lluvia o reciente infiltración y si tiene más de 20 U.T. corresponde a agua con entre 10 y 50 años de infiltrada.

CARBONO 14.- Este isótopo junto con los mencionados anteriormente, son los de mayor aplicación de hidrología y tiene una vida media de 5730 años. El carbono 14 contenido en el agua, empieza a desintegrarse al incorporarse al acuífero, por lo cual al medir su contenido en algún punto, es posible determinar el tiempo que ha permanecido en el acuífero. Pueden detectarse edades hasta de 30,000 años.

La edad del agua por medio del carbono 14, se complementa con la del tritio, debido a los diferentes rangos que abarcan. Cuando la concentración de tritio es menor de 2 U.T. o sea infiltrada antes de 1954, se dice que es negativa y para valores mayores, o sea posteriores a 1954 se dice que es positiva. Respecto al carbono 14, si se detecta alguna concentración, significa que el agua tiene menos de 30,000 años y se dice ser positiva, pero si no se detecta entonces tiene más de 30,000 años y es negativa.

Combinando a estos isótopos, tenemos que si ambos son positivos el agua es posterior a 1954; si son negativos es que fue

ne más de 30,000 años y si el tritio es negativo y el carbono 14 positivo, el agua se infiltró entre 1954 y hace 20,000 años.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los trazadores de agua subterránea más comunes son: fluoriceínas, sales, esporas e isótopos.

Este método es de mayor aplicación, en rocas fracturadas, donde el tiempo de tránsito es corto. En medios granulares, ya que por una parte la velocidad de flujo es relativamente pequeña y por otra, la arcilla producen absorción e intercambio iónico, se utiliza para distancias cortas.

Dentro de las fluoriceínas, la que ha reportado mejores resultados es la uranina. Su utilización permite determinar, principalmente, la conexión entre dos puntos de un acuífero pero es también posible, conocer velocidades y direcciones del flujo de agua subterránea.

El uso de sales es restringido debido a la gran cantidad de trazador que se necesita utilizar en cada experimento. Es recomendable para distancias cortas.

Las esporas son el trazador más nuevo que se haya aplicado con éxito. Su manejo es sencillo, económico y puede utilizarse para distancias hasta de 40 kilómetros.

Por las características que presentan el deuterio y el oxígeno 18, es factible a partir de su determinación, diferenciar aguas superficiales sujetas a evaporación, de agua de lluvia o de agua infiltrada a diferentes alturas.

Los isótopos tritio y carbono 14, son utilizados para datar el agua, abarcando un rango de prácticamente cero a 30,000 años.

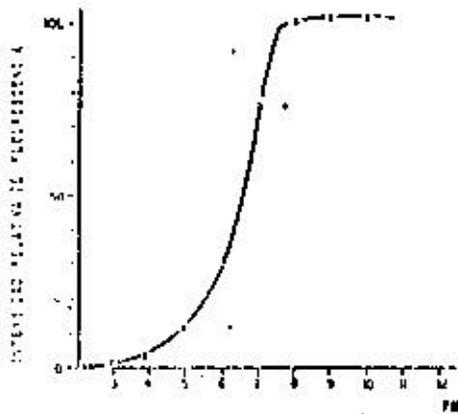


FIGURA 1

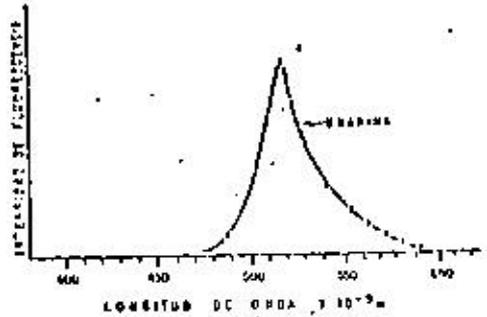


FIGURA 2

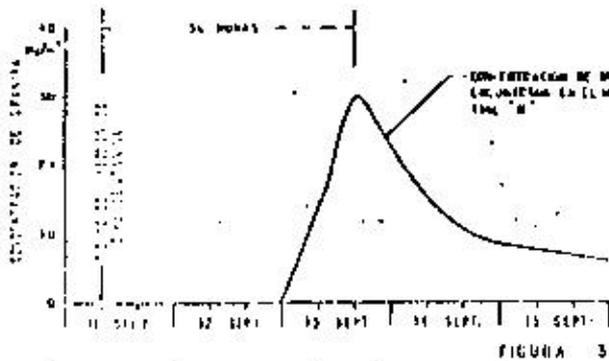


FIGURA 3

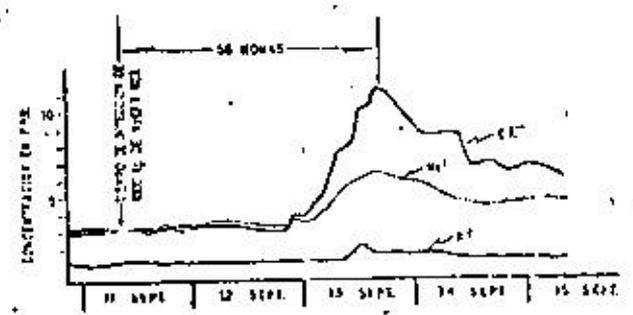
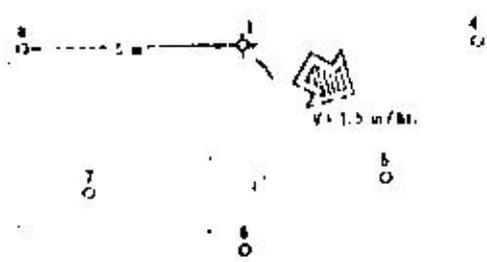


FIGURA 4



**EXPLICACION**

- 1 - PUNTO DE INYECCION
- 2 - PUNTO DE MUESTREO
- 3 - VELOCIDAD DE FLUJO DEL FLUIDO EN EL MANTO
- 4 - VELOCIDAD DE FLUJO DEL FLUIDO EN EL MANTO
- 5 - VELOCIDAD DE FLUJO DEL FLUIDO EN EL MANTO
- 6 - VELOCIDAD DE FLUJO DEL FLUIDO EN EL MANTO
- 7 - VELOCIDAD DE FLUJO DEL FLUIDO EN EL MANTO
- 8 - VELOCIDAD DE FLUJO DEL FLUIDO EN EL MANTO

FIGURA No. 4

## REFERENCIAS

- Akin, G.W. and J. V. Largerwerff, 1965. "Calcium Carbonate - Equilibria in Solutions Open to the Air. - I. - The solubility of Calcite in Relation to Ionic Strength". Geochim. et Cosm. Acta. 29 (4), 343-352.
- Akin, G.W. and J. V. Largerwerff, 1965. "Calcium Carbonate - Equilibria in Solution Open to the Air. II. - Enhanced Solubility of Calcium Carbonate in the Presence of Magnesium and Sulfate" Geochim et Cosm. Acta. 29 (4), 353-360.
- Back, William and B. Hanshaw, 1970. "Comparison of the Chemical Hydrogeology of the Carbonate Peninsulas of Florida and - Yucatan". Jour. of Hyd., Vol. X-4.
- Back, William, 1961. "Calcium Carbonate Saturation in Ground Water, From Routine Analyses. "U.S.G.S., W.S.P." 1535-D.
- Back, W. and B. Hanshaw, "Chemical Geohydrology"
- Back W. and J. Zottl., 1975, "Application of Geochemical Principles, Isotopic Methodology and Artificial Tracers to Karst Hydrology".
- Banks, H.O., and Richter, R.C., 1953, "Sea-Water intrusion -- into Ground-Water Basins Bordering the California Coast and Island Bays". American Geophysical Union Transactions, Vol. 34, - No. 4 pp. 575-582.
- Banks, H.O., Richter, R.C. y Harder, J., 1957, "Sea Water Intrusion in California", American Water Works Association, Vol. 49, No. 1 pp. 71-88.
- Bruington, A.E., y Seares, F.D., 1965, "Operating a Sea Water Barrier Project", American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 91, No. IRI.
- Bruington, A.E. Drescher, W.J. y Sherwood, C.B. 1969, "saltwater Intrusion in the United States"., American Society of Civil Engineers Proceedings, Journal of the Hydraulics Division, Paper 6788, HY 5, pp. 1651-1669.
- California Department of Water Resources, 1957, "Report by -- Los Angeles Country Flood Control District on Investigational Work for Prevention and Control of Sea Water Intrusion West -- Coast Basin Experimental Project, Los Angeles County", Boletín No. 63 Apendice B.

- California Department of Water Resources, 1958, "Sea Water Intrusion in California", Boletín No. 63.
- California Department of Water Resources, 1960, "An Investigation of Some Problems in Preventing Sea-Water Intrusion By --- Creating a Fresh-Water Barrier", No. 63 Apendice D.
- California Department of Water Resources, 1970, "Oxnard Basin Experimental Extraction Type Barrier", Boletín 147-6.
- Cooper Hilton H., U.S., Geological Survey, Water Supply Paper 1613 C.
- Castany, G., 1963. "Traité Pratique Des Eaux Souterraines".
- Dansgaard W., 1964, "Stable Isotopes in Hydrology" Tellus 16, 436-468.
- Davis, S.N. and Dewiest, 1971. "Hidrogeología".
- Dechant, M., 1967 "Die Färbung der Lycopodiumspores" Steir - Beitr. Z. Hydrogeologie, 18/19, 241-247.
- Dechant M., 1977, "The Dyeing of Lycopodium-Sopres" Notes of The Ground Water Tracing Techniques Course" Graz, Austria.
- Fairbridge, R.W. "Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Science".
- Garrels and Chirst, 1965. "Solution, Minerals and Equilibria".
- Garrels and Mackenzie, 1971. "Evolution of the Sedimentary - Rocks".
- Gonfiantini, R., 1971 "Notes on Isotope Hydrology" International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria.
- Hem, John. "Calculation and Use of Ion Activity" U.S.G.S. - W.S.P.
- Hem, John, 1971. "Study and Interpretation of The Chemical - Characteristics of Natural Water". G.S.W.S.P. 1473.
- Institute for Karsresearch SAZU. "Underground" Yugoslavia.
- Krauskopf, K.B., 1967. "Introduction to Geochemistry".
- Klein, H., 1965, "Salt Water Intrusion Can be Controlled", - Florida Board of Conservation, Division of Geology.
- Payne R.E., 1975 "Isotope Hydrology" International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

Piper, A.H., 1944. "A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses". Am. Geophys. Union Trans.

Richter Raymond C., 1972 "Ground Water Course", Chapter 2, California Department of Water Resources.

Stumm, W. and J. Morgan, 1970. "Aquatic Chemistry". an Introduction. Emphatizing Chemical Equilibria in Natural Waters.

Suelos Salinos y Sódicos, 1954 Manual de Agricultura No. 60 - Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

Todd, David K, 1959, Ground Water Hydrology, John Wiley and Sons, pp 177.

Water Quality Criteria, 1972, Report of the National Technical Advisory Comitee to the Secretary of the Interior.

White, W.B., 1967, "Modifications of Fluorescein Dye Ground Water Tracing Techniques". Steir. Beitr. Z. Hydrogeologie, 18/19 151-158.

Wittwen K., Waser H. and Matthe, B., 1971, "Essai de Fixation de la Sulforhodamine B et de la Sulforhodamine G. Extra sur Charbon Actif". Act. 4e Congr. Suisse Speleol. Neuchatel 1971, 78-83.

Zotl J. G., 1965, "Carst Hydrological investigations for the Construction of the Diessbach Reservoir".



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

TRATAMIENTOS O ESTIMULACION DE POZOS

ING. JUAN JOSÉ ROCHA RANGEL

ABRIL, 1984

## TRATAMIENTOS O ESTIMULACION DE POZOS.

El término estimulación fué definido como el tratamiento mecánico, químico, físico u otro medio cuyo propósito sea remover o reducir la resistencia al flujo del agua subterránea y son las técnicas necesarias para remover parcial o totalmente la resistencia del flujo de agua al pozo sin cambiar su característica constructiva.

Este término fué escogido porque es el término estandar en la industria petrolera y casi todo lo que vamos a exponer se emplea o ha tenido su comienzo en los pozos petroleros. Además; los campos de abastecimiento de agua no tienen un término propio que denote estas operaciones.

Términos comparables en los pozos de agua son: desarrollo, redesarrollo, rehabilitación y reacondicionamiento.

Desarrollo generalmente significa algunos tratamientos aplicados para la terminación del pozo.

Redesarrollo es un término no muy empleado, pero significa que se efectuaron tratamientos - después de algún tiempo de terminado el pozo, generalmente después que en el pozo se notó una declinación de la producción:

Los trabajos de perforación por el -- método rotatorio en formaciones granulares siempre provocan el taponamiento de los acuíferos porque utilizan lodo para sus fines.

Una de las propiedades del lodo de -- perforación es la pérdida de agua. Dependiendo de la - permeabilidad en la formación y de las características propias del lodo; la pérdida de agua origina que alrededor del agujero se forme una película de lodo comunmente llamada Enjarre.

El trabajo en un buen desarrollo de - pozos tendrá como primer objetivo la eliminación del -- enjarre dejado por el lodo de perforación.

El segundo objetivo es incrementar la permeabilidad del acuífero en las vecindades del agujero.

ro, eliminando las partículas de lodo y productos ajenos al pozo que hayan penetrado durante su perforación, el tercer objetivo, es lograr la formación de zonas de graduación de arenas, para dar el filtro adecuado y - - tener el pozo fluyendo a su capacidad específica.

Existen diferentes métodos para el desarrollo de pozos de agua, nosotros veremos someramente los siguientes:

Método Mecánico.

Método Hidráulico.

Bombeo a Chorro.

Método Neumático.

Método Físico Químico.

Los cuatro métodos primeros pueden -- combinarse en el procedimiento físico químico.

1.- METODO MECANICO.

Agitación de las aguas del acuífero - por medio de la acción de un pistón en el interior del ademe.

Para esta operación se necesita utili

zar un pistón debidamente ajustado al diámetro del ademe por empaques de hule o cuero, cuya finalidad es la de lograr una fuerte agitación.

La maniobra de agitación deberá iniciarse efectuando un movimiento recíprocamente al pistón, desde la parte inferior de los cedazos. Esta operación se repetirá levantando el pistón en intervalos de 10 mts. hasta la parte superior del cedazo o nivel estático del agua, si ésta se encuentra abajo de la parte superior del ademe ranurado o cedazo.

Muchos perforadores utilizan este procedimiento para el desarrollo de los pozos, otros al contrario, están en contra de ellos y creen que en lugar de obtener beneficios se obtienen daños.

## 2.- METODO HIDRAULICO.

Este método es también llamado de sobre bombeo. El agua es bombeada a alta velocidad a través de una tubería colocada en el fondo del pozo y retornada por el ademe, su función es la de lograr una succión y hacer que el acuífero contribuya con el flu--

jo de agua y así destapar los canales por arrastre de finos.

Una objeción para utilizar este procedimiento es el de elevar el nivel de agua hasta tener una carga hidrostática mayor que la que puede soportar el acuífero, como consecuencia, se inyectará a la formación toda la arcilla dispersa en el pozo, Aunque se varíe la profundidad de la tubería continuará inyectando el agua, introduciéndose dentro del acuífero a mayor distancia las arcillas. Posteriormente a esto, será demasiado difícil lograr la limpieza del pozo. Otra objeción es la cantidad de agua necesaria para lograr el bombeo.

#### 4.- BOMBEO A CHORRO.

El bombeo a chorro de productos químicos a alta velocidad, es el método más efectivo para el desarrollo de pozos de agua.

Es relativamente simple su uso y siempre será beneficiosa su aplicación.

Este método presenta las siguientes ventajas sobre el desarrollo convencional.

Si las ranuras del cedazo se encuentran obturadas, el chiflón es correctamente ajustado para dirigir la fuerza del chorro concentrando la energía sobre una pequeña área, en esta forma, se elimina la obturación y se limpian los contornos de la formación.

Cada porción del cedazo o tubería ranurada puede ser limpiado selectivamente dando como resultado la máxima efectividad en la limpieza del ademe y de la formación.

La acción de la velocidad de los chorros, trabajando separado a través de las ranuras del ademe, agitan y arreglan las partículas de arena y de grava de la formación, los productos químicos agregados al fluido bombeando, actúan con mayor eficacia con este método.

El movimiento ascendente y rotatorio en forma lenta de la herramienta, ocasiona que toda la

superficie del cedazo quede bajo la acción vigorosa del chiflón.

Arenas finas, arcilla y limos, son lavados e introducidos en el ademe por la turbulencia creada por el chorro, a través de las ranuras abajo y arriba del punto de operación. La película de lodo formada en los bordes del agujero durante la perforación por el método convencional de rotaría, es efectivamente dispersada.

Hasta donde sea posible, es muy recomendable sobrebombear ligeramente el pozo, al mismo tiempo que la alta velocidad de los chiflones esté trabajando, quedando supeditado esto, a la medida del pozo, eficiencia del equipo y posición del nivel estático.

El equipo requerido para desarrollar un pozo por bombeo a alta velocidad consta de: una herramienta con orificios calibrados situados a 90° para crear un chiflón dentro del pozo, una bomba de alta presión, capaz de bombear hasta 1 m<sup>3</sup> por minuto a presiones hasta de 280 k/cm<sup>2</sup>; tubería y conexiones de ace-

ro inoxidable de alta presión con juntas de rodilla - - (que dan flexibilidad de operación), bomba centrífuga - para mezcla y tanque de almacenamiento para efectuar la mezcla de los productos químicos.

La velocidad mínima aceptable de los fluidos, para obtener eficiencia es de 30 mts por segundo, mejores resultados pueden ser esperados si se incrementa la velocidad a 100 mts por segundo.

Para que este método sea efectivo es deseable efectuar limpieza con aire para sacar las partículas de lodo en suspensión y prevenir que sean nuevamente introducidas en la formación.

Hay un método simultáneo de estimulación de pozos por bombeo y limpieza con aire y se pueden utilizar diferentes herramientas como la de la figura, que consiste en dos empaques separados a más o menos un metro; esto hace que se aisle la zona que va a limpiar y desarrollar.

Bombeo y extracción efectiva de los finos se logra con este tipo de empacador y las dos ope

raciones se hacen simultáneamente.

Otro tipo de empacador aísla completamente la zona que se va a limpiar y se inyecta aire con la tubería a la formación, posteriormente se sifonea el pozo. Cada segmento de la formación se estimula separadamente, estableciendo así cuales intervalos son los -- que necesitan mayor tiempo de desarrollo.

Las desventajas que tiene éste último método son las siguientes: cuando el nivel estático es muy profundo y el porcentaje de sumergencia es bajo, el bombeo no es práctico. Es limitante la presión del -- compresor a la profundidad de limpieza.

### 3.- METODO NEUMATICO.

Este método consiste en inyectar aire a través de una tubería de pequeño diámetro, que está -- abajo del nivel estático del pozo y recuperar el aire -- mezclado con agua, por una tubería de mayor diámetro.

Este procedimiento es el más recomendado para el desarrollo de pozos de agua, porque en -- ningún momento existe el peligro de crear presiones --

hidrostáticas que inyecten finos a la formación, sino - que al contrario, al obtener abatimiento en el nivel del agua, el acuífero tiende a fluír, cooperando a su limpieza.

Además se logra el desarrollo de todo el acuífero variando las profundidades de las tuberías.

#### PROCEDIMIENTO FISICO-QUIMICO.

Consiste básicamente en la adición de dispersantes de arcillas en el agua del lavado del pozo.

La propiedad de los distintos productos agregados deberá ser la de dispersar el lodo de perforación y romper la gelatinosidad de éste. Rompiendo esta gelatinosidad, el lodo de perforación es fácilmente removido y bombeado a la superficie.

La mayoría de los productos dispersantes se mezclan con el agua del pozo y se agregan desde la superficie.

Existen productos dispersantes de arcillas que se mezclan con ácido clorhídrico, estos produc

tos son más eficientes porque aunado a el trabajo del dispersante, el ácido por si mismo tiene propiedades dispersantes que hacen más efectiva la limpieza del pozo.

#### APLICACION DE HIELO SECO.

Este método es comunmente usado para la limpieza de los pozos, consiste en arrojar cargas de hielo seco sólido, el cual al sublimarse, aumenta grandemente su volúmen logrando efectuar la limpieza parcial del pozo. Este método está cayendo rápidamente en desuso por ser poco efectivo.

#### METODO DE APLICACION DEL NITROGENO.

Cuando la profundidad del pozo para agua es grande (abajo de 300 metros) se ha utilizado con gran éxito el uso del nitrógeno para la limpieza del pozo, se bombea através de una tubería de diámetro pequeño introducida hasta el fondo del pozo; el nitrógeno aumenta grandemente su volúmen y en forma de burbujas efectúa descargas totales de agua, contribuyendo enérgicamente a la limpieza del pozo.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

NORMAS PARA LA LIMPIEZA DE POZOS EN PERFORACIONES GRANULARES

ING. JUAN JOSÉ ROCHA RANGEL

ABRIL, 1984

NORMAS PARA LA LIMPIEZA DE POZOS EN -  
FORMACIONES GRANULARES.

En el desarrollo de pozos se emplean técnicas que se consideran rudimentarias y otras que han sustituido ventajosamente a las primeras, las normas que a continuación se siguen, se creen que sean -- los métodos más eficientes para el desarrollo de los pozos.

Limpiar la ranura y el acuífero con herramienta dispersora y bombeo a alta presión, porque los procedimientos hidráulicos y mecánicos, reintroducen las partículas de arcilla dentro de la formación.

Emplear dispersantes de arcillas en medio ácido.

Emplear aire para limpieza en pozos con profundidades menores de 300 metros.

Emplear el nitrógeno para pozos profundos abajo de 300 metros.

Finalizar la limpieza del pozo hasta

que el agua salga perfectamente limpia.

Es necesario efectuar la limpieza de los pozos inmediatamente de efectuado el entubado, ya que el lodo bentonítico al quedar estático se gelatiniza y es muy difícil removerlo.

En formación donde se presentaron pérdidas de lodo durante la perforación, es necesario inyectar los dispersantes dentro de la formación, para que éstas se pongan en contacto con el lodo y logren dispersarlo.

Efectuar pruebas piloto en los distintos dispersantes que existen en el mercado de acuerdo con el problema que se tenga que resolver y emplear al que resulte más efectivo.

#### EXPLOSIVOS.

Esta operación no es muy usual, aunque se ha utilizado en diversas operaciones con buenos resultados.

Es una forma especial de uso de la --

dinamita para producir vibraciones en el ademe. Consiste en colocar pequeñas cargas de dinamita y detonarlas en secuencia, las cuales producen movimientos vibratorios en el ademe y la formación, por las ondas generadas.

Al mismo tiempo la explosión genera gases que sacan el fluido de los pozos con energía, creando una presión de formación al agujero.

Mayores cantidades de explosivos se han utilizado para fracturar formaciones muy compactas, como areniscas, granitos, fracturadas, etc., en cantidades de 100 a 600 libras de nitroglicerina al 80%.

También se han usado explosivos plásticos. Otra forma de uso de los explosivos es bombear un líquido fracturante a la formación y posteriormente detonar éstos.

#### TRATAMIENTOS CON ACIDO.

Tratamientos con ácido o estimulación por acidificación de los pozos, significa un incremento valioso en la producción de agua.

El procedimiento consiste en colocar diversos tipos de ácido en contacto con la formación -- productora de agua. La solución disuelve parte de la -- formación, permitiendo su mayor flujo al aumentar el -- diámetro de la fractura.

Tres casos se presentan en este tipo de tratamientos, que aumente la producción y este incremento se conserve. Que el incremento decline rápidamente, que no aumente la producción.

El problema de los casos dos y tres -- se debe a que existe muy poca agua en el acuífero.

Falla de la producción por depósitos subterráneos químicos contenidos en el agua. Estos depósitos pueden ser carbonatados, depósitos de hierro, -- depósitos de arena fina y microorganismos.

Básicamente nos ocuparemos en este -- capítulo de tratamiento con ácido para pozos nuevos que contienen calizas en su formación, o pozos que han sido obturados con lodo bentónico.

Durante la construcción de pozos en --

caliza, el recorte fino de perforación (sobre todo si se emplea lodo) se introduce en las fracturas obturando éstas.

Cuando el fracturamiento de la formación es grande se obtienen pérdidas de circulación de lodo, llegando en algunos casos a continuar la perforación a fondo perdido.

Esta circunstancia ocasiona el taponamiento parcial y en algunas veces total del acuífero; luego por lo tanto uno de los problemas más grandes de la estimulación de los pozos en rocas calizas es la determinación del intervalo o intervalos productores.

En nuestros registros de perforación debemos de detectar cuál es la profundidad en la cual se tuvo pérdida total de circulación.

Si no se conoce este dato se continúa con la secuela siguiente:

a).- Con tubería de 2", de tipo de producción para pozos petroleros, se bajará un empaque diseñado para formación geológica abierta, es decir, --

sin ademe, anclándolo a una profundidad de cincuenta me-  
tros arriba de aquélla en que se registró la pérdida --  
parcial del fluido de perforación.

b). Se probará la efectividad del ---  
empaque inyectando agua a presión a través del mismo, -  
por medio de la tubería de 2". El sellado del empaque,  
es correcto si se observa que la formación toma libre--  
mente el agua inyectada sin que varíe el nivel del agua  
contenida en el espacio anular entre las paredes del --  
pozo y la tubería de inyección.

c). Una vez comprobado que el empaque  
ha sellado bien, se establecerá una circulación de agua  
en el espacio anular superior. Si la circulación de --  
agua no se establece con retorno de igual caudal que el  
de bombeo, será debido a la presencia de zonas permea--  
bles en las formaciones geológicas arriba del empaque,  
en cuyo caso se procederá a elevar dicho empaque por --  
tramos de cien metros, repitiendo la prueba anterior --  
hasta ya no ocurran pérdidas de agua en el espacio anu-  
lar superior, quedando así definido el intervalo del --  
pozo en el que se encuentran las zonas permeables de --

las formaciones acuíferas capaces de ser explotadas. -  
El intervalo así definido deberá sujetarse a un trata-  
miento de estimulación con ácido.

#### OPERACION DE INYECCION DEL ACIDO Y NI TROGENO DE UN TRATAMIENTO.

Con la tubería de alta presión de - -  
2 3/8", franca en el fondo, se efectúa una limpia con -  
gas nitrógeno a pozo abierto provocando reacciones - -  
hidrodinámicas e impulsos explosivos de contra presio--  
nes hacia el pozo para extraer los lodos de perforación  
y materiales obturantes del acuífero.

Inyección a presión entre 500 y 4,000  
lbs/pul<sup>2</sup> de gas nitrógeno, ácido y productos disperso--  
res se hace por medio de un empaque en el pozo para di-  
solver y ampliar los conductos del acuífero hacia éste,  
extrayendo los materiales solubles removibles y obturan-  
tes que impedían la afluencia de mayores caudales de --  
agua hacia el pozo.

Primera inyección de gas nitrógeno a  
presión, obligando a penetrar hacia los conductos y por-  
ciones contenedoras de agua en las formaciones produc--

toras, venciendo la presión hidrostática del acuífero y desalojando el agua de este hacia el interior del acuífero alrededor del pozo.

Sin disminuir ni suspender los efectos de presión en el pozo, se inyecta en seguida ácido, productos químicos, dispersores y fluidificantes que penetran en la formación productora desalojando agua y gas, hacia el interior del acuífero ampliando conductos del pozo con radios variables entre 10 y 100 metros.

Nuevamente sin variar la presión de inyectado se hace otra aplicación de gas, que ocasiona mayor penetración del ácido y productos químicos hacia la formación productora.

Se mantiene la presión por el tiempo necesario para asegurar los efectos disolventes del ácido y finalmente se cierra la válvula de inyección y se abre la de salida al pozo este tiende de inmediato a recuperar su presión hidrostática con flujo hacia el pozo que se activa y efectúa a presiones adicionales muy altas ocasionadas por la presencia del gas inyectado y

del bióxido de carbono que se forma por la reacción del ácido y el carbonato de calcio de la formación acuífera.

El efecto dinámico arrastra hacia la superficie fuera del acuífero y fuera del pozo los efectos de disolución del ácido, permitiendo un flujo de mayores caudales de agua hacia el pozo.

Finalmente, y nuevamente con tubería franca, se efectúa otra serie de implosiones con nitrógeno, dando como resultado que las fracturas quedan ampliadas y completamente limpias de cualquier residuo -- haciendo que los pozos fluyan a toda su capacidad.

#### TIPOS DE ACIDO.

Acido clorhídrico ó Acido Muriático.

El ácido clorhídrico inhibido es normalmente una solución de ácido clorhídrico en distintas concentraciones según sea el problema a resolver 5%, -- 7.5%, 15% y 26%.

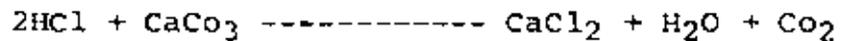
Para tratamientos en pozo de caliza -- en lo que se necesita estimular la formación, se emplea

al 26% del caso.

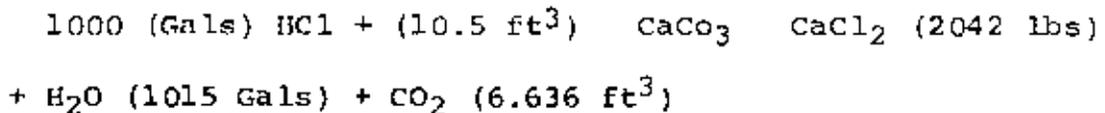
Este ácido contiene un inhibidor de - corrosión y otro aditivo como surfactantes que viene de la palabra agente reductor de la tensión superficial, - agentes espumantes, agentes estabilizadores etc.

Cuando el ácido clorhídrico es bombeado a la formacion existe una reaccion con la caliza produciendo cloruro de calcio, bióxido de carbono y agua.

Esta reaccion se representa de la siguiente forma:



La cantidad de caliza que reacciona - con el ácido es la siguiente:



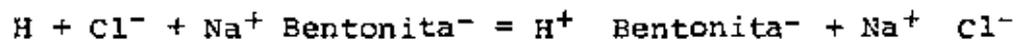
Se puede resumir que una solución de ácido clorhídrico gastado en piedra caliza se convierte en una solución de 20.5% de cloruro de calcio con peso de 9.8 lbs/galón.

CON DOLOMITA.



1000 Gals. de HCl (al 15%) reaccionan do con 9.6 ft<sup>3</sup> de dolomita 1040 Lbs. de CaCl<sub>2</sub> + 875 lbs. de MgCl<sub>2</sub> + 6636 ft<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> + 333 Lbs. de agua, o sea que se convierten en 10.5% de CaCl<sub>2</sub> y 9% de cloruro de magnesio con peso de 9.7 lbs/galón.

La reacción entre el ácido clorhídrico y la bentonita de sodio hidratado, tendrá verificativo con una reducción considerable del tamaño de las partículas de acuerdo con la siguiente formula:



El inhibidor empleado para éste ácido es el Morflo II en proporción de 3% porque es la cantidad que mejor facilita la dispersión de las arcillas.

También la cantidad de la caliza disuelta por un volúmen de ácido depende de la concentración de ácido y del volúmen usado. Usando un ácido de mediana concentración. Se obtiene un máximo de desgaste en la 1<sup>a</sup> hora de reacción.

Estas cantidades son el resultado de laboratorio con carbonato de calcio puro.

#### ACIDO CLORHIDRICO.

#### PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y TOXICAS

FORMULA: HCl

El ácido clorhídrico, es un gas incoloro a la temperatura y presión ambiente, que produce humos blancos en presencia de la humedad del aire, de olor penetrante e irritante. Es más pesado que el agua.

Es bastante soluble en agua, en la forma comercial mas común, las soluciones tienen concentraciones de alrededor de 30% en peso.

Las soluciones de ácido clorhídrico en agua, conocidas comunmente como ácido muriático, son de color claro ligeramente amarillento, de olor penetrante e irritante, la densidad de la solución al 37.1 en peso es de 1.188 grs/cm a 15.5° (60°F). Este producto, ya sea como gas o en solución, se maneja en recipientes herméticos.

El ácido clorhídrico gaseoso no es co

corrosivo cuando está seco, pero rápidamente absorbe humedad y se vuelve altamente corrosivo al igual que sus soluciones acuosas. Ataca la mayoría de los metales liberando hidrógeno como producto de la reacción. Este elemento es altamente explosivo cuando se mezcla con el aire, en proporciones de 4 a 75% en volúmen.

El ácido clorhídrico gaseoso y sus soluciones no son inflamables, pero siempre existe el peligro de que reaccione con los metales presentes desprendiendo hidrógeno, pudiendo causar explosiones en presencia del aire.

El ácido clorhídrico, bien sea como gas o en solución, es un irritante muy enérgico para la piel que puede causar severas y dolorosas quemaduras, si entra en contacto con cualquier parte del cuerpo ó si es ingerido. La menor concentración de ácido clorhídrico que puede percibirse mediante el olfato es de 5 ppm; a partir de 35 ppm, causa molestias a la garganta y empieza a ocasionar malestares respiratorios. Las mucosas de los ojos y las partes superiores del sis

tema respiratorio son especialmente susceptibles a los efectos irritantes de una atmósfera que contenga altas concentraciones de ácido clorhídrico. La máxima concentración permitida de esta sustancia para una jornada de trabajo es de 5 ppm.

#### TRANSPORTACION.

En carros tanque de acero, recubiertos interiormente con hule u otro material apropiado, con capacidad hasta de 37850 lts (10,000 gal) para ácido de una concentración no mayor de 38% en peso. En estos carros tanque se pueden emplear desfoguez de seguridad con discos de ruptura que tengan un respiradero de 3.17 mm (1/8") en el centro, o disco de carbón que permitan un venteo continuo, excepto cuando estén cargados con ácido clorhídrico de más de 35.21 de concentración de peso (22°Be ).

El forro debe tener un espesor mínimo de 3.96 mm (5/32"), debe aplicarse estando el carro tanque perfectamente limpio por un procedimiento aprobado que garantice su adhesión. Debajo del registro se debe colocar una capa adicional del recubrimiento de 1.27

cm (1/2") de espesor y cuando menos de 42 dm<sup>2</sup> (4.5 pies<sup>2</sup>)

Cuando el ácido clorhídrico contiene aceites o solventes, no debe transportarse en recipientes o carro tanques recubiertos interiormente.

#### ETIQUETAS, LETREROS Y ADVERTENCIAS.

Todo recipiente que contenga ácido -- clorhídrico, incluyendo carros tanque y autos tanque, - debe llevar una etiqueta o cartel, donde conste el producto contenido en el recipiente. Igual cosa debe hacerse en el caso de los carros caja de ferrocarril que transportan el producto envasado.

#### RECOMENDACIONES GENERALES.

El equipo de protección personal no - elimina la necesidad, al manejar el ácido clorhídrico, de respetar las reglas de seguridad que se han mencionado antes. Un trabajador que lleve el equipo adecuado puesto se encontrará protegido, pero puede exponer a -- otras personas que se encuentren en áreas cercanas. En todos los casos, el equipo de protección debe ser seleccionado con pleno conocimiento de las condiciones existentes y del riesgo probable. El uso correcto del equiu

po de protección requiere adiestramiento previo de las personas que deben utilizarlo

Todo trabajador debe conocer la localización de las regaderas de seguridad, las fuentes de agua para lavado de ojos o las líneas de mangueras que proporcionen agua potable para irrigaciones en los ojos o para lavar cualquier parte del cuerpo que haya sido salpicada.

El personal debe estar perfectamente informado de los riesgos que implica el manejo inadecuado del ácido clorhídrico, para que sea precavido y evite derrames, fugas e inhalación de sus vapores, debe estar bien instruído acerca de lo que conviene hacer en casos de emergencia y conocer la necesidad de proporcionar primeros auxilios en caso de contacto con el ácido o sus vapores.

Cuando haya que entrar a un tanque -- para su limpieza o reparación, el personal autorizado de seguridad debe determinar cuando ha sido lavado suficientemente el tanque y durante el curso del trabajo --

debe verificar que no haya deficiencia de oxígeno y que existan gases o vapores peligrosos, especialmente hidrógeno. Además de cumplir con las medidas de seguridad mencionadas; deben tener las siguientes precauciones:

a). El tanque o equipo debe vaciarse completamente de cualquier líquido.

b). El remanente de gas en el tanque debe ser desfogado hacia el sistema de absorción; todas las líneas que lleguen o salgan deben drenarse, desconectarse y colocarles juntas ciegas.

c). El tanque debe llenarse con agua u otra solución recomendada y drenarse una o dos veces. Si es necesario agréguese cal o carbonato de sodio en cantidades suficientes para neutralizar cualquier residuo de ácido (si se usa carbonato de sodio, el tanque debe ventilarse perfectamente debido a la formación de bióxido de carbono) y después lavar y drenar.

Durante el tiempo que dure el trabajo, debe mantenerse ventilado el interior del tanque.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

TRATAMIENTOS DE ACIDO PARA FORMACIONES GRANULARES

ING. JUAN JOSÉ ROCHA RANGEL

ABRIL, 1984

/

TRATAMIENTOS DE ACIDO PARA FORMACIONES GRANULARES.

(TRATAMIENTOS DE MATRIZ)

Como se aprecia en la gráfica, el daño causado por el lodo de perforación puede causar un bloqueo al paso del agua hasta el 100%.

Con objeto de restaurar la permeabilidad original, se efectuarán tratamientos con ácido que limpien la formación, estos tratamientos deberán hacerse en tal forma que no causen ruptura de la formación y que por esa zona de debilidad se introduzca todo el ácido.

Lo anterior se debe a que después de perforado el pozo existe una capa de lodo en forma de cilindro en toda la formación productora. Si rompemos la formación, el ácido se irá por esa zona fracturada perdiendo la posibilidad de usar el ácido en limpiar la totalidad del agujero.

Este sistema de tratamiento se denomina de matriz y usualmente resulta en altos incrementos.

tos en la producción.

El ácido para lodo tiene diversos nombres según los fabricantes pero es una mezcla de ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, inhibidor de corrosión y surfactantes.

El ácido fluorhídrico es un ácido capaz de atacar a varios componentes de la arenisca a las arcillas disolviéndolas y dispersándolas.

#### ACIDO HF

Este ácido se presenta como una solución de ácido clorhídrico, inhibidor, surfactante y una sal de bifluoruro de amonio lo cual da una mezcla de -- ácido clorhídrico y fluorhídrico de baja tensión superficial.

Presenta la particularidad de disol-- ver arcillas.

Es el ácido más comunmente usado en -- el país en formaciones que tienen un contenido menor -- del 10% de carbonatos presentes en el material cementan

te.

Mezclado con el HCl se presenta en el mercado en la forma siguiente:

3% HF con 15% HCl

6% HF con 9% HCl

3% HF con 12% HCl

Las compañías de servicio dan distintos nombres a cada producto. En el DFNE se utiliza la mezcla.

3% HF con 12% HCl.

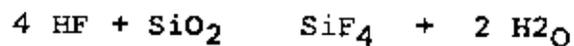
El HF se usa predominantemente en formaciones de areniscas.

Los materiales que generalmente intervienen en la composición de las arcillas como material cementante son los siguientes: Feldespatos, Calcita, -- Caolinita, Ilita, Montmorillonita y Clorita.

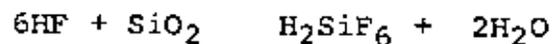
Las arcillas se encuentran depositadas en forma de canales entre los granos de arena y pueden ser atacados por el HF.

Un típico yacimiento de arenisca puede contener del 50 al 85% de bióxido de silicio (arena o cuarzo).

La reacción del HF con este componente es la siguiente:

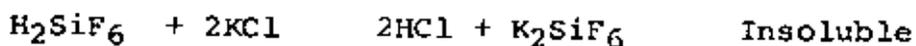
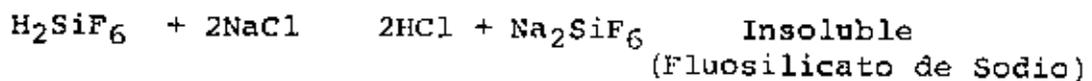


El HF reacciona con la arena, bentonita y con las arcillas de la formación en la siguiente forma:



(Reacción Arcilla Primaria).

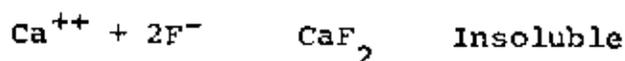
Posteriormente el  $\text{H}_2 \text{ Si F}_6$  (ácido - - Fluorsilícico) reacciona con las sales de Sodio, Potasio y Calcio de esta manera:



(Fluosilicato de Potasio)

Quando el HF reacciona con la calcita es precipitado el fluoruro de calcio, compuesto insoluble que es una de las causas de la reducción de la permeabilidad.

También cuando se tiene una gran concentración de  $\text{CaCO}_3$  y como el ácido fluorsilícico es -- parcialmente ionizable reaccionan con los iones de calcio en la forma siguiente:



El ácido restablece la permeabilidad de la formación corrigiendo el daño causado por el lodo en la siguiente forma:

- 1.- Disuelve y desintegra el enjarre original.
- 2.- Disuelve las partículas de cemento que pueden haberse filtrado en la formación, en caso de haberse utilizado cemento en alguna operación.
- 3.- Disuelve los silicatos que existan en la formación.

El uso de este tipo de ácido es muy popular en tratamientos para pozos petroleros.

#### TRATAMIENTOS SELECTIVOS.

Cuando se tienen dos o más intervalos productores y se planea efectuar un tratamiento que penetre en cada una de las zonas productoras, se pueden programar tratamientos selectivos.

Este tipo de tratamientos tiene la característica de contener una mezcla de ácido y agentes obturantes que bombeados por etapas llegan a bloquear el intervalo que esté tomando fluido, para así inyectar los a otro intervalo.

#### Programa para efectuar tratamientos selectivos.

La primera etapa consiste en bombear ácido clorhídrico inhibido y en la concentración requerida, esta etapa tiene como objetivo remover el carbonato de calcio de la primera zona que presente debilidad a la inyección.

La segunda etapa tiene como objetivo obturar la zona estimulada.

La tercera etapa estimulará el otro intervalo más compacto.

Se prepara una mezcla de agua con sal saturada 100%, se agrega un producto de gelatiniza esta mezcla y una substancia que a determinado tiempo rompa esa gelatina.

Posteriormente se agrega la sal en grano necesaria para obturar la formación que se estimuló.

El bombeo de esta gelatina deberá ser lento.

Las presiones de bombeo nos dirán si la obturación del primer acuífero fué efectiva.

Ya obturado el acuífero se bombea otra mezcla de ácido igual a la primera, pero ya sin retardor.

Se cierra el pozo una hora y se abre

para dejar salir los productos de la reacción de las sustancias químicas con la formación.

#### ACIDO ACETICO Y ACIDO FORMICO

Son ácidos orgánicos debilmente ionizados de lenta reacción



generalmente se encuentran diluïdos al 10% con agua para su uso en el campo. Han sido mezclados con HCl para tener una mezcla más activa.

1000 gals. de ácido acético disolverán 740 lbs de caliza.

La reacción del ácido orgánico con la caliza es la siguiente:



El uso de los ácidos orgánicos se ha incrementado últimamente porque son más fáciles de inhibir contra la corrosión a altas temperaturas (300-400°F) que el HCl. Lo mismo la velocidad de reacción es más lenta que el HCl.

El costo es lo que hace a este ácido que no sea muy popular.

#### ACIDO ACETICO.

Es un ácido retardado naturalmente, - reacciona mucho más lentamente que el ácido clorhídrico, esta propiedad ayuda a lograr penetraciones de inyección mucho mayores antes de ser empujadas hacia la superficie por el bióxido de carbono producto de la reacción.

En algunos tratamientos se bombea una primera etapa de ácido acético y como segunda etapa - - ácido clorhídrico.

#### ACIDOS SOLIDOS.

Están compuestos por ácido Sulfónico o Sulfámico en forma sólida, para solucionar problemas de obturaciones en pozos viejos o de alto grado de in-- crustación.

Se vende en el mercado en forma de ba rras o de bolitas.

Se arrojan dentro del pozo, se deja en reposo cierto tiempo, se agita el pozo con la bomba y posteriormente se bombea el pozo hasta limpiarlo.

A continuación y para mayor información se presenta una tabla que contiene los tipos de ácido más populares en el mercado, los aditivos que llevan y los nombres que cada compañía tuvo a bien ponerle al lanzarlo al mercado.

#### TRATAMIENTOS A PRESION.

La presión de acidificación en un tratamiento es el primero de los avances creados en la industria del petróleo que puede ser aplicado a los tratamientos en pozos de agua.

Tratamientos de gran volumen y alta presión de inyección tiene una correspondencia con incrementos de gran penetración del ácido dentro de las fracturas.

Esta técnica es la más efectiva en tratamientos de pozos en calizas.

El fracturamiento hidráulico es una técnica probada con buenos resultados en pozos de agua pero tiene que ser muy bien planeada por su alto costo.

#### NITROGENO.

El nitrógeno es un gas inerte, su símbolo es N<sub>2</sub>. Peso Molecular 28.106, Densidad 1.165 - - gr/lt en estado líquido punto de ebullición - 196.8°C, Toxicidad Nula, Combustibilidad Nula.

La característica de tener un punto de ebullición tan bajo es lo que hace a este gas manejable para limpieza y tratamientos.

La operación de bombeo de Nitrógeno a un pozo es relativamente simple: El Nitrógeno es traspasado en forma líquida en un tanque termo aislado al vacío a una temperatura de 195°C y una presión atmosférica.

De este tanque sale un líquido a una bomba de construcción especial la cual levanta la presión, de la presión atmosférica hasta 700 kg/cm<sup>2</sup>. Pos-

teriormente éste líquido pasa por un cambiador de calor el cual eleva la temperatura a 80°C transformando el -- líquido a gas, forma a la que llegará al fondo del pozo.

Existen varias tablas y ecuaciones -- para trabajar las presiones de bombeo y las mezclas de nitrógeno con otras sustancias.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

NOMENCLATURA

ING. JUAN JOSÉ ROCHA RANGEL

ABRIL, 1984

N O M E N C L A T U R A

$r_x$  = Distancia que penetraría el ácido durante su tiempo de reacción.

$\phi$  = Porosidad Fraccional.

$q_i$  = Relación de Inyección del ácido por pie de formación (pies).

$t$  = Tiempo de reacción (segundos).

$r_w$  = Radio del pozo (Pies).

7.5 = Factor de conversión gal/pie<sup>3</sup>.

0.7 = Factor de conversión gal/seg./bl/min.

$NS\phi$  = Area específica y es igual a la relación área volumen.

$h$  = Número de fracturas.

$w$  = Ancho de la fractura.

$x$  = Distancia que penetra el ácido en la fractura - - (pies).

$v$  = Velocidad de flujo del ácido (pies/seg.).

$Q$  = Gasto de inyección efectivo (BPM)

$n$  = Número de los canales o fracturas

$r_f$  = Penetración de las fracturas (pies)

$h$  = Altura de la fractura (pies).

$d$  = Diámetro de los canales (pulg.).

Con el objeto de conocer la problemática de un pozo para planear su rehabilitación, es necesario tener a la mano la máxima información de la vida productiva de éste ó del campo.

Como punto inicial tendremos que conocer los datos siguientes:

- 1.- Cortes Geológicos.
- 2.- Detalles de la Construcción.
- 3.- Detalles de la Terminación.
- 4.- Tipos de Bomba y Longitud de la Columna.
- 5.- Aforos Efectuados.
- 6.- Niveles Dinámicos y Estáticos al inicio de la vida del campo y en la actualidad.
- 7.- Datos de aforo actuales.

Una vez obtenida esta información, el diagnóstico de la falta de agua en un pozo se puede deber a tres situaciones; a falla por abatimiento del nivel regional, fallas de construcción y fallas mecánicas.

Con estos datos se forma el análisis de cada uno de los pozos.

Si el abatimiento del nivel de bombeo es en general, la única solución es ir aumentando la -- columna de bombeo ó cambiar la bomba, operación que -- será detenida únicamente por las condiciones económicas de operacion.

Si al efectuar la revisión se aprecia que el abatimiento es en un solo pozo, conservándose el Nivel Estático y los demás pozos conservan sus características originales, entonces la falla puede deberse a fallas de construcción o fallas mecánicas.

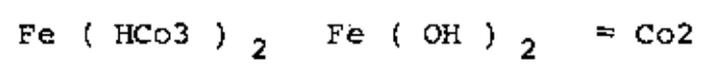
Para saber si son fallas constructi--vas se tiene que analizar si existe producción de arena, si se ha abatido el nivel grava, si el análisis del agua indica tener sales incrustantes ó corrosivos que puedan taponar o destruir las rejillas del ademe.

Si el pozo saca arena, se puede reha--bilitar efectuando operaciones de desazolve efectuando

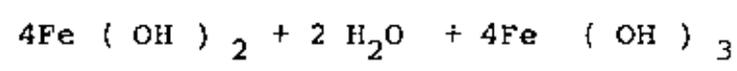
granulometría y posteriormente colocar un ademe con las ranuras adecuadas para retener la arena fina.

Si se falla es debido a sales incrustantes o corrosivas, es necesario determinar que tipo de sal es la que ocasiona el daño para remediarlo, entonces este tipo de daños que puede dar como resultado que en las tuberías se encuentre corrosión o crustación.

La corrosión se debe a la formación de óxido de fierro, el hierro iónico en contacto con el oxígeno y con un PH menor o Igual a 3, se deposita en forma flurculante como hidróxido de fierro.



Cuando hay mayor presencia de oxígeno la corrosión es mayor.



Se puede reducir el problema de corrosión, utilizando tubería de plástico PVC, concreto ó -- algún material que sea inoxidable, también se puede re-

ducir dándole más abertura a las ranuras en el cedazo, claro que esto depende de el grado de finuras que tengan las arenas de la formación.

También se recomienda reducir el abatimiento de el nivel dinámico, para que no se oxide el fierro en contacto con el oxígeno del aire, utilizar -- tratamientos químicos periódicos utilizando los productos adecuados.

Mantener sellado el ademe para impedir la entrada de oxígeno a el ademe, se puede utilizar sellos de neopireno.

Los ácidos que reducen la incrustación son el ácido sulfónico y el ácido clorhídrico o muriático.

Otra causa de incrustación es por bacterias, hay una muy común y se llama Bacteria del Hierro. Es una bacteria filamentosa cuyo nombre técnico es Gallionella Crenothoix y Leptothoix, actúa disolviendo el fierro y depositando grandes cantidades de --

## Hidróxido Férrico.

La bacteria de hierro aparece en aguas con abatimientos de niveles muy fuertes, probablemente - porque la bacteria es aeróbica. En aguas cuya temperatura es menor de 65°F.

El agua con alto contenido de hierro - o magnesio 1 PPM ó más es aparentemente necesario para -- que aparezca la bacteria.

En aguas con contenido de sólidos menores de 1000 PPM.

Se ha tratado el problema utilizando ácido clorhídrico, ácido sulfánico y en algunos otros - casos en el uso de cloro. Con el uso del cloro 300 PPM y 18 hrs. de reposo en contacto con la solución pueden efectivamente destruir la bacteria.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

CONTROL Y OPERACIONES DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRANEAS

ING. JORGE E. ALVARADO ORTUÑO

ABRIL, 1984

CONTROL Y OPERACION DE LOS APROVECHAMIENTOS  
DE AGUAS SUBTERRANEAS

SISTEMAS DE CONTROL.

FORMAS DE CONTROL.

BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN  
GEOHIDROLÓGICA.

POR ING. JORGE ENRIQUE ALVARADO ORTUÑO

EN EL ACTUAL CURSO, SE HAN PRESENTADO  
LOS DIFERENTES ASPECTOS REQUERIDOS PARA OBTENER AGUA SUBTERRÁNEA A  
TRAVÉS DE UNA PERFORACIÓN.

SE HAN PERCATADO DE LA IMPORTANCIA QUE  
TIENE; LA DEFINICIÓN DE LA LOCALIZACIÓN ADECUADA PARA LA PERFORACIÓN,  
A TRAVÉS DEL DICTÁMEN GEOHIDROLÓGICO EN QUE INTERVIENE LA GEOLOGÍA -  
SUPERFICIAL, LA GEOFÍSICA PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA, FOTOINTERPRETA  
CIÓN, TRAZADORES, ETC.

SE HAN ESTUDIADO LAS TÉCNICAS DE PERFO  
RACIÓN QUE SE DEBEN EMPLEAR PARA CADA FORMACIÓN Y LOS PROBLEMAS DERI  
VADOS AL NO UTILIZAR LAS HERRAMIENTAS Y MATERIALES ADECUADOS. ASI--  
MISMO SE HA VISTO LO IMPORTANTE QUE ES LA SELECCIÓN DE LOS ADEMES, -  
EL ENGRAVADO Y EN ALGUNOS CASOS LA CEMENTACIÓN EN EL POZO, DIFEREN  
TES TIPOS DE LIMPIEZA, LOS AFOROS Y LA SELECCIÓN DE LAS BOMBAS.

TAMBIÉN SE HAN ENTERADO DE LAS DICIPLI  
NAS Y PROCEDIMIENTOS QUE INTERVIENEN PARA LOS ESTUDIOS DE EVALUACIÓN,

LOS PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN Y LOS OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE ELLOS, SABIENDO DE ANTEMANO QUE DEL RESULTADO OBTENIDO EN LA EVALUACIÓN DE UNA ZONA PUEDEN DERIVARSE OPINIONES POSITIVAS EN ESA REGIÓN, TALES COMO EL INCREMENTO DE MÁS POZOS, QUE POR ENDE ABRIRAN NUEVAS TIERRAS AL CULTIVO O TAMBIÉN SE PUEDE CONCLUIR EL DE LLEVAR AL EXTREMO NECESARIO DE VEDAR LA ZONA, IMPIDIENDO LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS POZOS A FIN DE PRESERVAR EL ACUÍFERO EL MAYOR TIEMPO POSIBLE Y EN LA FORMA MÁS RECOMENDABLE.

AHORA BIÉN, ENTENDEMOS LA NECESIDAD DE REGISTRAR EN ALGUN LUGAR ESTOS RESULTADOS Y EXPERIENCIAS QUE SEGURAMENTE SERÁN DE UTILIDAD EN EL FUTURO INMEDIATO Y MEDIATO. SI EL TRABAJO SE CONCRETA A UNA SOLA OBRA DE PERFORACIÓN Ó A UNA SOLA ZONA DE EVALUACIÓN, PODEMOS FACILMENTE MEMORIZAR LA HISTORIA DEL ESTUDIO Y EL RESULTADO, ASÍ MISMO EN EL CASO DEL POZO SE RECUERDA LA PROFUNDIDAD, SUS DIÁMETROS DE ADEME, SU CAUDAL Y TODOS LOS DETALLES DE CONSTRUCCIÓN. SI SE TRABAJA CON 100 POZOS YA NO SERÁN MEMORIZADOS LOS DATOS TAN FACILMENTE, ESTANDO SUJETOS A OLVIDOS CONFORME PASA EL TIEMPO. PERO SI HABLAMOS DE 100 ZONAS Ó DE 10, 20 Ó 50,000 POZOS DEFINITIVAMENTE ES IMPOSIBLE QUE PERSONA ALGUNA RECUERDE LOS DETALLES. POR TAL MOTIVO HAY NECESIDAD DE ANOTARLOS EN EXPEDIENTES Y LOCALIZAR LOS EN PLANOS.

EN LA ACTUALIDAD MÉXICO, REQUIERE CONOCER Y PLANEAR LA EXPLOTACIÓN RACIONAL DE SUS MUY IMPORTANTES RESERVAS MINERAS Y PETROLERAS, PERO TAMBIÉN COMO RENGLÓN DEFINITIVO, SU POTENCIAL DE AGUA, TANTO SUPERFICIAL COMO SUBTERRÁNEA.

CUANDO LOS TÉCNICOS DE CUALQUIER DISCIPLINA, RELACIONADA CON EL AGUA SUBTERRÁNEA, REQUIEREN DE ALGUNA INFORMACIÓN, SE INICIA UN PROBLEMA QUE GENERALMENTE PARECE INTERMINABLE; SE CONCENTRAN EN UNA ZONA, EN PARTICULAR, Y SE TIENEN QUE APRENDER LA CODIFICACIÓN USADA EN ESE TIEMPO, POR LA INSTITUCIÓN Ó PERSONA QUE LA ELABORÓ, Y CUANDO SE TIENE QUE TRABAJAR A NIVEL NACIONAL, USUALMENTE RESULTABA EL CAOS; DIFERENTES CONSIDERACIONES, DIFERENTES NOMENCLATURAS, DIFERENTES UBICACIONES, DIFERENTES CRITERIOS, DIFERENTES PLANOS, ETC.

PERSONAS CAPACITADAS HABIAN TRATADO DE ORDENAR ESTA INFORMACIÓN DE MUCHAS MANERAS PERO GENERALMENTE SEPARANDO LAS DIVERSAS ZONAS CON SUS DIVERSOS PROBLEMAS,

ASÍ PUES EN ESTA OCASIÓN, SE HABLARÁ DE LA SOLUCIÓN QUE SE HA DADO AL PROBLEMA DE REUNIR LA INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA A NIVEL NACIONAL EN FORMA INTEGRAL Y ADECUADA A ESTA EPOCA, Y A LOS RECURSOS DISPONIBLES. SIN MENOSPRECIAR NUNCA EL ESFUERZO REALIZADO POR PERSONAS E INSTITUCIONES QUE NOS ANTECEDIERON, DADO QUE ESA FUÉ LA BASE DE LA IDEA, CREACIÓN E INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS Y FORMAS DE CONTROL QUE HAN DADO COMO RESULTADO EL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA. ESTE BANCO SEGURAMENTE REGISTRARÁ POR BASTANTES AÑOS PENSANDO Y DANDO CABIDA A QUE EN EL FUTURO SE PODRÁ AFINAR AÚN MÁS ADICIONANDO CADA VEZ MAS DETALLES. DEBIDO A LA RECOPIACIÓN DE DATOS APORTADOS POR PERSONAS Y TÉCNICOS QUE COMO USTEDES ENTENDERÁN LO VALIOSO Y LA UTILIDAD PRÁCTICA DE CONOCER Y REGISTRAR LOS FORMENORES Y EXPERIENCIAS OBTENIDAS AL DESARROLLAR SUS

TRABAJO DE PERFORACIÓN Y QUE SI BIEN, ANTERIORMENTE NO HABIA UNA FORMA DE CONTROL NACIONAL AHORA EXISTE UNA PARA SU MANEJO INTEGRAL, DE FORMA TAL QUE PERMITE AGILIZAR LA TOMA DE DECISIONES, EVITANDO ERRORES QUE EN FORMA LOGICA SE COMETIAN POR NO TENER AL ALCANCE LA INFORMACIÓN NECESARIA.

EL BANCO CONTEMPLA 4 FACETAS IMPORTANTES: EN UNA DE ELLAS EL REGISTRO DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON TODAS SUS CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN LA TERMINACIÓN, UBICACIÓN Y A QUIEN BENEFICIA, ASÍ COMO LAS FORMACIONES ATRAVEZADAS DURANTE LA PERFORACIÓN Y CALIDADES DE AGUA.

OTRA FACETA ES LA ELABORACIÓN DE DOS PLANOS A NIVEL ESTATAL Y CON LAS CONDICIONES ACTUALES DE EXPLOTACIÓN Y LA GEOLOGÍA SUPERFICIAL DESDE EL PUNTO DE VISTA DE ROCA ACUÍFERA.

OTRA FACETA ES LA DE ELABORAR, IMPRIMIR, PUBLICAR Y DIVULGAR PLANOS A NIVEL ZONA GEOHIDROLÓGICA, CON LENGUAJE ENTENDIBLE A TODA PERSONA COMO GUÍA DE LAS CONDICIONES EN LOS ACUÍFEROS Y ZONAS FACTIBLES DE PERFORAR.

LA ULTIMA SE REFIERE A LA CODIFICACIÓN Y REGISTRO DE TODOS LOS DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS REVISADOS DE LUGARES Y SITIOS EN PARTICULAR.

NO ESTÁ POR DEMÁS ASENTAR QUE ESTE BANCO DEBERÁ ESTARSE ACTUALIZANDO, DEBIDO A QUE TANTO LOS ACUÍFEROS

COMO LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS, ESTÁ SUJETA A UNA ACTIVIDAD DINAMICA  
CONSTANTE.

PASAREMOS A EXPONER EN FORMA RESUMIDA  
EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y LOS PASOS DADOS PARA LA INTEGRACIÓN  
DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA.

## BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEOHIDROLOGICA

### EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

COMO SE HA MENCIONADO A NADIE ESCAPA LA IMPORTANCIA QUE TIENE EL AGUA COMO FACTOR PARA LA SUPERVIVENCIA, LA SALUD, EL DESARROLLO AGRÍCOLA, PECUARIO, MUNICIPAL, INDUSTRIAL Y RECREATIVO. EN SÍNTESIS FORMA PARTE INTEGRAL E INDISPENSABLE DE LA VIDA.

ES POR ESTO QUE EN LA ACTUALIDAD, TODOS LOS PUEBLOS DE LA TIERRA, TIENEN UNA SERIA PREOCUPACIÓN POR CONOCER SUS RESERVAS DE AGUA, SU RENOVACIÓN Y LA UTILIZACIÓN QUE LE DEN Y DEBERÁN DARLE EN EL FUTURO. SE PUEDE MENCIONAR QUE EN LA MAYOR PARTE DEL MUNDO SE CONOCEN EN FORMA SOMERA O CON GRAN PRECISIÓN, DESDE HACE TIEMPO SUS RECURSOS ACUÍFEROS SUPERFICIALES. EN LA ACTUALIDAD SE TIENE YA UNA IDEA DEFINIDA Y CLARA ACERCA DE LA IMPORTANCIA DE ESTE VITAL LÍQUIDO, ASÍ COMO EL RENDIMIENTO QUE OTORGA EL CONSTRUIR PRESAS GRANDE O PEQUEÑAS A FIN DE RETENER EL AGUA DE ESCURRIMIENTOS, PARA SU APROVECHAMIENTO EN DIFERENTES USOS, TRATANDO ASÍ DE OBTENER LOS MAYORES BENEFICIOS.

EN MÉXICO, AL IGUAL QUE EN OTROS PAÍSES, SE CONOCE ESTE RECURSO SUPERFICIAL Y SE HAN CONSTRUIDO MÁS DE 1,046 PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y 1,348 PRESAS DERIVADORAS, ASÍ COMO UN SIN NUMERO DE BORDOS DE RETENCIÓN. Y SE TIENE YA UN CONOCIMIENTO MUY RAZONABLE DE LAS PRECIPITACIONES EN TODO EL PAÍS.

7

A TRAVÉS DE PLATICAS ANTERIORES SE LES HA COMENTADO, QUE NO FUE HASTA EL PRESENTE SIGLO EN QUE SE PRODUJERON INQUIETUDES ACERCA DEL CONOCIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, PUES HASTA ENTONCES LA UTILIZACIÓN DEL AGUA DEL SUBSUELO SE HABÍA LIMITADO A SU PRODUCCIÓN ESPONTÁNEA A TRAVÉS DE NORIAS, TAJOS, GALERÍAS FILTRANTES Y EN MUY RARAS OCACIONES A TRAVÉS DE PERFORACIONES DE POZOS, SIN CONOCER SU CUANTÍA NI RESERVA.

SE HA MENCIONADO TAMBIÉN QUE EL ESTUDIO INTEGRAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL MUNDO SE HA DESARROLLADO RECIENTEMENTE; LOS TÉCNICOS Y CIENTÍFICOS HAN DEFINIDO MÉTODOS, FORMULAS Y LEYES PARA SU CAPTACIÓN ESTUDIO Y CONOCIMIENTO DEBIDO A LA GRAN UTILIDAD Y BENEFICIO OBTENIDOS, POR UN LADO Y POR OTRO LOS EFECTOS PERJUDICIALES QUE SE OBSERVARON AL EXPLOTAR ESTE ELEMENTO.

¿CUANDO NOS PREGUNTAMOS QUE HA OCURRIDO EN MÉXICO CON NUESTRAS AGUAS SUBTERRÁNEAS? ¿QUÉ TAN IMPORTANTES SON PARA NUESTRO PAÍS? ¿QUÉ TANTO CONOCEMOS DE ELLAS? ¿EN QUE MEDIDA Y PROFUNDIDAD DEBEMOS ESTUDIARLAS?

DEBEMOS RECORDAR QUE EL 63% DEL TERRITORIO NACIONAL ESTÁ COMPUESTO DE ZONAS ÁRIDAS O SEMI-ÁRIDAS Y QUE POR LO TANTO EL RIEGO ES "INDISPENSABLE" EN ESTAS ZONAS, SIENDO NECESARIO EN OTRO 31%, CONVENIENTE EN UN 5% E INECESARIO POR TENER LLUVIA TODO EL AÑO EN UN 1%. SABEMOS TAMBIÉN QUE CUANDO MENOS EL 95% DE NUESTRAS GRANDES CIUDADES, CIUDADES PEQUEÑAS Y POBLADOS, SE ABASTECEN DE AGUA SUBTERRÁNEA.

EN NUESTRA PATRIA LA CAPTACIÓN DE ESTE ELEMENTO HA TENIDO DOS DIFERENTES ASPECTOS, POR UN LADO: LOS AGRI-- CULTORES MEXICANOS, LAS GRANDES CIUDADES Y CENTROS TURÍSTICOS, HAN - UTILIZADO CON MUCHO ÉXITO LA EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA, CUAN- DO LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS SE HAN ENCONTRADO EN BUENAS CONDICIONES PARA LA EXTRACCIÓN, PERO NO HAY QUE OLVIDAR EL OTRO ASPECTO: CUANDO SE ABATEN ESTOS NIVELES A GRAN PROFUNDIDAD SE HACE ANTIECONÓMICA SU EXPLOTACIÓN. EN ZONAS COSTERAS, SE PUEDEN PRESENTAR ADEMÁS DAÑOS - IRREVERSIBLES AL BOMBLEAR BAJO EL NIVEL DEL MAR, PROVOCANDO LA INTRU- SIÓN DE AGUA SALADA DE MAR TIERRA DENTRO. EN OTRAS OCASIONES SE PRO- VOCAN GRIETAS EN EL TERRENO Ó HUNDIMIENTO EN GRANDES ÁREAS. TAMBIÉN PUEDEN SER IGUALMENTE DAÑINOS CUANDO ESTOS NIVELES SON DEMASIADO SU- PERFICIALES, PROVOCANDO LA SALINIZACIÓN POR EVAPOTRANSPIRACIÓN DE - LOS SUELOS DEJANDO GRANDES ÁREAS SIN PRODUCCIÓN, ASÍ TAMBIÉN SE PUE- DEN PRESENTAR PROBLEMAS GRAVES, COMO LOS DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, AL NO CONOCER Y PREVEER ESTE FENÓMENO.

SE ANOTAN SOLAMENTE ALGUNAS ZONAS COMO EJEMPLO DE CADA UNO DE ESTOS FENÓMENOS EN EL PAÍS:

DE SOBRE-EXPLOTACIÓN: LA ZONA LAGUNERA EN COAHUILA Y DURANGO:

DE INTRUSIÓN SALINA: VALLES DE NOROESTE Y CALIFORNIA.

DE HUNDIMIENTOS Y GRIETAS: EL VALLE DE MÉXICO.

DE SALINIZACIÓN POR EVAPOTRANSPIRACIÓN: LA REGIÓN DE RÍO VERDE S.L.P.

DE CONTAMINACIÓN: LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.

SEGÚN CALCULOS MUY GENERALES DE LA DIRECCIÓN DE GEOHIDROLOGÍA Y DE ZONAS ÁRIDAS, SE ESTIMA QUE EXISTEN ALREDEDOR DE UNOS 100,000 POZOS EN LA REPÚBLICA, CONCENTRADOS EN EL CENTRO Y NORTE DEL PAÍS Y QUE LA PRODUCCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA ALCANZA UNA CIFRA DEL ORDEN DE 13,600 MILLONES DE METROS CÚBICOS AL AÑO.

POR LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES, REQUERIMOS DE TENER UN AMPLIO CONOCIMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS EN TODOS Y CADA UNO DE LOS ESTADOS DEL INTERIOR, ATENDIENDO A SUS DIMENSIONES, ALIMENTACIÓN Y RESERVAS ALMACENADAS. SU CANTIDAD, FORMA Y DISTRIBUCIÓN DE LOS POZOS DE EXPLOTACIÓN, CON EL MAYOR NÚMERO DE CARACTERÍSTICAS POSIBLES QUE NOS PERMITA CON EL ESTUDIO DE TODOS ESTOS ELEMENTOS, PLANIFICAR LA UTILIZACIÓN "RACIONAL" ACTUAL Y FUTURA DEL POTENCIAL DE AGUA SUBTERRÁNEA COMO RECURSO VITAL PARA LA ECONOMÍA DEL PAÍS, A FIN DE PODER PLANEAR SU EXPLOTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN MÁS ACERTADA.

ACTUALMENTE VARIAS DEPENDENCIAS GUBERNAMENTALES E INSTITUCIONES, PERFORAN APROXIMADAMENTE EL 70% DE LOS POZOS EN EL PAÍS; EL 30% RESTANTE LOS CONSTRUYEN INDUSTRIAS Y PARTICULARES. LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE EVALUACIÓN LOS REALIZA CASI EN SU TOTALIDAD EL GOBIERNO FEDERAL.

AHORA BIÉN, CADA DEPARTAMENTO, INSTITUCIÓN, EMPRESA O PARTICULAR, CONSCIENTES DE LA IMPORTANCIA QUE REÚNE EL TENER LOS INFORMES DE SUS CAPTACIONES, GENERALMENTE LOS GUARDA. AL IGUAL QUE LAS CONSTRUCTORAS TIENEN DATOS AL MENOS PARA EL PAGO DE

SUS TRABAJOS ARCHIVAN RECIBOS, ESTIMACIONES DE OBRAS O FACTURAS, PERO OCURRE QUE CADA UNO GUARDA PARA SÍ LOS DATOS QUE CONSIDERA DE "SU" UTILIDAD, DESHECHANDO LOS QUE NO LE SIRVEN, DESCONOCIENDO LO IMPORTANTE QUE ES PARA LOS ESTUDIOS Y CENSOS DE "GRAN VISIÓN", EL CONTAR CON LOS ANTECEDENTES HASTA EL MÍNIMO DETALLE DE LAS CONDICIONES EN LOS APROVECHAMIENTOS.

- HAY UN GRAN NÚMERO DE INFORMACIÓN DISPERSA EN TODO EL PAÍS, ORDENADAS EN MUY DIFERENTES TIPOS Y AUNQUE EN LO GENERAL SON LOS MISMOS DATOS, ES NECESARIO SISTEMATIZARLA EN FORMATOS BIEN DEFINIDOS QUE PUEDAN SER CONCENTRADOS Y MANEJADOS, EVITANDO CONFUSIONES, Y COMPLICACIONES A LOS TÉCNICOS EN GEOHIDROLOGÍA. EN GENERAL, SE DA EL CASO, QUE EN VARIAS INSTITUCIONES TIENEN DETALLES VALIOSOS CON DIVERSOS ORDENAMIENTOS, LOCALIZADOS EN COORDENADAS, EJES O CUADROS DISEÑADOS PARA UNA ZONA EN PARTICULAR SIN OBEDECER HASTA EL MOMENTO UN ORDEN NACIONAL. ADEMÁS ES COMUN QUE LA INFORMACIÓN DISPERSA EN CADA OFICINA, SE CLASIFICAN NUEVAMENTE Y EN OTRA FORMA.

EN EL SEGUNDO MES DE 1979 SE TIENE CUBIERTO CON ESTUDIOS DE EVALUACIÓN, CERCA DE LA CUARTA PARTE DEL PAÍS 500,000  $\text{Km}^2$  Y OTRA CUARTA PARTE DE MÉXICO, CON RECORRIDOS DE RECONOCIMIENTOS GENERALES, HACIENDO UN TOTAL DE 1'000,000  $\text{Km}^2$ , CONTRA LOS 2'000,000  $\text{Km}^2$  QUE EN NÚMEROS REDONDOS TENEMOS POR ESTUDIAR.

EL ACERVO DE DATOS OBTENIDOS QUEDA ASENTADO EN LAS 2,500 PERFORACIONES QUE CON FINES EXPLORATORIOS SE

HAN CONSTRUÍDO, CON UNA LONGITUD DEL ORDEN DE 500,000 MTS., ASÍ COMO EN LAS 124 ZONAS ESTUDIADAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS, CON LOS CENSOS RESPECTIVOS DE POZOS Y LOS 3,000 DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS EN SITIOS PARTICULARES. CON ESTOS TRABAJOS EL PAÍS SE ENCUENTRA CON UNA MUY BUENA PORCIÓN YA ESTUDIADA Y CONOCIDA, TENIENDO DATOS FIDEDIGNOS DE APROVECHAMIENTOS, HACIENDO UN TOTAL DE 60,000 EN FORMA GENERAL, DE ESTOS YA SE HAN CODIFICADO APROXIMADAMENTE 35,000.

POR ESTAS RAZONES SE DETERMINÓ TOMAR DE INMEDIATO, ACCIÓN FIRME Y DECIDIDA PARA LA INTEGRACIÓN Y FORMACIÓN DEL "BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEOHIDROLOGICA".

ACTUALMENTE LA SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS A TRAVÉS DE LA SUBDIRECCIÓN DE GEOHIDROLOGÍA Y DE ZONAS ÁRIDAS, SE HA PREOCUPADO POR RECOPIRAR TODA LA INFORMACIÓN DISPERSA EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ORDENÁNDOLA EN DOS FORMATOS QUE HAN TOMADO BASTANTE TIEMPO ACEPTAR (FIGS. 1 Y 2), CONSTATANDO CON MÁS DE 120 ANOTACIONES, SIENDO 73 DATOS INDEPENDIENTES Y EFECTIVOS, CONTEMPLANDO TODOS Y CADA UNO DE LOS ASPECTOS DE INTERÉS PARA LA GRAN DIVERSIDAD DE TAREAS Y TRABAJOS QUE REALIZAN LAS DIFERENTES INSTITUCIONES. PARA EL MANEJO DE ESTE GRAN NÚMERO DE DATOS, SE RECURRIÓ AL USO DE COMPUTADORAS.

DE PRIMORDIAL IMPORTANCIA FUE LA DE DAR UN "NÚMERO ÚNICO" ADICIONAL A CADA APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA LLÁMESE POZO, NORIA, TAJO, MANANTIAL, GALERÍA FILTRANTE, ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA, ETC., CONSIGNANDO DESDE LUEGO EL NÚMERO O CLAVE -

CON EL QUE SE CONOCE ACTUALMENTE Y SU NÚMERO DE REGISTRO NACIONAL.

MUY IMPORTANTE FUE LA LOCALIZACIÓN --  
POR COORDENADAS Y SU ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR, ADEMÁS DE --  
LOS DATOS QUE SE ANOTAN EN LAS FORMAS ELABORADAS PARA ESTE FIN.

SE PLANTEÓ ESTE FORMATO DE MANERA QUE  
CON LAS COORDENADAS Y NÚMERO ÚNICO PERMITA QUE EN EL PROCESO DE PRO-  
DUCCIÓN EN LA COMPUTADORA MARQUE SU UBICACIÓN, EN PLANOS DIBUJADOS  
POR ELLA MISMA A LAS ESCALAS CONVENIENTES, DE ESTA MANERA SE DETEC-  
TA DE INMEDIATO SI HAY DUPLICIDAD DE UN MISMO APROVECHAMIENTO, ASÍ-  
MISMO AL TENER EL NÚMERO ÚNICO, UN POZO POR EJEMPLO, AL SER RELOCA-  
LIZADO O CANCELADO, ESTE NÚMERO ÚNICO QUEDA REGISTRADO DANDO OTRO -  
AL NUEVO APROVECHAMIENTO RELOCALIZANDO, AUNQUE SEA EN EL MISMO PRE-  
DIO, LO CUAL EVITARÁ TAMBIÉN CONFUSIONES PUES QUEDARÁN ALMACENADOS  
EN LA COMPUTADORA LOS INFORMES DEL ANTIGUO Y EL NUEVO POZO.

LA COMPUTADORA NOS INDICARÁ LAS ZONAS  
MÁS DENSAMENTE CUBIERTAS DE APROVECHAMIENTOS PERMITIENDO TENER UNA  
IDEA GENERAL ESTATAL O NACIONAL DE ESTA SITUACIÓN. CABE MENCIONAR  
TAMBIÉN QUE SE ANOTARÁ ADEMÁS DEL ESTADO, EL MUNICIPIO, EL EJIDO O  
PEQUEÑA PROPIEDAD, CUENCA O SUB-CUENCA GEOHIDROLÓGICA; ADEMÁS SE -  
PUEDE TRABAJAR CON LA UBICACIÓN EN LOS 31 ESTADOS, LOS 2,394 MUNICI-  
PIOS DEL PAÍS Y LOS 21,556 EJIDOS, CON LA SUPERFICIE TOTAL, LA SU-  
PERFICIE CULTIVADA Y LAS FAMILIAS QUE LOS INTEGRAN.

ESTOS DATOS Y LOS DEMÁS DEBERÁN ACTUA-  
LIZARSE AÑO CON AÑO.

- SISTEMA HA SIDO ADAPTADO PARA PRODUCIR LOS MÁS DIVERSOS LISTADOS Y COMBINACIONES QUE EN UN MOMENTO DADO SE PUEDAN NECESITAR PODREMOS DE TAL FORMA SOLICITAR AL BANCO, DIFERENTES TIPOS DE INFORMACIÓN GENERAL TALES COMO: LA CANTIDAD DE POZOS EN ROCAS CALIZAS O BASÁLTICAS O DE RELLENO, ASÍ COMO LA CANTIDAD DE POZOS DE 4, 6, 12 Y 16 PULGADAS EN EL PAÍS Y EN QUÉ LUGARES SE ENCUENTRAN, O TAMBIÉN SE PODRÁ PREGUNTAR POR EJEMPLO, EL NÚMERO DE POZOS CON ELEVACIONES ENTRE 1,000 Ó 1,200 MTS. SOBRE EL NIVEL DEL MAR O CUALQUIER ELEVACIÓN QUE SE REQUIERA. TAMBIÉN CUÁLES Y CUÁNTOS POZOS TIENEN MÁS DE 1,000 Ó 1,500 PPM DE SÓLIDOS TOTALES DISSUELTOS Y SU UBICACIÓN O CUÁLES TIPOS Ó MARCAS DE BOMBAS EXISTEN EN OPERACIÓN.

SEGURAMENTE SE PENSARÁ EN LA DIFICULTAD QUE SE ENFRENTA AL TRATAR DE LLENAR EN TODAS SUS PARTES LOS FORMATOS, PUES ALGUNOS INFORMES LOS TENDREMOS A LA MANO, PERO QUIZÁ OTROS NO. SE PLANEÓ PARA ESTOS CASOS, EL CONSIGNAR UN DATO ESTIMADO (SE ANOTA CON ASTERISCO) DEBIDO A QUE EN LA ACTUALIDAD HAY TÉCNICOS MUY CALIFICADOS EN CADA ESTADO QUE CONOCEN EN FORMA GENERAL SU ÁREA DE TRABAJO, POR TANTO LOS DATOS APROXIMADOS DE ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR, PRODUCCIÓN DE LOS POZOS, TIPO DE ROCA Y SU PROFUNDIDAD, ETC., PODRÁ FÁCILMENTE ESTIMARSE CON RELATIVA SEGURIDAD A RESERVA DE RATIFICARLOS POSTERIORMENTE QUITANDO ENTONCES EL ASTERISCO. EN ÉSTA FORMA SE PUEDE YA TRABAJAR CON LOS DATOS SEGUROS Y LOS ESTIMADOS, OBTENIENDO LAS CIFRAS RESPECTIVAS.

DEBIDO A LOS ESPACIOS REDUCIDOS QUE CABEN EN LAS COMPUTADORAS HUBO NECESIDAD DE ELABORAR SIETE INSTRUCC-

TIVOS PARA LA FORMULACION DE LAS HOJAS BNI-1 Y BNI-2 (BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN 1 Y 2) A FIN DE EVITAR CONFUSIONES Y AGILIZAR LAS ANOTACIONES DEBIENDO CONTINUAR LA SIGUIENTE SECUENCIA PARA SU MANEJO:

(AUDIOVISUAL ILUSTRATIVO A LO SIGUIENTE)

DEBIDO A LO ARIDO DEL TEMA Y A FIN DE AGILIZAR Y HACER MAS AMENA ESTA PARTE TAN DETALLADA -DE LA PLATICA-, EN ESTE AUDIOVISUAL SE DAN SOLAMENTE ALGUNOS EJEMPLOS PARA EL LLENADO DE FORMAS.

Es importante asentarse nuevamente que el Banco de Información, no tiene como finalidad solamente archivar la información, que en un momento dado, sólo sirve para engrosar y trastornar más los archivos, las gavetas y los almacenes en las oficinas, es necesario obtener de las computadoras la mayor utilidad posible, poniéndolas a trabajar en beneficio de los programas y planes actuales y futuros, solicitando los datos con toda la gama de alternativas posibles que faciliten al técnico razonar y manejar la información, así como decidir la forma más acertada de plantear y llevar a cabo sus proyectos, las computadoras fueron fabricadas para agilizar los trabajos con el mínimo de errores.

En resumen, los técnicos deberán saber que van a preguntar a la computadora de acuerdo con el proyecto a realizar.

Se ha mencionado la importancia y utilidad que tiene el que a la misma computadora pueda dibujar por si sola los planos a escalas más convenientes y que al mismo tiempo pueda detectar, (de existir) errores en cuanto a la ubicación por medio de coordenadas, permitiendo de este modo la corrección de los mismos.

CON LA PROGRAMACIÓN Y AVANCE LOGRADO ES POSIBLE EN LA ACTUALIDAD OBTENER EL DIBUJO DE LA REPÚBLICA MEXICANA, DE CUALQUIER ESTADO DEL PAIS, ASÍ COMO LA AMPLIFICACIÓN DE ALGUNA ZONA EN PARTICULAR PROPORCIONANDO LAS COORDENADAS REQUERIDAS, AL MISMO TIEMPO UBICA LOS APROVECHAMIENTOS QUE TENGA ALMACENADOS.

CABE RESALTAR COMO UN COMENTARIO MUY IMPORTANTE QUE LOS DATOS ACUMULADOS EN LA COMPUTADORA Y LOS RESULTADOS QUE NOS PROPORCIONE SERÁN EXCLUSIVAMENTE AQUELLOS CON LOS CUALES LA ALIMENTAMOS, ES DECIR "SI LOS DATOS INICIALES SON ERRONEOS" LOGICAMENTE NOS PRODUCIRÁ INFORMACIÓN ERRONEA DE AQUI QUE SE DEBERÁ TENER SUMO CUIDADO AL RECABAR Y ALIMENTAR CON LA INFORMACIÓN ADECUADA PARA LOGRAR UN ALTO INDICE DE CONFIABILIDAD EN EL BANCO DE INFORMACIÓN.

POR OTRO LADO CONVIENE RECORDAR LAS PALABRAS DE UN EXCELENTE GEOHIDRÓLOGO QUE EN RELACIÓN A LAS COMPUTADORAS EXPUSO: "LA COMPUTADORA POR GRANDE Y ELABORADA QUE SEA, NO ES MAS QUE UNA HERRAMIENTA UTIL QUE, ATENTA A LAS INSTRUCCIONES CONTENIDAS EN UN PROGRAMA QUE SE LE PROPORCIONE, PROCESA EFICAZMENTE LOS DATOS CON LOS QUE SE ALIMENTE, SIN QUE PUEDA DISCERNIR SI EL PROGRAMA Y LOS DATOS SON LOS ADECUADOS AL PROBLEMA QUE SE PRETENDE RESOLVER. DE AQUI QUE LA FACULTAD PENSANTE CONTINUA SIENDO PRIVATIVA DEL ESPECIALISTA, PERO TAMPOCO PRETENDA SER TAN AVISADO QUE NO NECESITE DATOS Y MEDIDAS, HIPÓTESIS, CÁLCULOS Y COMPROBACIONES PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS.

LA EXPOSICIÓN ES MUY CLARA !NUNCA UNA MAQUINA SUBSTITUIRÁ AL TÉCNICO! SIEMPRE SERÁ NECESARIO LA INTERVENCIÓN DEL GEOHIDRÓLOGO PARA CADA ESTUDIO Ó DICTÁMEN EN LO PARTICULAR, LOS DATOS RECABADOS SERVIRÁN EN UNA GRAN MEDIDA COMO ORIENTACIÓN RÁPIDA Y AGILIZACIÓN EN LA TOMA DE DECISIONES PREVIO ANÁLISIS, ESTUDIOS APLICACIÓN DE CRITERIO Y EXPERIENCIA PARA LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS.

UNA VEZ EXPUESTOS LOS PLANTEAMIENTOS EN CUANTO A LA UTILIDAD, METODOLOGÍA, INSTRUCTIVOS Y CATÁLOGOS DE CLAVES EN SU PARTE CORRESPONDIENTE A LA RECOPIACIÓN DE DATOS, QUE PERMITE TRABAJAR A LA COMPUTADORA, PASAMOS A LA OTRA FACETA DE TRABAJO.

EL BANCO DE INFORMACIÓN NO SOLAMENTE CONTEMPLA LA RECOPIACIÓN DE DATOS Y SU REPRODUCCIÓN EN LOS PLANOS DIBUJADOS POR LA COMPUTADORA, SINO QUE ADEMÁS PREVÉ LA ELABORACIÓN DE OTRO TIPO DE PLANOS ESTATALES Y DE LA REPÚBLICA QUE ORIENTA EN FORMA ACCESIBLE AUNQUE DESDE EL PUNTO DE VISTA MUY GENERAL SOBRE LA SITUACIÓN QUE GUARDA EL PAÍS EN ESTA MATERIA. PARA TAL FIN SE TRABAJA INTENSAMENTE EN LA FORMACIÓN DE PLANOS BAJO TRES ASPECTOS PRIMORDIALES:

- I.- PLANOS DE EXPLORACIÓN O GEOLOGÍA SUPERFICIAL.
- II.- PLANOS DE CUANTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS.
- III.- PLANOS DE ZONA GEOHIDROLÓGICA CON DATOS FÁCILES DE INTERPRETAR EN ZONAS ESPECÍFICAS.

#### 1.- PLANOS DE EXPLORACION

ESTOS PLANOS LLAMADOS TAMBIÉN GEOLOGÍA SUPERFICIAL (FIG. 1) CONTEMPLA LA REPRESENTACIÓN DE LAS ROCAS ACUÍFERAS O ROCAS PERMEABLES SUSCEPTIBLES DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, HABIENDO SIDO CLASIFICADAS COMO:

- 1).- ACUÍFEROS EN RELLENOS.
- 2).- ACUÍFEROS REGIONALES TERCARIOS.
- 3).- ACUÍFEROS REGIONALES EN ROCAS CALIZAS.

Y PRESENTAN TAMBIÉN LAS PERFORACIONES DIRECTAS QUE CON FINES EXPLORATORIOS SE HAN REALIZADO A LA FECHA. ESTAS PERFORACIONES VAN DE LOS 50 A LOS 1,500 MTS. SE CUENTA CON LA INFORMACIÓN METRO A METRO EN LO QUE SE REFIERE A MUESTRAS Y CORTES LITOLÓGICOS, REGISTROS ELÉCTRICOS, CALIDADES DE AGUAS, GASTO, NIVEL ESTÁTICO Y DINÁMICO, ASÍ COMO CAUDAL ESPECÍFICO, AFOROS Y PRUEBAS DE BOMBEO CON LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIBILIDAD Y EN OTROS MUCHOS CASOS TAMBIÉN ALMACENAJE. ESTE TIPO DE REPORTES SE ENCUENTRAN FORMANDO PARTE DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA Y DE ZONAS ÁRIDAS EN OFICINAS CENTRALES Y SUS RESIDENCIAS ESTATALES CON LA INFORMACIÓN DE MÁS DE 2,500 PERFORACIONES EXPLORATORIAS. ESTE TIPO DE INFORMACIÓN ORIENTA YA A LOS USUARIOS Y DEPENDENCIAS A PERFORAR O NO DETERMINADAS ZONAS DEL PAÍS, SABIENDO DE ANTEMANO LA PROFUNDIDAD Y DIÁMETROS ADECUADOS, LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS POR ATRAVESAR Y PROGRAMA TAMBIÉN EL COSTO APROXIMADO DE LA OBRA, ESTO EN LAS ZONAS ESTUDIADAS Y CONOCIDAS.

Fig. 1

## II.- PLANOS DE CUANTIFICACIONES.

ESTOS PLANOS REPRESENTAN LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE CUANTIFICACIÓN O EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS (Fig. 11) REPORTANDO EN RESUMEN LA CANTIDAD DE AGUA EXTRAÍDA EN LA ZONA DE ESTUDIO, LA CANTIDAD RECARGADA EN LA MISMA, LA CALIDAD DE AGUA EN PARTES POR MILLÓN, ASÍ COMO LA CANTIDAD QUE CONTIENEN LOS ACUÍFEROS DEL LUGAR. ESTAS CIFRAS SE DAN EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES Y REPORTAN SI EL ÁREA ESTÁ SOBRE-EXPLOTADA EN EQUILIBRIO O SUB-EXPLOTADA. EN LA MAYORÍA DE LAS 124 ZONAS ESTUDIADAS SE CUENTA YA CON CIFRAS CONSIGNADAS EN ESTE TIPO DE ESTUDIOS. A OBSERVAR EN CONJUNTO

LAS ÁREAS EVALUADAS SE PROGRAMARÁN LAS PRIORIDADES NECESARIAS PARA LA CONTINUACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL PAÍS, A TRAVÉS DE ESTUDIOS EN ÁREAS DEBIDAMENTE APROBADAS Y DE PREFERENCIA QUE SIGAN UNA CONTINUIDAD DENTRO DEL MARCO NACIONAL.

CON ESTOS PLANOS TAMBIÉN SE ORIENTA EN FORMA SEGURA Y DECIDIDA A USUARIOS E INSTITUCIONES A TRAVÉS DE ESTOS ESTUDIOS SOBRE LA CONVENIENCIA O NO DE EFECTUAR MÁS EXPLOTACIONES EN DETERMINADA ÁREA. EN ZONAS CON MAYOR CALIDAD DE ESTUDIOS SE PUEDE PROPORCIONAR EL NÚMERO, CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE POZOS A CONSTRUIR, ASÍ COMO LA CANTIDAD DE METROS CÚBICOS POR EXPLOTAR. HASTA EL MOMENTO SE HAN REGISTRADO LA FACTIBLE PERFORACIÓN DE 5.000 PERFORACIONES NUEVAS EN DIFERENTES ZONAS.

LA INTERRELACIÓN DE ESTOS PLANOS Y LOS PLANOS DIBUJADOS POR LA COMPUTADORA AL SER TRASLADADOS EN HOJAS TRANSPARENTES, PERMITIRÁ VER CON UNA MAYOR CLARIDAD LA SITUACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL PAÍS O DE REGIONES PARTICULARES, VISUALIZANDO DE ESTA FORMA LOS LUGARES FACTIBLES DE EXPLOTACIÓN PARA BENEFICIO DE MÉXICO QUE COMO FUENTE MUY IMPORTANTE PARA SU DESARROLLO ES OBTENER PRIMERO EL CONOCIMIENTO DEL POTENCIAL ACUÍFERO Y DESPUÉS EFECTUAR UN APROVECHAMIENTO RACIONAL PROGRAMADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN TODO SU TERRITORIO POR LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS, OROGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL PAÍS EN ALGUNAS ZONAS ES PROPIAMENTE UN RECURSO NO RENOVABLE Y EN OTRAS TIENE UN ALTO ÍNDICE DE RENOVACIÓN.

EL ESTUDIO DE ZONAS FACTIBLES PARA LA RECARGA DE ACUÍFEROS SERÁ OTRA FUNCIÓN IMPORTANTE DEL BANCO DE INFORMACIÓN, ASÍ COMO EL MANEJO COMBINADO DE AGUAS SUPERFICIALES CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

### III.- PLANOS DE ZONA GEOHIDROLÓGICA

AL PROYECTAR UN DESARROLLO DE CUALQUIER TIPO, UN ASPECTO PRIMORDIAL QUE DEBE CONSIDERARSE ES SU ABASTECIMIENTO PERMANENTE DE AGUA. SI LA PROBABLE FUENTE DE ABASTECIMIENTO ES EL SUBSUELO, LOS USUARIOS POTENCIALES DEL RECURSO HIDRÁULICO (DEPENDENCIAS OFICIALES, EMPRESAS DESCENTRALIZADAS, GRUPOS EJIDALES, PARTICULARES, ETC) SE ENCUENTRAN COMO LO HEMOS EXPRESADO, CASI SIEMPRE CON UNA SERIA DIFICULTAD: DESCONOCEN CUÁLES SON LAS FUENTES DE INFORMACIÓN QUE PUEDEN CONSULTAR PARA SABER EN QUÉ ZONAS EXISTE AGUA EN CANTIDAD SUFICIENTE Y DE CALIDAD ADECUADA PARA SUS FINES, O BIEN SI EN UNA ÁREA ESPECÍFICA EXISTEN CONDICIONES FAVORABLES PARA EXTRAER ECONÓMICAMENTE DETERMINADAS CANTIDADES DE AGUA SUBTERRÁNEA.

ANTE LA APARENTE FALTA DE INFORMACIÓN EL USUARIO SELECCIONA SIN BASES TÉCNICAS EL EMPLAZAMIENTO DE SU DESARROLLO Y DE SUS CAPTACIONES. EL RESULTADO SUELE SER DESFAVORABLE, ACARRREÁNDOLE A MENUDO PROBLEMAS Y PERJUICIOS ECONÓMICOS: LAS CAPTACIONES RESULTAN MUY COSTOSAS O DE BAJO RENDIMIENTO, LA CALIDAD DEL AGUA NO ES SATISFACTORIA, LOS ACUÍFEROS NO TIENEN POTENCIALIDAD SUFICIENTE PARA PROPORCIONAR EN FORMA PERMANENTE EL CAUDAL REQUERIDO, ETC. PARADÓJICAMENTE, CUANDO SE TRATA DE DESARROLLOS IMPORTANTES, ES COMÚN QUE EL ASPECTO ABASTECIMIENTO DE AGUA SE ESTUDIE DESPUÉS DE QUE SE HAN INICIADO LAS OBRAS O INSTALACIONES, DE MANERA QUE SI NO ES FACTIBLE DISPONER LOCALMENTE DEL AGUA REQUERIDA, EL USUARIO NO TIENE MÁS QUE OPTAR POR UNA DE DOS ALTERNATIVAS: SUMINISTRAR EL AGUA DESDE DONDE SEA Y AL COSTO QUE SEA O PERDER LA INVERSIÓN YA REALIZADA.

EXISTE ADEMÁS UN DESCONOCIMIENTO GENERAL DE, CUALES SON LOS TRÁMITES LEGALES O ADMINISTRATIVOS QUE DEBEN EFECTUARSE PARA OBTENER LA CONCESIÓN CORRESPONDIENTE, E INCLUSO MUCHAS VECES SE INGORA QUE DEBEN EFECTUARSE CIERTOS TRÁMITES. COMO CONSECUENCIA DE ELLO UN GRAN NÚMERO DE CAPTACIONES SE CONSTRUYEN SIN HABER SIDO AUTORIZADAS NI REGISTRADAS, LO QUE IMPIDE TENER UN CONOCIMIENTO MÁS O MENOS REAL Y ACTUALIZADO DEL RÉGIMEN DE EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS.

EN REALIDAD HEMOS COMENTADO QUE LA ESCASES DE INFORMACIÓN NO ES TAN CRÍTICA. EN EFECTO, SE HAN DADO A CONOCER LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS A DIFERENTES NIVELES DE DETALLE REALIZADOS A LA FECHA, MEDIANTE LOS CUALES SE TIENE CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y POTENCIALIDAD DE LOS ACUÍFEROS DE UN GRAN NÚMERO DE ZONAS DISTRIBUIDAS EN EL PAÍS. LOS RESULTADOS DERIVADOS DE LOS ESTUDIOS SE HAN DADO A CONOCER, PROPORCIONANDO EJEMPLARES DE LOS INFORMES RESPECTIVOS A LAS PRINCIPALES DEPENDENCIAS INVOLUCRADAS EN EL ESTUDIO, EXPLOTACIÓN Y MAÑEJO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS SUBTERRÁNEOS. SIN EMBARGO, PUESTO QUE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS DICHOS INFORMES SON MUY VOLUMINOSOS Y, POR LO MISMO, SU EDICIÓN IMPLICA UN ALTO COSTO, GENERALMENTE SÓLO SE PRODUCE UN NÚMERO LIMITADO DE ELLOS; SU DIFUSIÓN, POR CONSIGUIENTE, NO ES BASTANTE AMPLIA Y, ES COMUN QUE ESTE CONSTREÑIDA AL SECTOR OFICIAL O, AÚN MÁS A LAS DEPENDENCIAS DE ESTA SECRETARÍA.

POR OTRA PARTE, EL PROBLEMA NO SE RESUELVE DANDO MAYOR DIFUSIÓN A LOS ESTUDIOS REALIZADOS, PUES SU CONTENIDO ESTÁ EXPRESADO EN UN LENGUAJE TÉCNICO, DIFÍCILMENTE COMPENSIBLE PARA EL SUSUARIO COMÚN Y CORRIENTE;

DE TODO LO ANTERIOR SE INFIERE LA GRAN UTILIDAD QUE TENDRÍA EL DAR A CONOCER LA INFORMACIÓN RELATIVA AL RECURSO HIDRÁULICO SUBTERRÁNEO, EN UNA FORMA TAL QUE FUERA ACCESIBLE A LOS USUARIOS POTENCIALES DE TODO NIVEL. PARA EL EFECTO, SE INICIO LA ELABORACIÓN DE CARTAS QUE CONTENGAN LOS DATOS ESENCIALES PARA PROPORCIONAR UNA IDEA APROXIMADA DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS QUE PRÉVALECE EN EL SUBSUELO DE NUESTRO TERRITORIO.

ESTAS CARTAS REPRESENTAN ZONAS GEOHIDROLÓGICAS EN PARTICULAR, MOSTRANDO AQUELLOS DATOS QUE DEN RESPUESTA EN UNA FORMA PRÁCTICA, CLARA Y SENCILLA A LAS PREGUNTAS GENERALES QUE SE HACE EL USUARIO, PUDIENDO SER ENUMERADOS COMO SIGUE: LOCALIZACIÓN DE SITIOS FACTIBLES DE PERFORACIÓN, PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO, CALIDAD DE AGUA Y TRANSMISIBILIDAD DEL ACUÍFERO.

EN EL REVERSO DEL PLANO SE CONSIGNA UNA INFORMACIÓN TEXTUAL DE CARÁCTER GENERAL CON LAS NOTAS ACLARATORIAS AL PLANO, ASÍ COMO BREVES ANOTACIONES RELATIVAS A LOS ASPECTOS LEGALES Y ADMINISTRATIVOS, REQUERIDOS PARA OBTENER EL PERMISO DE PERFORACIÓN.

SE DESCRIBE EN FORMA GENERAL EL ÁREA CUBIERTA CON LA CARTA Y LA UNIDAD GEOHIDROLÓGICA, ASÍ COMO LAS CONDICIONES DEL ACUÍFERO EN CUANTO A ESPESOR, MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN, LAS FRONTERAS LATERALES Y VERTICALES, ETC.

CON ESTAS GUÍAS SERÁ FACTIBLE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS, QUE EL USUARIO PROGRAME LA PROFUNDIDAD DEL POZO Y EL GASTO DESEADO.

ESTA FACETA SE ESTA INICIANDO Y SE ESPERA QUE EN BREVE TIEMPO Y DE ACUERDO CON LOS PRESUPUESTOS OTORGADOS PUEDAN PUBLICARSE EL MAYOR NÚMERO DE ESTAS CARTAS GEOHIDROLÓGICAS, DEBIDO A QUE EL FACTOR PRINCIPAL QUE SON LOS DATOS, YA SE CUENTA CON ELLOS.

### DICTAMENES GEOHIDROLOGICOS

FRECUENTEMENTE LOS CAMPESINOS SEAN EJIDATARIOS, COMUNEROS O PARTICULARES, ASÍ COMO INDUSTRIALES O DEPENDENCIAS FEDERALES, SOLICITAN A TRAVÉS DE ESCRITOS O VERBALMENTE LES SEA INDICADO, SI EN UN LUGAR O SITIO EN PARTICULAR, ES FACTIBLE REALIZAR UNA PERFORACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA, EXPONIENDO SUS NECESIDADES.

EL PROCEDIMIENTO PARA CONTESTAR ESTA PREGUNTA, CONSISTE EN LA VISITA DE UN GEÓLOGO EXPERIMENTADO, QUE HABIENDO REUNIDO PREVIAMENTE LA INFORMACIÓN DEL LUGAR EN CUESTIÓN, LO ANÁLIZA Y SE TRANSLADA FÍSICAMENTE. EN EL SITIO ESTUDIADO EMITE UN DICTÁMEN ACERCA DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS LOCALES, CONCLUYENDO EN LA POSIBILIDAD O NO, DE SER POSIBLE (CON INFORMACIÓN ADICIONAL) EL RANGO APROXIMADO DE EXTRACCIÓN Y PROFUNDIDAD REQUERIDA, EN CASO DE LLEVARSE A CABO UNA PERFORACIÓN; SEAN BUENAS, REGULARES, POBRES Ó NULAS SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS.

A ESTA ACCIÓN SE LES HA DENOMINADO "DICTÁMEN GEOHIDROLOGICO", CUYOS DATOS SE ENCUENTRAN EN PROCESO DE COMPARTARSE DEBIDO A QUE SUMAN YA MAS DE 3 000 DE ELLOS. ESTE TRABAJO TIE

NE POR OBJETO EL EVITAR DUPLICAR LAS VISITAS AL CAMPO POR DIFERENTES TÉCNICOS DE DIVERSAS OFICINAS QUE NO TIENEN COMUNICACIÓN DIRECTA ENTRE SÍ, SIRVIENDO ADEMÁS COMO UNA GUÍA Y ARCHIVO DE ESTOS DICTÁMENES TAN VALIOSOS POR EL TIEMPO Y GASTO DEDICADO A CADA UNO DE ELLOS.

CON LA DESCRIPCIÓN DE LAS CARTAS Y DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS, DAMOS POR TERMINADA ESTA PLÁTICA, ESPERANDO HAYA SIDO DE UTILIDAD EL CONOCER LOS OBJETIVOS DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA PARA QUE UNA VEZ TERMINADO PUEDAN SOLICITAR LOS DATOS REQUERIDOS. NO DUDANDO LES FACILITARÁ Y ORIENTARÁ GRANDEMENTE EN SUS TRABAJOS.

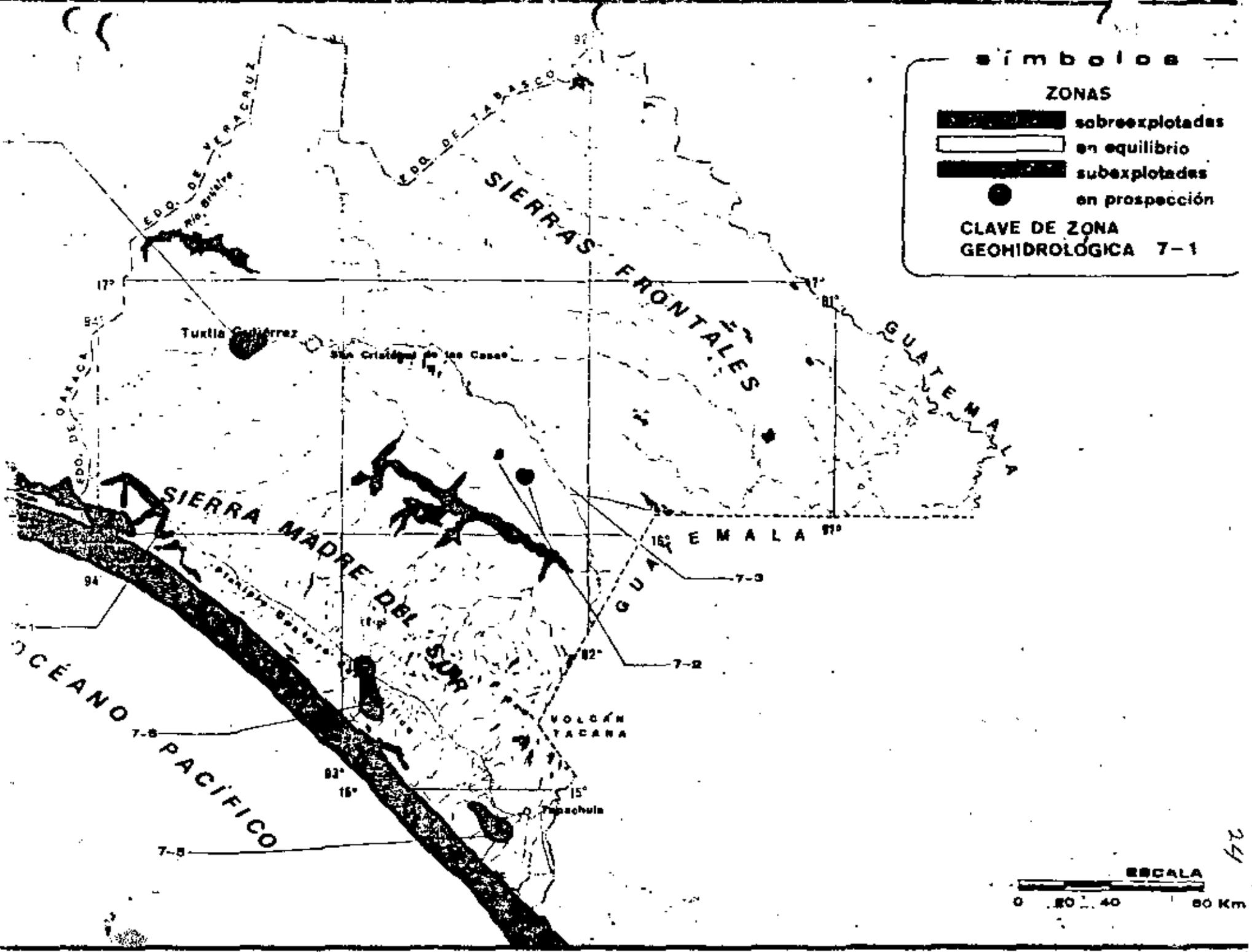
MUCHAS GRACIAS

símbolos

ZONAS

-  sobreexplotadas
-  en equilibrio
-  subexplotadas
-  en prospección

CLAVE DE ZONA  
GEOHIDROLÓGICA 7-1



# CHIQUAHUA

## Exploración

**GEOLOGÍA.**—Fisiográficamente el Estado está constituido al oeste por la **Sierra Madre Occidental**, integrada por cordilleras de rocas volcánicas de tipo riolítico y basáltico, intercaladas con sedimentos terciarios conglomeráticos y arenosos.

Hacia el este, la Sierra va perdiendo altura y se forman grandes valles y cuencas alargadas de dirección preferente noroeste-sureste rellenos por piroclásticos, sedimentos terciarios y aluviones recientes. Algunos de estos valles son cerrados, lo que origina que los escurrimientos de los ríos y arroyos que en ellos desembocan, formen lagunas perennes o temporales, como la de **Los Mexicanos** al sur de Cuauhtémoc y la de **La Ascensión**, junto al poblado del mismo nombre.

La parte media del Estado, en una ancha franja que va desde **Ciudad Juárez** en el extremo norte, hasta **Jiménez** en el sur, está fisiográficamente formada por estructuras de las **Sierras Madre Occidental y Oriental**, pues las constituyen cordilleras alargadas que guardan un alineamiento noroeste-sureste formadas tanto por rocas volcánicas de tipo riolítico como por rocas meta-

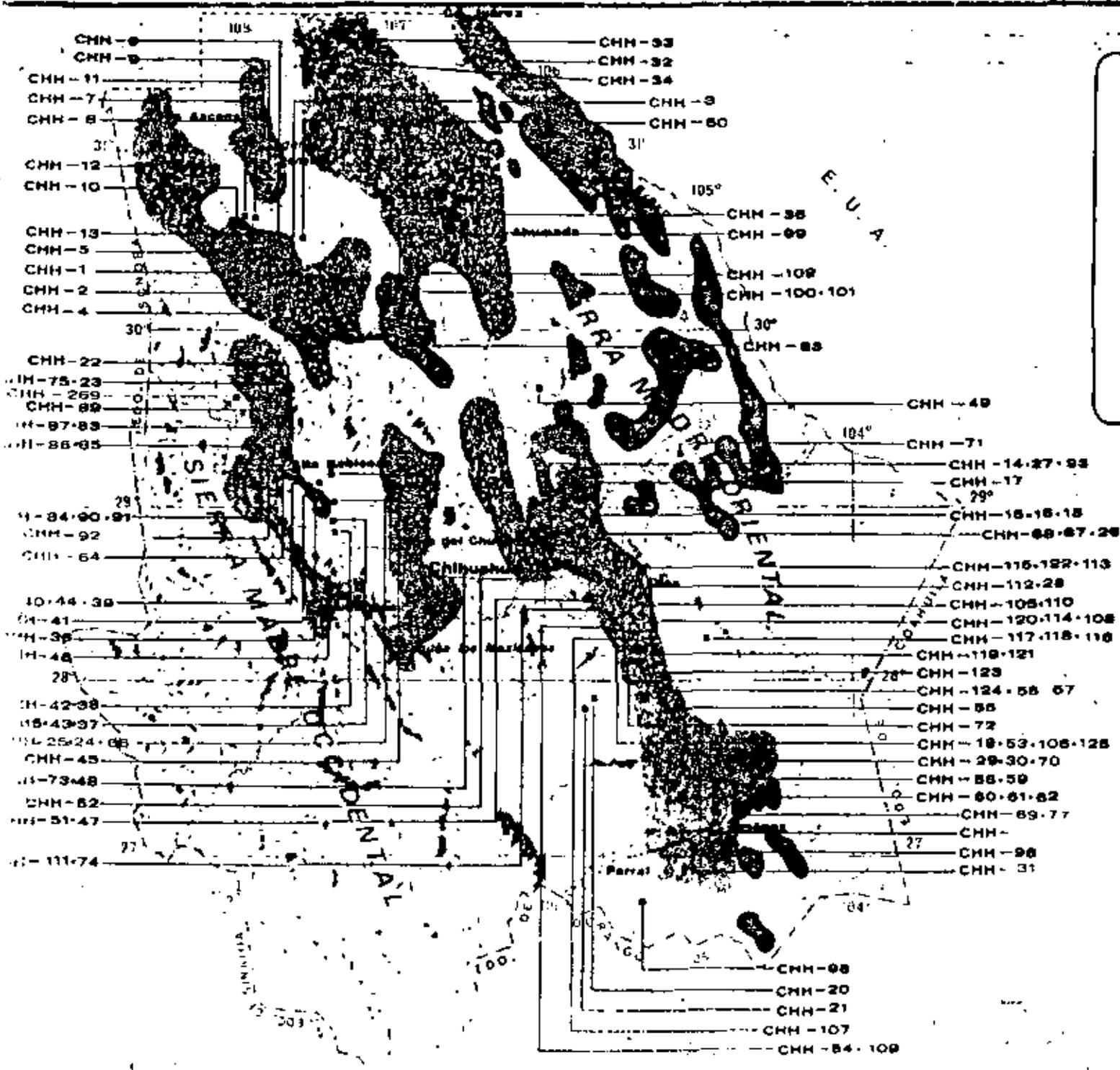
mórficas antiguas y formaciones calcáreas jurásicas y cretácicas.

En la porción este, en los límites con Coahuila, la presencia cada vez más frecuente de pliegues alargados de rocas calizas revelan condiciones geológicas características de la **Sierra Madre Oriental**.

**GEOHIDROLOGÍA.**—Las posibilidades geohidrológicas en los grandes valles son importantes, pues se encuentran rellenos por grandes espesores de piroclásticos y sedimentos conglomeráticos y arenosos terciarios y recientes.

En la **Babicora**, una región recientemente explotada se están obteniendo de pozos, caudales superiores a 120 litros por segundo en acuíferos constituidos por intercalaciones de gravas, arenas, basaltos fracturados y tobas riolíticas.

En **Nombre de Dios y Ojos del Chuviscar**, cerca de la Ciudad de **Chihuahua** se ha perforado sobre calizas con buenos resultados y se considera que muchas de las estructuras calcáreas de la porción este y noreste podrían tener condiciones geohidrológicas favorables.



**smbolo**

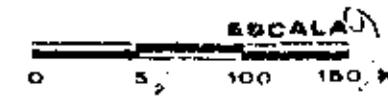
**ÁREAS**

- eluviones
- terciarios
- calizas

**POZOS (1971 - 1977)**

- explotación
- exploración
- sondeos

**CLAVE NACIONAL DE POZOS CHH-1**



# CHIHUAHUA s t u d i o s

Chihuahua ocupa un lugar preponderante en el país por sus abundantes recursos naturales ya que es uno de los principales por lo que corresponde a la minería y a su productividad agrícola. Sin embargo, esta riqueza es aprovechada sólo en parte, debido principalmente a la escasez de agua. Factor importante para el desarrollo del Estado es su recurso hidráulico subterráneo ya que el superficial es sumamente escaso. La potencialidad de las fuentes subterráneas es limitada, porque su renovación es lenta a causa del clima semi-desértico imperante; no obstante, en el subsuelo de extensos valles y bolsones existen reservas acuíferas almacenadas, parte de las cuales pueden aprovecharse si se les explota en forma racional.

La zona agrícola más importante es el Distrito de riego de Delicias, enclavado en la Cuenca del Río Conchos, en el cual se utilizan aguas superficiales y subterráneas en forma combinada. Estudios realizados han demostrado la posibilidad de extraer del subsuelo cantidades de agua superiores a las explotadas actualmente.

También es de gran importancia el distrito de riego del Valle de Juárez,

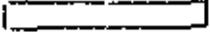
en el que se utilizan combinadamente, el agua del subsuelo, escurrimientos del Río Bravo y aguas negras de Ciudad Juárez. La presencia de agua salada contenida en formaciones adyacentes a los acuíferos y la intercomunicación geohidrológica de este valle con el Bolsón del Hueco, constituyen factores limitantes de la explotación del agua subterránea.

Otras zonas agrícolas de menor importancia son las de Papigochic, Río del Carmen, Cuzuhúnc, San Buenaventura, Samalayuca y Janos, en las cuales los volúmenes extraídos del subsuelo no exceden al volumen recuperable de sus acuíferos, y las de Villa Aldama, Casas Grandes y Jiménez Cárrego, afectadas ya por sobreexplotación, pero todavía aprovechables por mucho tiempo si se frenan el abatimiento de los niveles. Dispersas en el Estado se encuentran extensas zonas prácticamente vírgenes o con desarrollos incipientes, en muchas de las cuales el aprovechamiento del agua subterránea permitiría desarrollar la agricultura en mayor escala. Por supuesto, otros tipos de desarrollo también son viables, ya que en general, demandan menores cantidades de agua que la agricultura. De importancia, en estos casos es el conocimiento previo, aunque sea aproximado, de las características y potencialidad de las fuentes subterráneas.

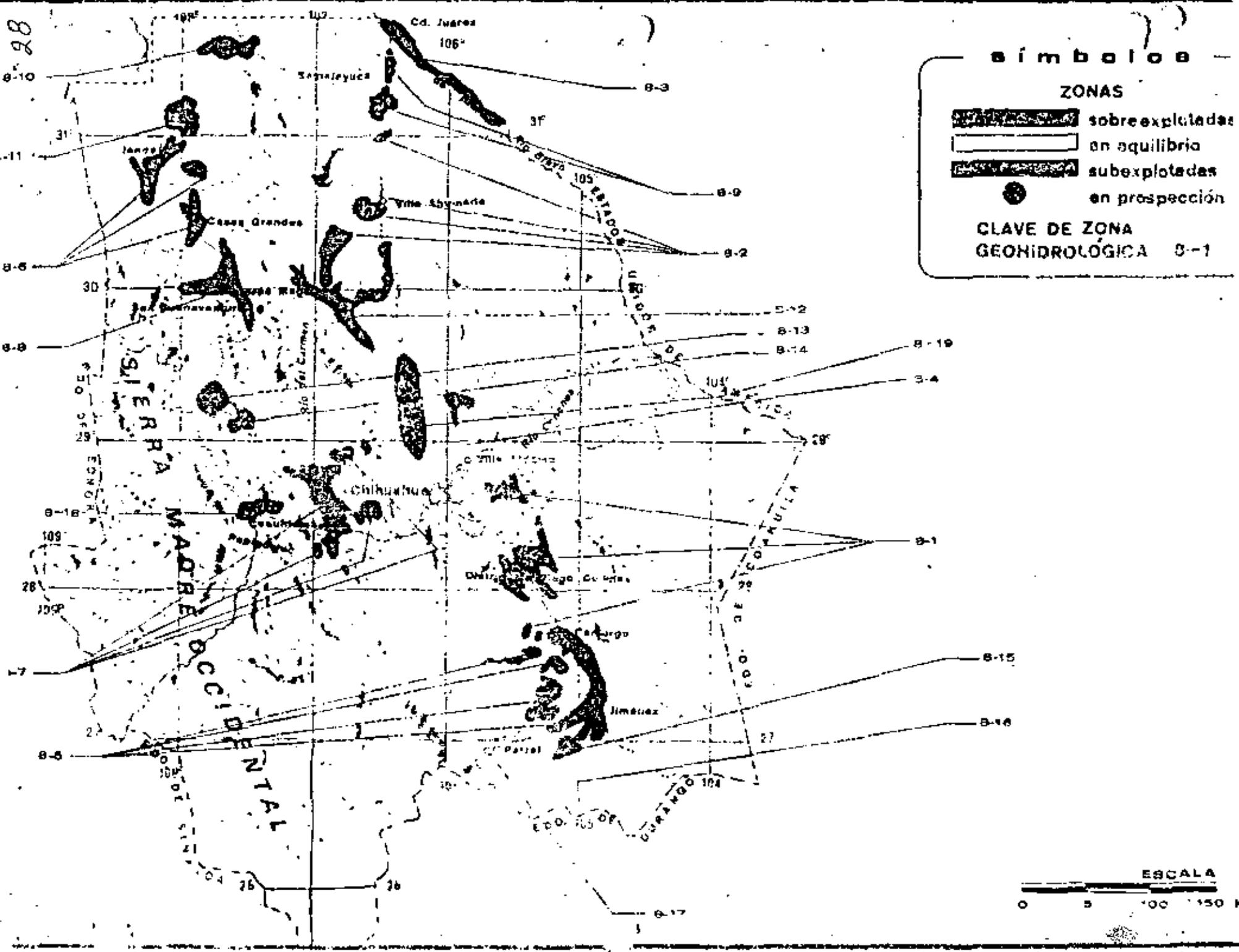
28

# símbolos

## ZONAS

-  sobreexplotadas
-  en equilibrio
-  subexplotadas
-  en prospección

CLAVE DE ZONA  
GEOHIDROLÓGICA 8-1



ESCALA

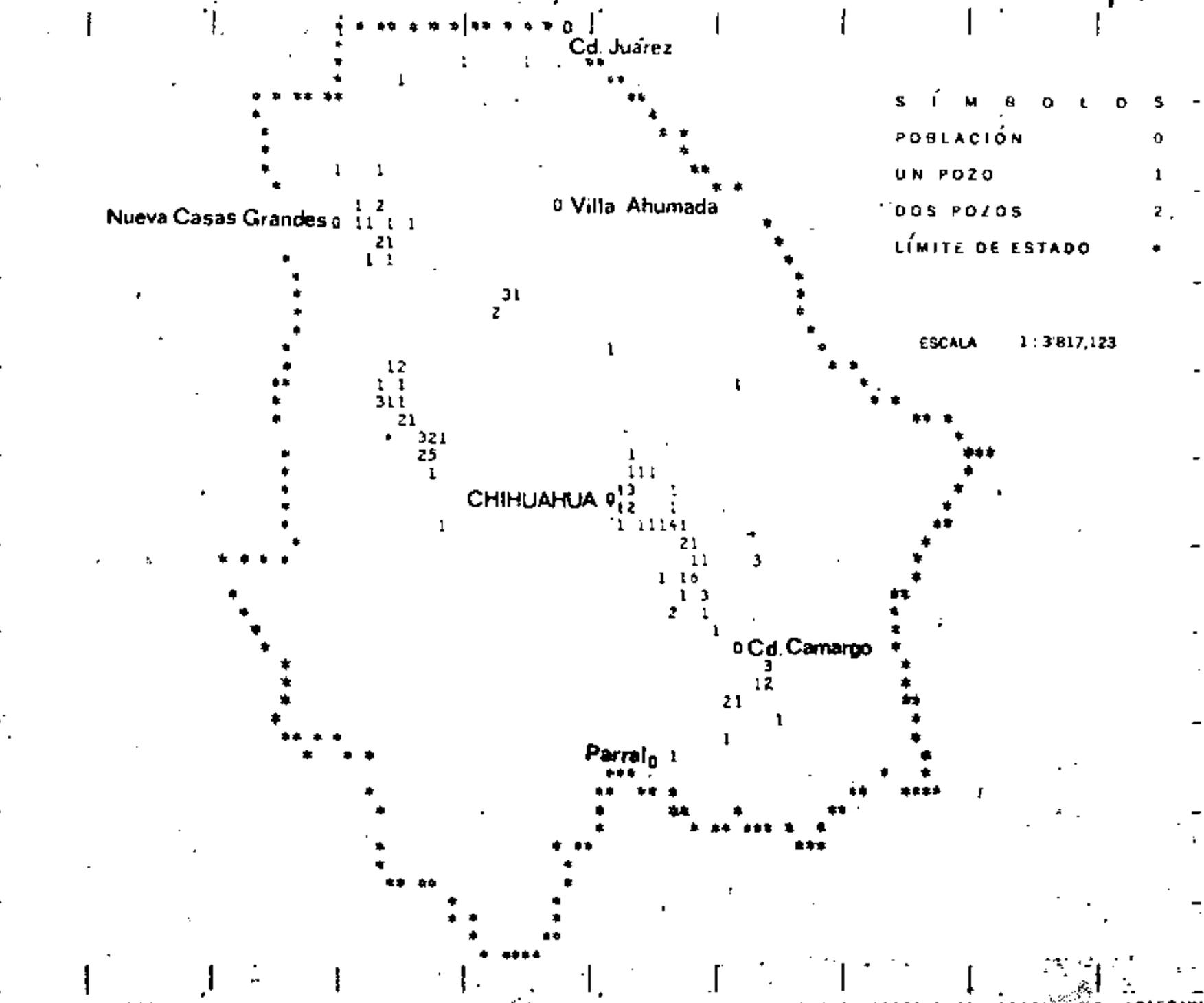
0 50 100 150 km

LAVE ONAL	P. OS LOCAL	N O M B R E	PROFUNDIDA EN METROS	NIVELES EN METROS		CAUDAL L. P. S.	SITUACION			GRAFIA LONGITUD DES
				ESTATICO	DINAMICO		ELEVACION M. S. N. M.	LATITUD NORTE		
1-1	PCGO-1	COLONIA MADERO	389	1.0*	15.1	71.5	1489	30 18 25	107 56 17	
1-2	PCGO-2	BUENA FE	401	19.9	75.0	40.0	1474	30 21 55	107 55 5	
1-3	PCGO-3	LAGUNA DE FIERRO	389	12.3	26.9	77.0	1454	30 25 41	107 50 8	
1-4	PCGO-4	EJIDO MADERO	400	64.5			1537	30 17 15	107 50 39	
1-5	PCGO-5	SECCION ENRIQUEZ	401	44.5	60.0	82.0	1429*	30 29 18	107 58 15	
1-6	PCGO-6	SECCION HIDALGO	105	63.2	87.0	17.0	1469*	30 31 19	107 49 49	
1-7	PCGB-7	EJIDO HIDALGO	220	17.8	40.8	80.0	1415	30 35 39	107 54 1	
1-8	PCGO-8	GUADALUPE VICTORIA	451	9.4	58.8	63.0	1417	30 34 26	106 1 28	
1-9	PCGO-9	SAN PEDRO CORRALITOS	275	37.7	49.0	28.0	1411	30 41 0	107 53 41	
1-10	PCGO-10	N.C.P. GRACIANO SANCHEZ	400	15.6	50.7	75.5	1416*	30 31 30	108 2 12	
1-11	PCGO-11	EL CAPULIN "CAMPO MENONITA	302	32.2	53.0	70.5	1442	30 51 5	107 54 24	
1-12	PCGO-12	JANOS	342	11.2	39.3	76.5	1365*	30 52 52	108 10 51	
1-13	PCGO-13	COLONIA DUBLAN	401	15.1	34.3	77.0	1447	30 26 29	107 54 8	
1-14	PVALO-1	LA MESA	400	17.6	33.1	95.0	1327	28 46 7	105 58 39	
1-15	PVALO-2	EJIDO GUADALUPE	400	39.5	72.7	6.6	1245	28 49 53	105 52 22	
1-16	PVALO-3	EL BOSQUE	321	1.7	29.6	127.0	1295	28 48 36	105 55 13	
1-17	PVALO-4	LA ESPERANZA	400	17.4	27.6	75.0	1205	28 59 11	105 56 28	
1-18	PVALO-5	EL JERONIM	331	66.8	83.0	0.9	1223	28 53 0	105 45 48	
1-19	PDO-20	CIUDAD MILITAR	151	46.1	59.0	76.0	1207	28 8 0	105 30 0	
1-20	PDO-21	CHANCAPLIA	338	23.9	90.2	0.5	1400	27 50 15	105 36 0	
1-21	PDO-22	LOS DEPOSITOS	100	SECO			1522	27 50 5	105 38 0	
1-22	PCHIZA-1	TRES CASTILLOS	150	12.4	61.1	1.0	2126*	29 32 5	107 42 46	
1-23	PCHIZA-2	COLONIA ALDAMA	150	63.2	71.5	2.5	2224*	29 30 46	107 47 15	
1-24	PCHNA-1	ESC. TEC. AGROPECUARIA 14	62	11.6	44.3	23.3	1876	29 1 7	107 27 57	
1-25	PCHNA-2	COL. OSCAR SOTO MAYNEZ	52	8.8	51.2	16.5	1869	29 0 54	107 27 32	
1-26	PCHCH-1	EJIDO LA CONCORDIA 1	153	50.0	52.0	51.0	1382*	28 41 34	105 57 14	
1-27	PCHCH-2	EJIDO LA CONCORDIA 2	150	58.0	77.9	23.0	1392	28 39 8	106 2 24	
1-28	PCHJU-1	NUEVO JULIMES	150	16.2	50.0	50.0	1350*	28 32 30	105 40 30	
1-29	PCHCA-1	LA ENRAMADA 1	151	9.0	75.2	29.0	1287*	27 29 46	104 56 26	
1-30	PCHCA-2	EL MOLINO	151	31.4	60.4	40.0	1302*	27 30 32	104 56 25	
1-31	PCHVI-1	ESC. TEC. AGROP. 168	152	15.4	28.5	101.0	1512*	27 2 29	105 11 47	
1-32	PCHJ-30	NVO. CUAUHEMOC 1	200	30.2			1243*	31 32 18	106 43 7	
1-33	PCHAS-1	TRES PAPALOTES	158	23.1	55.6	77.1	1234*	31 29 21	107 44 13	
1-34	PCHAS-2	NVO. CUAUHEMOC 2	200	13.2	89.2	10.0	1234*	31 33 20	107 15 47	
1-35	PCHBU-1	FLORES MAGON	243	17.4	64.3	62.0	1519*	29 56 23	106 59 4	
1-36	PCHNA-3	LAGUNA PRIETA	171	27.0	46.3	47.5	1893	28 58 5	107 31 2	
1-37	PCHNA-4	COL. SALVADOR GOMEZ 1	150	44.2	72.4	54.0	1911	28 56 36	107 34 32	
1-38	PCHNA-5	COL. ADOLFO R. CORTINES 1	152	52.6	85.7	14.7	1907	28 54 42	107 30 0	
1-39	PCHNA-6	COLONIA INDEPENDENCIA 1	150	10.6	39.9	17.4	1973	29 6 45	107 32 50	
1-40	PCHNA-7	COLONIA INDEPENDENCIA 2	151	43.4	57.0	63.0	1909	29 4 51	107 30 14	
1-41	PCHNA-8	COL. INDEPENDENCIA 3	74	53.5		0.0	1936	29 2 15	107 31 35	
1-42	PCHNA-9	COL. SALVADOR GOMEZ 2	150	56.5	75.5	21.4	1924	28 54 49	107 34 29	

31G59M93 109G59M195 109G01M155 108G03M115 107G05M075 106G03M035 105G05M585 104G10M545 103G12M505 102G19M03 101G21M05

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

31G59M93  
31G17M085  
30G41M255  
30G05M425  
29G29M595  
28G54M175  
28G18M345  
27G42M515  
27G07M085  
26G31M255  
25G55M425  
25G20



SÍMBOLOS -

POBLACIÓN	0
UN POZO	1
DOS POZOS	2
LÍMITE DE ESTADO	*

ESCALA 1:3'817,123

109G59M195 109G01M155 108G03M115 107G05M075 106G03M035 105G08M585 104G10M545 103G12M505 102G19M03 101G21M05

CAYE DE IS	NOMBRE	PROFUNDIDAD EN METROS	NIVELES EN METROS		CAUDAL L.P.S.	SITUACION			GRAFICO LONGITUD OEST
			ESTATICO	DINAMICO		ELEVACION M. S. N. M.	LATITUD NORTE		
H-43	PCHNA-10	COL. ADOLFO R. CORTINES 2	200	25.7	42.7	77.0	1882	28 56 19	107 29 2
H-44	PCHNA-11	COL. DIVISION DEL NORTE 1	220	3.8	74.8	7.0	1858	29 4 18	107 25 20
H-45	PCHNA-12	COL. DIVISION DEL NORTE 2	223	21.0	79.7	22.0	1878	29 6 44	107 26 52
H-46	PCHGUE-1	CONAFRUT	150	40.4	70.5	52.0	2150	28 31 36	107 26 12
H-47	PCHCH-3	EJIDO TOMAS GARCIA	150	SECO			1600	28 28 33	105 50 52
H-48	PCHCH-4	EJIDO AVALDS	150	32.0	27.9	34.0	1350*	28 38 40	105 58 45
H-49	PCHCH-5	LA ESPERANZA	152	34.5	74.5	3.0	1322	29 40 0	106 6 37
H-50	PCHCG-14	ESC. TEC. AGROPECUARIA 96	154	17.7	28.8	65.0	1442*	30 29 30	107 38 20
H-51	PCHCH-6	EJIDO TOMAS GARCIA	74	64.0			1470*	28 26 44	105 49 12
H-52	PCHCH-7	RANCHERIA JUAREZ	136	93.5	107.1	2.0	1498*	28 32 16	106 1 42
H-53	PCHD-23	ESC. DE AGRONOMIA	151	4.0	27.9	73.0	1162	28 10 30	105 28 48
H-54	PCHD-24	COL. CARMEN SERDAN	153	25.2	44.7	73.0	1190*	28 11 21	105 40 30
H-55	PCHSA-1	EL URRUTENO	153	40.4	100.0	0.5	1368	27 43 21	105 17 4
H-56	PCHSA-2	ESTACION CONCHES	152	50.2	70.9	25.0	1291*	27 57 20	105 23 52
H-57	PCHSA-2	COL. PUIG CORTINEZ	151	10.2	72.8	0.0	1270*	27 56 24	105 20 51
H-58	PCHCA-3	SAN LEONARDO 1	150	17.9	81.0	14.0	1302*	27 25 53	104 55 25
H-59	PCHCA-4	SAN LEONARDO 2	70	21.6	40.4	12.0	1307	27 26 55	104 57 13
H-60	PCHVA-1	COL. BUFALO	150	52.1	93.9	19.2	1373*	27 17 6	105 10 52
H-61	PCHVA-2	PLAN DE AYALA	152	55.5	90.1	17.0	1385*	27 20 7	105 11 57
H-62	PCHVA-3	FELIPE ANGELES	200	10.6	83.6	2.0	1373*	27 15 55	105 12 45
H-63	PCHBU-2	SAN ISIDRO	200	44.7	108.6	32.0	1380*	30 2 24	101 47 38
H-64	PCHGG-1	GOMEZ FARIAS	150	2.7	25.1	108.0	2170	29 20 21	107 46 22
H-65	PCHNA-13	COL. ADOLFO R. CORTINES	202	29.7	57.5	64.0	1893	28 52 52	107 25 28
H-66	PCHNA-14	LA TRASCUILA	152	72.0	84.0	0.5	1385	29 1 36	107 33 20
H-67	PCHVAL-6	SECC. EJIDO LOS LEONES	150	57.0	76.4	0.5	1330	28 43 47	105 55 3
H-68	PCHD-25	DELICIAS	205	21.7	41.6	121.0	1205*	28 11 6	105 28 38
H-69	PCHCH-5	ESTACION DIAZ	51	12.4	14.6	5.0	1297*	27 27 11	104 56 13
H-70	PCHCA-6	LA ENPAMADA 2	153	13.4	26.2	59.0	1287	27 30 15	104 56 24
H-71	PCHCOY-1	RODRIGENO	150	25.1	90.0	1.5	1200*	29 26 24	105 8 2
H-72	PCHSA-4	CAMPO MILITAR	300	108.0	119.0	70.0	1277	28 3 35	105 24 32
H-73	PCHCH-8	EJIDO ROBINSON	201	105.7	112.8	27.0	1430*	28 36 25	105 58 27
H-74	PCHROSA-1	BARRANCO BLANCO	400	60.9	73.5	70.4	1300*	28 27 44	105 36 35
H-75	PCHIZA-3	TRES CASTILLOS	252	53.0			2114*	29 32 40	107 43 45
H-77	PCHJZ-1	CIEN	200	45.7	51.3	47.0	1363*	27 12 31	104 51 0
H-83	PCHMA-1	COLONIA NICOLAS BRAVO 1	180	3.2	17.0	96.0	2150	29 21 10	107 55 3
H-84	PCHMA-2	COLONIA NICOLAS BRAVO 2	110	3.2	67.2	75.0	2150	29 16 32	107 54 7
H-85	PCHMA-3	COL. AMALIELO	125	4.7	9.8	88.0	2152	29 24 14	107 53 30
H-86	PCHGOF-2	PENA BLANCA	200	18.8	57.4	30.0	2166	29 17 24	107 43 17
H-87	PCHMA-5	EJIDO LA MARTHA	130	2.7	4.1	107.0	2144	29 21 10	107 55 3
H-89	PCHMA-6	EL FORJERIL DEL CAMPESINO	200	10.3	17.7	81.0	1715	29 25 3	107 45 45
H-90	PCHMA-7	SAN JOSE DE BABICORA	173	19.1	22.7	91.0	2166*	29 15 39	107 43 13
H-91	PCHMA-8	COLONIA LIBERTAD	200	5.7	24.7	103.0	2152	29 15 40	107 44 50
H-92	PCHMA-9	LA PINTA	400	10.8	22.7	72.6	2177	29 14 3	107 40 49
H-93	PCHCH-9	TABALADPA	300	41.7	57.7	72.6	1353*	28 42 5	106 0 3

NOMBRE DE POZOS		NOMBRE	PROFUNDIDAD EN METROS	NIVELES EN METROS		CAUDAL L.P.S.	SITUACIÓN		GEOGRÁFICO	
UNAL	L.D.C.A.L			ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACIÓN M. S. N. M.	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	
1-98	PCHPA-2	TECNOLOGICO DE PARRAL	250	71.5	111.4		1715*	26 55 35	105 34 11	
1-99	PCHBU-3	RICARDO FLORES MAGON	251	23.1			1497	25 57 7	106 58 59	
1-100	PCHBU-4	SAN ISIDRO 1	145	15.0	36.5	67.0	1595	20 2 20	106 54 12	
1-101	PCHBU-5	SAN ISIDRO 2	267	16.3*			1595	30 3 12	106 55 3	
1-102	PCHBU-6	SAN ISIDRO 3	261	19.3			1389	30 4 6	106 53 48	
1-105	PBB00-1	BARRANCO BLANCO	400	19.0*			1187	28 26 15	105 36 20	
1-106	PDB-2	LA GARITA	400	12.1	34.8	105.0	1220	28 8 30	105 34 18	
1-107	PDD-3	KILOMETRO 3	400	2.0			1200	28 10 0	105 29 30	
1-108	PDB-4	MEQUI	381	-1.0		55.0	1172	28 16 42	105 28 47	
1-109	PBB08-5	BARRANCO BLANCO	425	43.2	43.2	75.6	1186	28 26 50	105 36 21	
1-110	PDD-6	LA ESCUADRA	400	4.1			1159	28 22 58	105 33 20	
1-111	PDD-7	NUEVO SAN LUCAS	400	3.1	7.8	12.4	1158	28 21 25	105 34 37	
1-112	PDD-8	LAS PALMAS	282	19.6	42.9	30.6	1170	28 30 29	105 35 20	
1-113	PDD-9	SAN DIEGO DE ALCALA	400	17.4	40.4	15.9	1139	28 37 30	105 35 73	
1-114	PDD-10	COL. ABRAHAM GONZALEZ	400	22.6	39.3	4.8	1180	28 13 14	105 22 34	
1-115	PDD-11	LA GALERA	400	15.0	15.0	10.0	1140	28 42 16	105 37 25	
1-116	PDD-12	CONGREGACION ORTIZ 1	400	2.2	12.2	50.0	1155	28 14 30	105 0 55	
1-117	PDB-12A	CONGREGACION ORTIZ 2	425	1.3	26.5	106.0	1150	28 14 53	105 0 51	
1-118	PDB-12B	CONGREGACION ORTIZ 3	100	6.9	27.6	105.0	1152	28 14 55	105 1 13	
1-119	PCB-13	COL. ORIBE DE ALBA 1	400	70.0*			1445	26 6 32	105 27 48	
1-120	PDD-14	COL. GUADALUPE VICTORIA	400	6.7	23.2	23.3	1150	28 19 26	105 27 46	
1-121	PDD-15	COL. ORIBE DE ALBA 2	400	109.3			1399	28 4 17	105 31 24	
1-122	PDD-16	NCP. PEDRO CONTRERAS	400	13.7	21.6	10.0	1200	24 32 20	105 40 10	
1-123	PDD-17	COL. ORIBE DE ALBA 3	409	112.3*			1452	28 0 35	105 25 30	
1-124	PDD-18	LAGUNA SECA	400	72.9			1257	27 48 30	105 42 5	
1-125	PDD-19	COL. DIVISION DEL NORTE	114	26.0	43.2	97.0	1186	26 11 2	105 28 14	
1-125	PCHNA-10	PRESN DEL TORO	87	35.0			2173	29 26 45	108 3 50	
VALORES MINIMOS			61	-1.0	4.1	0.0	1139	26 55 35	104 51 0	
* * = PUZO EFECTIVO PROMEDIO			240	31.8	55.3	47.9	1501	28 55 5	106 28 42	
VALORES MAXIMOS			454	112.3	119.0	127.0	2224	31 33 20	108 10 51	
* * = T U T A L * * *			110	PUZOS		4551.8 LPS	27095 METROS	PERFORADOS		

\* Valores Estimados

VALORES ESTIMADOS

ON  
RS.

ZONA	GEOMORFOLOGICA	ÁREAS DE ESTUDIO	ZONA DE EXPLOTACIÓN	NÚMERO DE POZOS	RECARGA ANUAL MILLONES DE m <sup>3</sup>	EXTRACCIÓN ANUAL MILLONES DE m <sup>3</sup>	CONDICIÓN GEOMORFOLOGICA	POTENCIAL DE EXPLOTACIÓN	NÚMERO DE POZOS	CAUDAL MEDIO POR POZO l. p. s.	MILLONES DE m <sup>3</sup> POR
8-1	Meoqui-Delicias	7040*	600*	242*	-	180*	Subexplotada	155*	80*	191	
8-2	Cuenca del Río del Carmen (Villa Ahumada)	2200*	600*	494*	-	180*	Subexplotada	50*	60*	45	
8-3	Valle de Juárez	500*	272*	1050*	-	200*	Subexplotada	-	-	-	
8-4	Villa Aldama	6362	1550	576	45	54	En equilibrio	0	0	0	
8-5	Jiménez - Camargo	4000*	1588*	1099*	-	375*	Sobreexplotada	0	0	0	
8-6	Casas Grandes - Janos	5500	2349	651	140	150	Sobreexplotada	30	40	20	
8-7	Cuauhtémoc	7000	2300	1949	120	96	Subexplotada	45	30	27	
8-8	San Buenaventura	2432	866	127	43	32	Subexplotada	20	30	17	
8-9	Samalayuca	2123	1948	99	30	18	Subexplotada	30	25	17	
8-10	Paónas	1400*	900*	134*	-	23*	Subexplotada	20*	20*	-	
8-11	Ascención	900*	800*	236*	-	10*	Subexplotada	15*	20*	-	
8-12	Cuenca del Río del Carmen (Flores Magón)	5660*	3200*	218*	-	50*	Subexplotada	85*	30*	18	
8-13	Faja Babicora	5000*	1152*	75*	-	4*	Subexplotada	30	100*	3	
8-14	Baja Babicora	3500*	576*	216*	-	15*	Subexplotada	65*	30*	3	
8-15	Villa López	1000*	35*	180*	-	57*	Sobreexplotada	0	0	-	
8-16	Villa Coronado	400*	10*	40*	-	13*	En equilibrio	0	0	-	
8-17	Parral	600*	50*	18*	-	2*	En equilibrio	0	0	-	
8-18	Mesa Miñaca	166*	30*	30*	-	3*	Subexplotada	6*	50*	-	
8-19	El Sauz	3150*	2000*	400*	-	75*	Subexplotada	100*	50*	2	
TOTAL		58938	21125	7828	378	1549		651		56	
CONFIRMADO		23422	9013	3402	378	352		125		5	
ESTIMADO		35516*	12113*	4426*	-	1197*		526*		30	

(1) La disponibilidad de aguas subterráneas se aprovechará con los pozos que se construyeron en el programa de rehabilitación del distrito de riego No. 7, Valle de Juárez.

(2) Las condiciones geomorfológicas permiten recomendar la sobreexplotación del acuífero en este volumen.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

SELECCION DE EQUIPOS DE PERFORACION  
PARA POZOS DE AGUA

ING. JOSE FELIPE YTUARTE

1 9 8 4

## SELECCIÓN DE EQUIPOS

En esta parte del curso se hablará sobre los criterios que deben prevalecer para la selección del equipo de perforación más adecuado para los programas de pozos que se tienen en proyecto realizar. Aunque en estos momentos en que el país atravieza por una situación difícil para el pensar en la adquisición de nuevos equipos se tratará que el criterio que se fije sea aplicable tanto para la adquisición como para determinar las características del equipo que ya se encuentra actualmente operando.

En la selección de un equipo no solamente tiene que pensarse en el equipo básico sino que debe analizarse todos los elementos complementarios que lo conforman tales como tubería de perforación, lastrabarreras, llaves de apriete, etc. con el fin que todo el conjunto sea congruente para los programas de perforación y en si de la operación general.

Los principales conceptos que deben analizarse para tomar una determinación de designar el equipo adecuado serán:

1. - Aspecto programas de perforación
2. - Aspectos humanos, de servicio y refaccionamiento.
3. - Análisis del equipo complementario
4. - Aspecto económico

## 1.- ASPECTO PROGRAMAS DE PERFORACION

Este es uno de los aspectos que en la mayoría de los casos tanto en el sector público como en el privado no se ha analizado a fondo provocando muchas veces limitaciones de los equipos adquiridos, y con esto no poder abarcar todos los programas deseados.

Por lo tanto se tendrá que hacer, un estudio de los programas de perforación llevados principalmente por las Dependencias Federales en función de las profundidades y diámetros de perforación ya que estos dos factores podran por sí solos eliminar un sin número de equipos que actualmente se encuentran en el país y que analizaremos el porque en el punto 3.

## 2.- ASPECTOS HUMANOS, DE SERVICIO Y REFACCIONAMIENTO

HUMANO.- En este punto el aspecto humano para el autor es tan esencial que muchos pensaran que tiene que ver en la selección del equipo de perforación pero por la experiencia y el conocimiento del personal que labora en todos los trabajos de perforación de pozos de agua a nivel preparación y educativo es generalmente bajo a la vez que no existen programas de capacitación o preparación anterior para la operación de los equipos, es por ello que es tan importante conocer este aspecto pues es demasiado aventurero dejar

en manos de personal impreparado un equipo que si lo consideramos nuevo en la actualidad tiene un costo de alrededor de \$ 100,000,000.-

Lo anterior tiene como objetivo el tener un cuidado mayor en la selección del equipo en lo referente a su mayor o menor sofisticación.

SERVICIOS.- Uno de los principales problemas que se han tenido en este país con los equipos de perforación es el que no se producen en México, y generalmente ha sido un mal tanto en la iniciativa privada como en el gobierno que se hayan adquirido equipos por oportunidad en esos momentos y normalmente las compañías representantes venden los equipos olvidándose del futuro servicio.

El análisis adecuado de cada uno de los componentes básicos en este punto y conociendo los medios con que se cuentan en el país para un buen servicio de cada uno de los elementos sera una base de gran peso para la decisión final.

REFACCIONAMIENTO .- Como el punto anterior es de vital importancia hacer un análisis exhaustivo de todos los elementos del equipo básico ya que en ocasión el costo por equipo parado por una insignificante refacción es de grandes dimensiones en comparación con

el costo de la refacción y más aún en las condiciones actuales que ya no existe la facilidad de la importación, por ello entre menos componentes integrantes menor será el problema.

### 3.- ANALISIS DEL EQUIPO COMPLEMENTARIO

a) EQUIPO DE BOMBEO .- En este renglón el criterio para decidir ya sea para sistemas de perforación con lodo o bien usando aire como fluido de perforación será igual en ambos casos dependiendo del programa de perforación ya que será la base para determinar capacidades de la bomba de lodos o del compresor para -- que en la operación se puedan resolver todos los problemas que se presenten.

En muchos casos las capacidades de estos elementos limitan la utilización del equipo o bien hacen una operación lenta e ineficiente.

b) SARTA DE PERFORACION.- En este análisis se tendrá ya conocimiento de los programas de perforación que se vayan a ejecutar y en función de ellos decidir el diámetro de la Sarta de perforación.

Consideraremos que el diámetro sea de 22" para entubar a 16" que generalmente se proyectan en las dependencias oficiales será conveniente la utilización de una tubería de perforación de 4 1/2" O.D. y lastra barrenas (Drill Collars) de 7 3/4" en número total que está en función de la capacidad del equipo.

A menor diámetro de perforación y profundidad se podrá combinar tubería de perforación de 3 1/2" - o 2 7/8" con lastra barrenas de 6" o 5" sin embargo siempre existirá una limitación para cubrir otros programas.

c) SISTEMA DE ROTACION..- Dentro del sistema de rotación generalmente se tienen dos formas de transmitir la rotación: por medio de mesa rotaria o mediante cabeza rotaria. En muchos casos se tiene que analizar la capacidad del par de rotación para asumir -- los esfuerzos que se transmiten a través de la sarta de perforación y los diámetros de los agujeros. Sin embargo un factor principal es que cualquier -- sistema que se analice siempre se tratará de que en función de los programas de entubado el equipo permita la operación a través del mismo sin ninguna -- restricción ya que se dan casos que se tiene que retirar el equipo de perforación y utilizar un equipo adicional para poder llevar a cabo la colocación de la tubería lo que significa un costo adicional en los trabajos.

d) LLAVES DE APRIETE .- En este aspecto se buscará que cualquiera que sea el equipo cuente con un sistema hidráulico para operar las llaves de apriete -- de las diferentes marcas que hay en el mercado, más es el sistema que proporciona la suficiente fuerza

para aplicar el par para desconectar y conectar la sarta de perforación

#### 4.- ASPECTO ECONOMICO

Una vez que se hayan analizado todos los puntos anteriores a detalle y aunque este aspecto es el principal, será más fácil para tomar una decisión tener la seguridad que se han estudiado todos los factores que se mencionaron para formar el cuadro comparativo de los equipos con el mismo criterio en todos sus componentes.

Independientemente que se tendrá que analizar además del precio del equipo total, las facilidades de financiamiento, tiempos de entrega, refaccionamiento mínimo de un año para parte de consumo normal así como los aspectos de contratación que se logren obtener.

En forma general se han analizado los aspectos principales para decidir la selección de un equipo para perforación de pozos de agua que pueden ser aplicables para equipo nuevo o en operación y que el hacer un buen análisis llevará por lo tanto a la obtención de mejores resultados y la seguridad que cualquier proyecto quede terminado y no dejado a medio camino con los problemas que ello representa para un programa general.



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PERFORACION ROTARIA

EXPOSITOR

ING. ERNESTO REGUERA ROA

ABRIL DE 1984

1

# THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX

**ALL STUDENTS:** Be sure to complete the unit pre-test before you begin your study.

# THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX PROGRAM OBJECTIVES

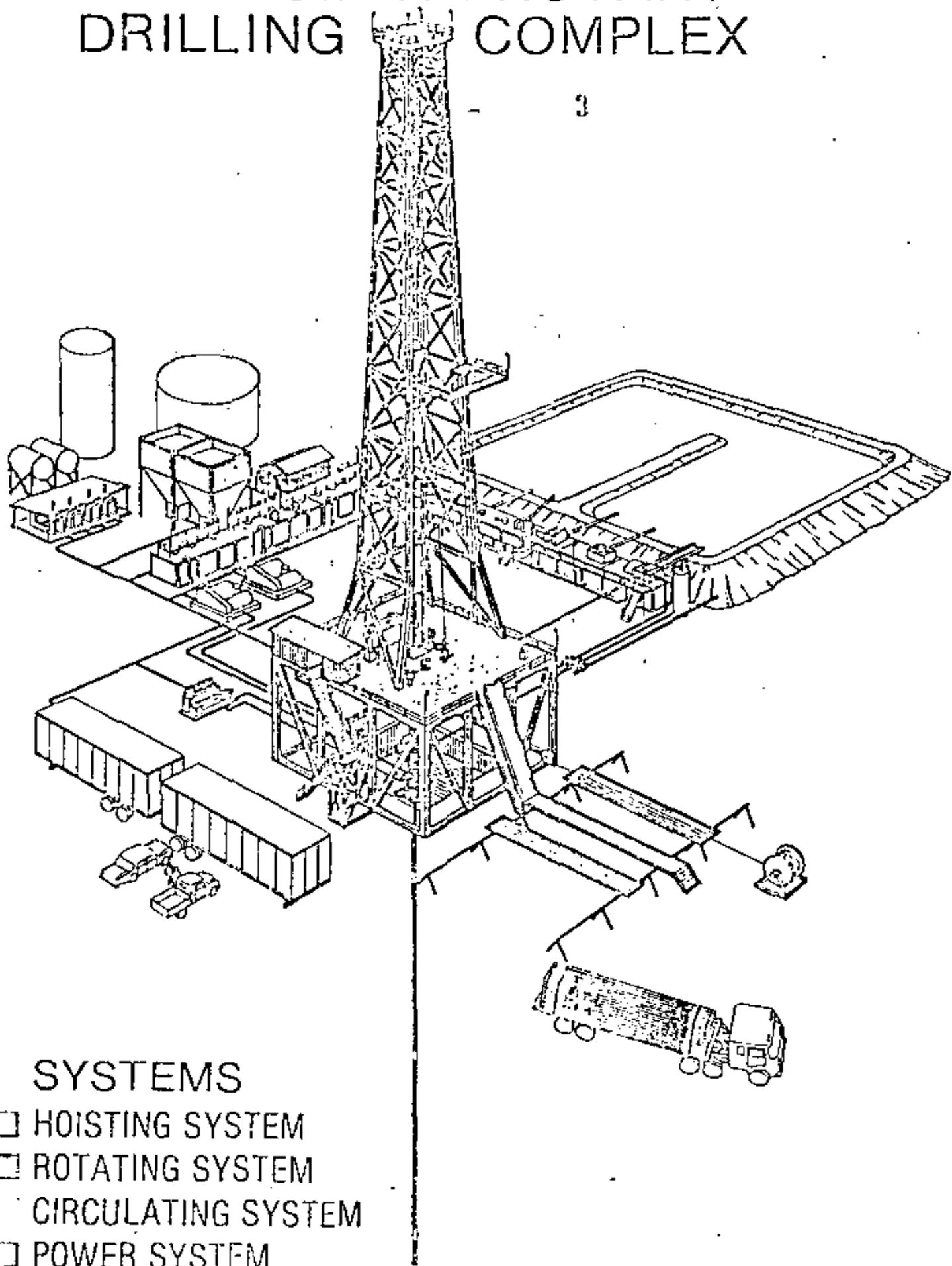
Upon completion of this section, you should be able to:

- Identify and describe each major component system within a modern rotary drilling complex; and
- Identify and describe the major subcomponents within each system.

**ALL STUDENTS:** When you are ready to begin your study, open this section.

# THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX

3



## SYSTEMS

- HOISTING SYSTEM
- ROTATING SYSTEM
- CIRCULATING SYSTEM
- POWER SYSTEM
- BLOWDOWN SYSTEM

# AN INTRODUCTION

The modern rotary drilling complex is a highly sophisticated industrial facility that has one major function—to safely drill a subsurface hole, called a “well bore,” until it penetrates a potential petroleum-bearing formation, permitting any oil or gas to be recovered at the surface.

These drilling operations are achieved by experienced and skilled drilling crews using a modern rotary drilling complex. The complex is an assemblage of specialized equipment and tools that are organized into five interrelated and dependent component systems. The components are: 1) a hoisting system, 2) a rotating system, 3) a circulating system, 4) a power system, and 5) a blowout prevention (BOP) system.

This section (pages 1-16) will provide you with a review of Unit II — The Rig and Its Component Systems.

# THE COMPONENT SYSTEMS

---

5

## THE HOISTING SYSTEM

The hoisting system, as represented by the distinctive silhouette of a mast or derrick, is probably the most recognized component of a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating system in "drilling a well" by providing the appropriate equipment and working areas needed for lifting, lowering and suspending the tremendous weights required by the rotating system during drilling operations.

## THE ROTATING SYSTEM

The rotating system is the focal point of the entire modern rotary drilling complex. Its primary function is to actually drill the well bore, which is popularly called "making hole." The rotating system is directly or indirectly supported or aided in this operation by all other component systems.

## THE CIRCULATING SYSTEM

The circulating system is another major component of a modern rotary drilling complex, providing vital support to the rotating system as a well is drilled. The system provides equipment, materials and working areas to prepare, maintain and revise the "lifeblood" of modern rotary drilling operations—the drilling fluid (popularly called "mud"), which is used to clean and control the well bore during drilling operations.

## THE POWER SYSTEM

The power system is the "nucleus" of a modern rotary drilling complex. Its prime movers, or large engines, generate the power required to operate almost all of the components in each system within the complex.

## THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM

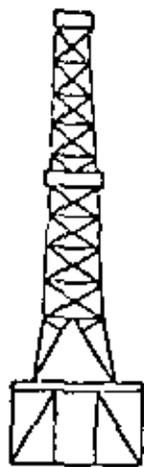
The blowout prevention (BOP) system is a primary "safety" system of a modern rotary drilling complex. Its primary function is to control a "kick," which can result in a drilling disaster that may occur if control over the drilled well bore is lost and subsurface formation fluid under high pressure erupts from the well (a "blowout").

To develop a better understanding of each of the important modern rotary drilling complex components, turn to the next two-page display.

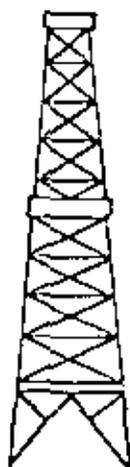
# THE HOISTING SYSTEM

## DRILLING TOWERS

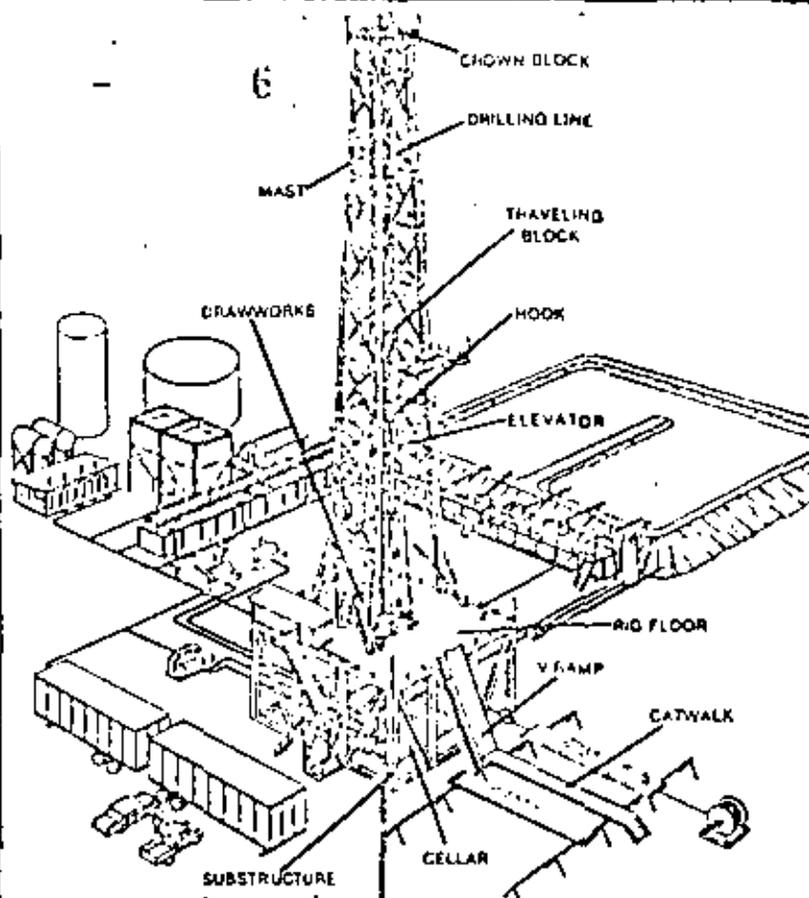
### A MAST



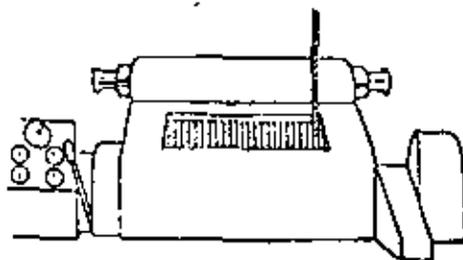
### A DERRICK



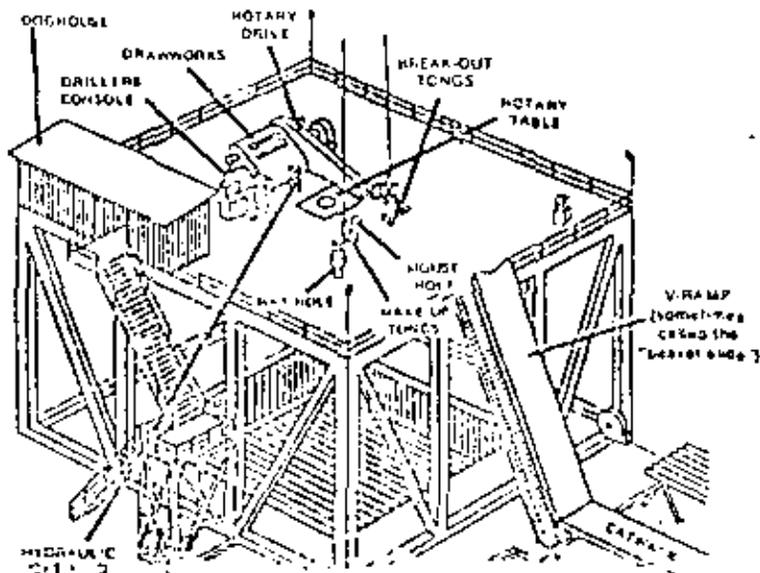
### THE SUBSTRUCTURE



## THE DRAWWORKS



## THE RIG FLOOR



## THE OVERHEAD TOOLS

### CROWN BLOCK



### TRAVELING BLOCK



### LINKS



### ELEVATOR

## DRILLING LINE



# 7. THE HOISTING SYSTEM

The hoisting system is one of the most important components in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating system in "drilling the well" by providing the appropriate equipment and working areas needed for lifting, lowering and suspending the tremendous weights used in the rotating system as it drills the well bore. The hoisting system consists of two major sub-components: 1) the supporting structure (popularly called the "rig"), and 2) the hoisting equipment.

## THE SUPPORTING STRUCTURE (RIG)

THE SUPPORTING STRUCTURE IS . . .

A steel framework assembled over the drilling site. The supporting structure includes the following:

- **DERRICK DRILLING TOWER** - A tower-like framework which is assembled piece by piece over the well site, above the substructure. This framework covers the entire rig floor and supports the assemblage of tools and equipment used in modern rotary drilling.
- OR-
- **MAST DRILLING TOWER** - A tower-like framework which is constructed from prefabricated sections which are assembled on the ground and then raised to an upright position above the substructure. This framework covers part of the rig floor and supports the assemblage of tools and equipment used in modern rotary drilling.
- **SUBSTRUCTURE** - A large steel framework assembled over the drilling site which provides work space for equipment and men on and below the rig floor.
- **RIG FLOOR** - The covering placed over the substructure framework which provides a working platform for most rotary drilling operations.

The supporting structure provides the appropriate working space required for using the specialized hoisting equipment.

## THE HOISTING EQUIPMENT

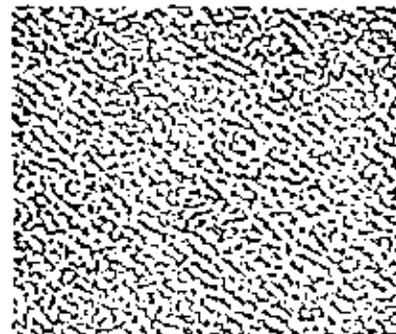
THE HOISTING EQUIPMENT IS . . .

The specialized equipment that lifts, lowers, and suspends the drill stem and bit in the well bore. The hoisting equipment includes:

- **DRAWWORKS** - A powerful hoisting assembly (specialized winch) located near the rotary table on the rig floor.
- **OVERHEAD TOOLS** - The "connecting links" within the hoisting system—they include:
  - **CROWN BLOCK** - An assembly of sheaves located on a framework at the top of a mast or derrick.
  - **TRAVELING BLOCK** - An arrangement of sheaves that is suspended below the crown block and above the rig floor.
  - **HOOK** - A large hook-shaped device beneath the traveling block from which the swivel and drill stem are suspended during drilling operations.
  - **ELEVATORS** - Extremely rugged, heavy-duty clamps attached to the traveling block or hook by means of elevator links. They are used to lower or raise drill stem sections in and out of the hole.
- **DRILLING LINE** - Heavy-duty steel wire rope that connects all components in the hoisting system.

## SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The hoisting system supports the r\_\_\_\_\_ s\_\_\_\_\_ in drilling a well.
2. The two major sub-components of the hoisting system are the s\_\_\_\_\_ s\_\_\_\_\_ and the h\_\_\_\_\_ e\_\_\_\_\_.
3. The three major components of the supporting structure are the d\_\_\_\_\_, l\_\_\_\_\_, the s\_\_\_\_\_ and the r\_\_\_\_\_.
4. The major hoisting equipment components are the d\_\_\_\_\_, o\_\_\_\_\_, and the d\_\_\_\_\_.



# THE ROTATING SYSTEM

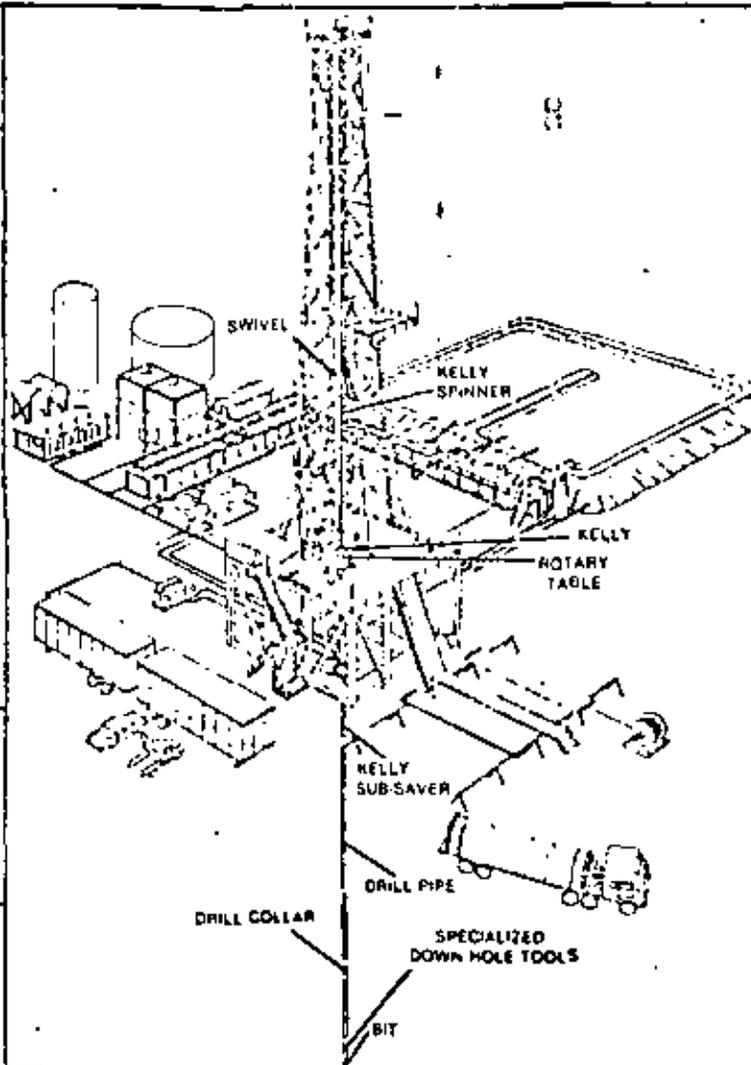
THE DRILL STEM  
THE SWIVEL



KELLY SPIKNER



THE DRILL DRILL  
KELLY PIPE COLLAR



THE ROTARY  
KELLY BUSHING



THE ROTARY SLIPS



THE  
MASTER BUSHING

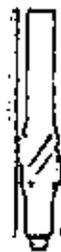


## DOWN HOLE TOOLS

SAVER  
SUB



STABILIZERS



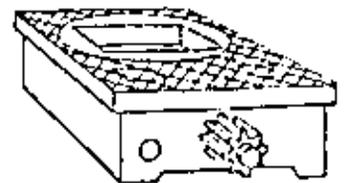
REAMERS



SHOCK  
ABSORBERS  
(SHOCK SUB)



THE ROTARY TABLE



## BIT TYPES

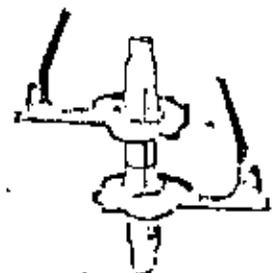
ROLLER-CONE OR  
ROCK BIT



DIAMOND BIT



ROTARY TONGS



# THE ROTATING SYSTEM

The rotating system is another of the important components in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to rotate the drill stem and bit, which actually drills the hole (well bore). The rotating system has three major sub-components: 1) the rotary, 2) the drill stem and 3) the bit.

## THE ROTARY

The rotary is located in the rig floor beneath the crown and over the hole. Rotary operations require the use of the following: the rotary table, master bushing, kelly bushing, rotary slips, and make-up and break-out tongs.

- **ROTARY TABLE** - An extremely rugged and powerful rotating device containing a turntable assembly.
- **MASTER BUSHING** - A removable device that fits into the rotary table and is used with either the kelly bushing or the rotary slips.
- **KELLY BUSHING** - A device that is engaged in the master bushing and transmits torque to the kelly and drill stem during drilling operations.
- **ROTARY SLIPS** - A set of tapered steel gripping devices that are placed inside the master bushing around a section of the drill stem to suspend it in the well bore when adding or removing drill stem sections.
- **MAKE-UP & BREAK-OUT TONGS** - Large wrenches suspended above the rig floor that are used to "make-up" or "break-out" a joint of drill pipe, etc.

The rotary table, master bushing, and kelly bushing are used together to rotate the drill stem.

The rotary table, master bushing and rotary slips are used to suspend the drill stem in the hole while adding and removing sections of drill pipe with the assistance of the make-up and break-out tongs.

## THE DRILL STEM

The drill stem is suspended beneath the hook and traveling block. It extends through the rotary where it is suspended in the well bore. The drill stem hangs beneath the hook and traveling block by:

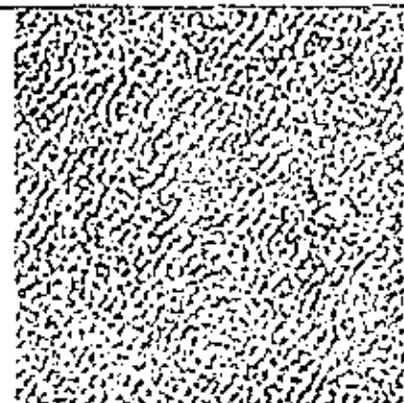
- **THE SWIVEL BAIL & SWIVEL** - A uniquely shaped tool which is located above the drill stem. It allows the drill stem to rotate.
- The drill stem includes:
- **THE KELLY** - A square or hexagon-shaped pipe suspended beneath the swivel bail and swivel that passes through the rotary and transmits torque from the rotary to the drill stem.
  - **THE KELLY SAVER SUB** - A short device connected to the bottom of the kelly to save wear and tear on the lower kelly connecting threads.
  - **DRILL PIPE JOINTS** - Round, hollow steel tubes with tool joints attached, located in the upper and middle sections of the drill stem. They are used to lengthen the stem and act as a connecting link to the drill collars and bit.
  - **DRILL COLLARS** - Thick-walled, heavy steel tubes placed on the bottom of the drill stem to provide concentrated weight to the bit.
  - **SPECIALIZED DOWN HOLE TOOLS** - Tools used in the lower 120 feet of the drill stem to influence the behavior of the bit.

## THE BIT

The bit is the tool that actually cuts or bores the hole at the bottom of the well bore.

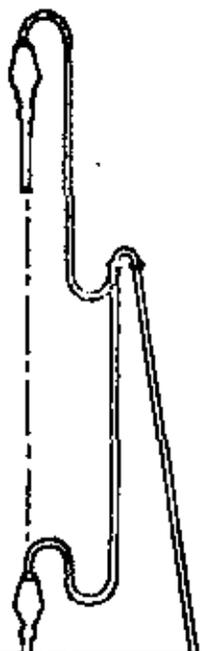
## SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The rotating system actually d\_\_\_\_\_ the well.
2. The three major components of the rotating system are the r\_\_\_\_\_, the d\_\_\_\_\_, s\_\_\_\_\_, and the b\_\_\_\_\_.
3. The rotary consists of a number of important components including the r\_\_\_\_\_, t\_\_\_\_\_, m\_\_\_\_\_, b\_\_\_\_\_, k\_\_\_\_\_, b\_\_\_\_\_, and the r\_\_\_\_\_, s\_\_\_\_\_.
4. The drill stem includes the k\_\_\_\_\_, k\_\_\_\_\_, s\_\_\_\_\_, s\_\_\_\_\_, d\_\_\_\_\_, p\_\_\_\_\_, j\_\_\_\_\_, d\_\_\_\_\_, c\_\_\_\_\_, and s\_\_\_\_\_, d\_\_\_\_\_, h\_\_\_\_\_.



# 3 THE CIRCULATING SYSTEM

ROTARY HOSE AND STAND PIPE



CONDITIONING EQUIPMENT

SHALE SHAKER



DEGASSER



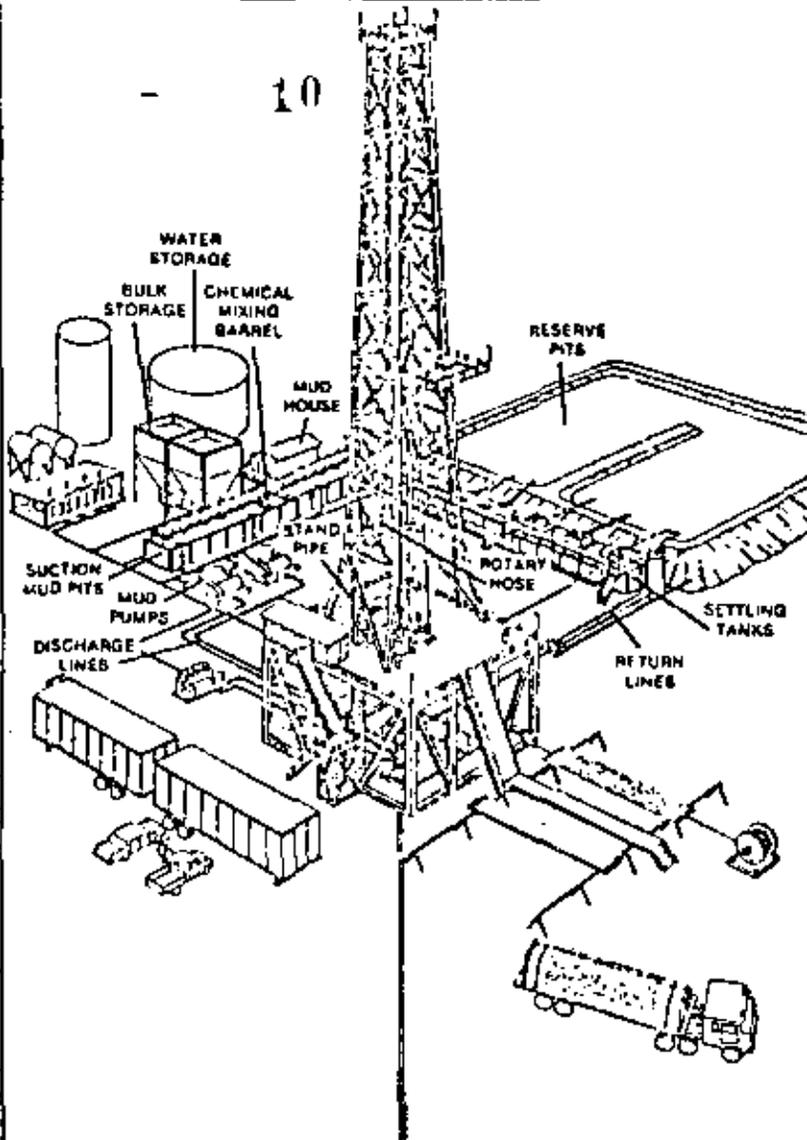
DESANDER



DESILTER



- 10



MUD TESTING

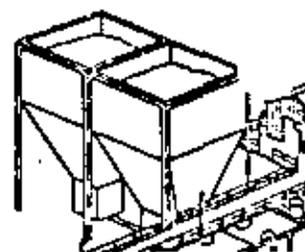
WEIGHT TEST



MARSH FUNNEL



BULK STORAGE



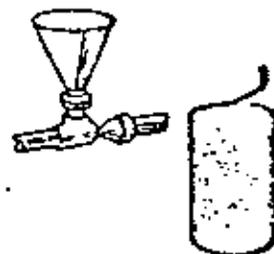
MUD PUMPS



RESERVE PITS (Earthen)



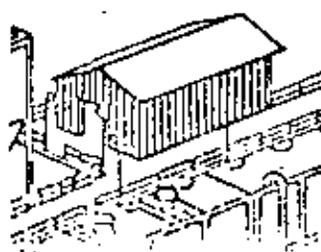
MIXING EQUIPMENT



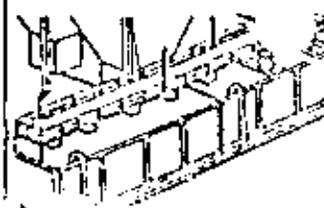
MUD-GAS SEPARATOR



THE MUD HOUSE



STEEL MUD PITS



# THE CIRCULATING SYSTEM 11

The circulating system is another important component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating system in "drilling the well" by providing the appropriate equipment, materials and work areas needed to prepare, maintain and revise the "lifeblood" of rotary drilling operations — the drilling fluid. The drilling fluid is popularly called "mud." The circulating system consists of four major sub-components: 1) the drilling fluid, 2) the preparation area, 3) the circulating equipment and 4) the conditioning area.

## THE DRILLING FLUID

The drilling fluid is the special liquid that is circulated down into the drilled hole, assisting the bit in drilling the hole, and then helping control conditions within the well bore. There are three basic types of drilling fluid: 1) water-based, 2) oil-based, and 3) air or gas-based. The drilling fluid is tested continually. Two basic tests are: 1) the weight test which measures the density of the drilling fluid and 2) the marsh funnel test which measures the viscosity of the drilling fluid.

## THE PREPARATION AREA

The preparation area is located at the start of the circulating system near the "mud pumps," where drilling fluid is initially prepared, maintained or altered, depending on well bore conditions. The area contains:

- MUD HOUSE - A storage shed for additives.
- STEEL MUD PITS - Steel containers that facilitate handling of drilling fluid at the surface.
- MIXING HOPPER - A device used to add additives to drilling fluid.
- CHEMICAL MIXING BARREL - A device used to add chemicals to drilling fluid.
- BULK MUD STORAGE BINS - Large bins used for storing additives used in large quantities.
- WATER TANK - A storage container for water used in the preparation area.
- RESERVE PIT - A large earthen pit used to hold wastes from the well bore and to store excess drilling fluid.

## THE CIRCULATING EQUIPMENT

The circulating equipment is the specialized equipment that physically moves the drilling fluid from the preparation area in and out of the well bore, to the conditioning area, then returns it to the preparation area for recirculation. The equipment includes:

- DISCHARGE AND RETURN LINES - Connecting lines that transport drilling fluid to and from the well bore.
- STAND PIPE - A steel pipe clamped vertically to the derrick or mast, connecting the drilling fluid discharge lines to the rotary hose.
- ROTARY HOSE - A strong, flexible rubber hose that connects the stand pipe with the swivel.
- MUD PUMPS - Powerful pumps that physically move the drilling fluid during circulation.
- SPECIAL PUMPS AND AGITATORS - Devices used to mix or assist in mixing the drilling fluid.
- STEEL MUD PITS - Additional steel containers that facilitate the handling of drilling fluid.
- RESERVE PITS - Large earthen pits used to hold wastes from the well bore.

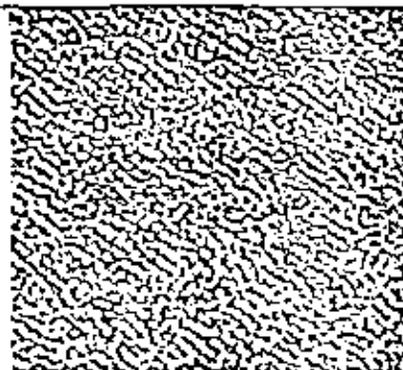
## THE CONDITIONING AREA

The conditioning area is the area where drilling fluid is "cleaned-up" after it has been brought up out of the well bore. The area includes:

- SETTLING TANKS - Steel containers (mud pits) used to hold drilling fluid used during conditioning.
- MUD-GAS SEPARATOR - A device that removes larger quantities of entrained gases that have entered the drilling fluid.
- SHALE-SHAKER - A device that removes large formation cuttings from the drilling fluid.
- DEGASSER - A device that continuously removes entrained gases that have entered the drilling fluid.
- DESANDER - A device that removes granular particles from the drilling fluid.
- DESILTER - A device that removes the most minute formation particles from the drilling fluid.

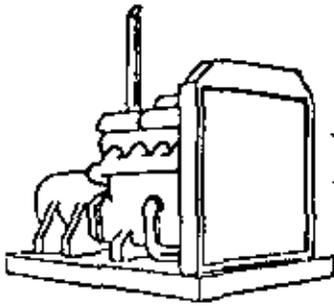
## SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The circulating system supports the r \_\_\_\_\_ s \_\_\_\_\_
2. The four major components of the circulating system are the  
d \_\_\_\_\_ f \_\_\_\_\_, the p \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_, the  
c \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_ and the c \_\_\_\_\_  
a \_\_\_\_\_
3. The conditioning area includes the s \_\_\_\_\_ t \_\_\_\_\_, the  
m \_\_\_\_\_ g \_\_\_\_\_ s \_\_\_\_\_, the s \_\_\_\_\_,  
s \_\_\_\_\_, the d \_\_\_\_\_, the d \_\_\_\_\_ and the  
d \_\_\_\_\_
4. Drilling fluid is popularly called "m \_\_\_\_\_"



# 4 THE POWER SYSTEM

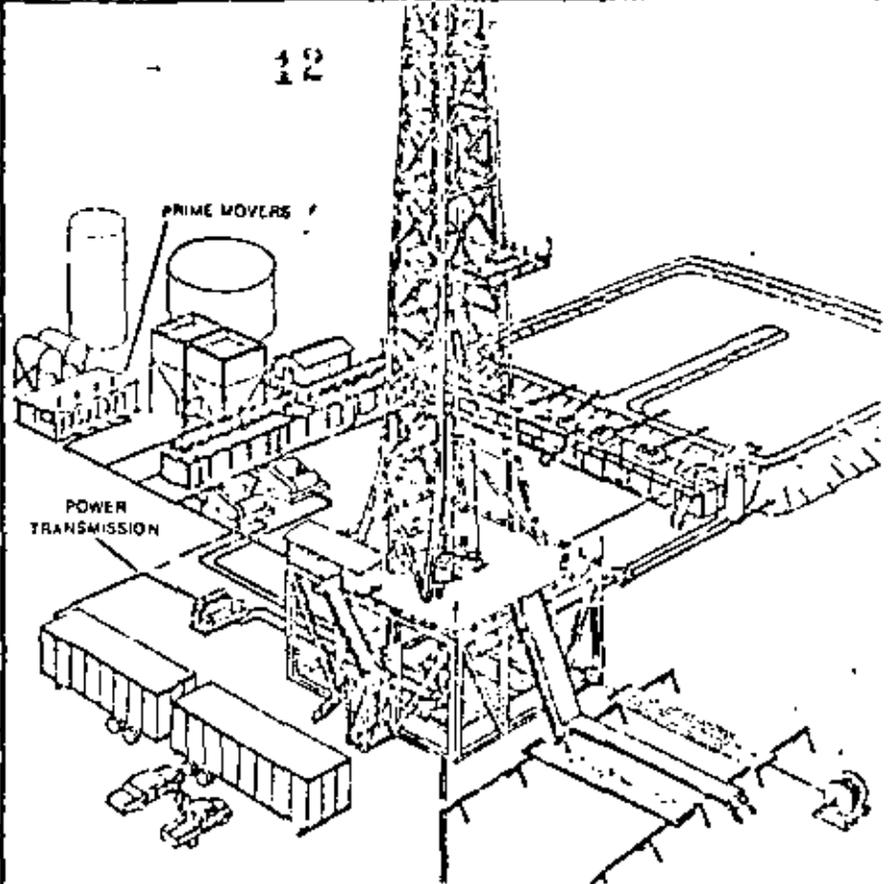
## THE PRIME MOVER



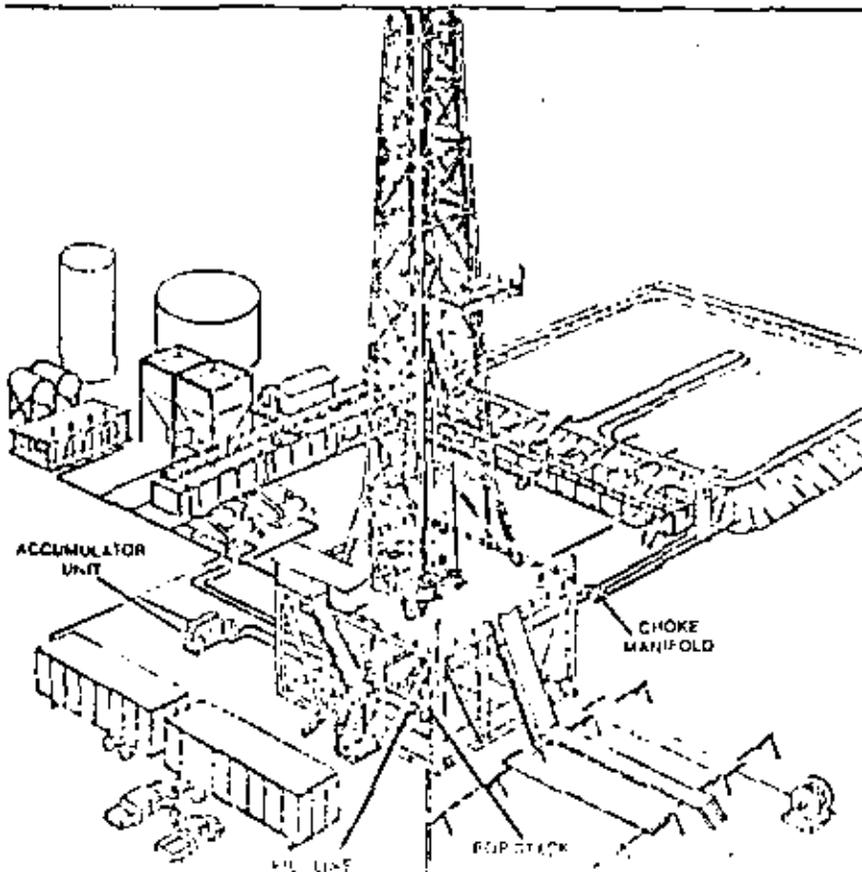
## POWER TRANSMISSION



12



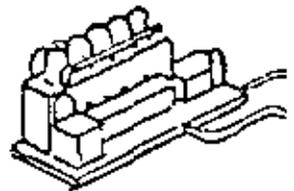
# 5 THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM



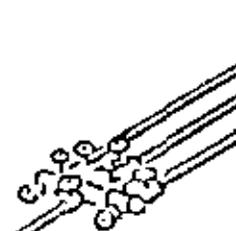
## THE BOP STACK



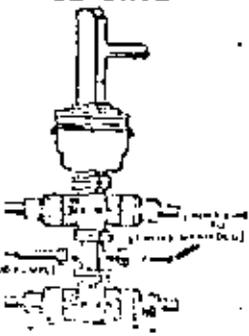
## THE ACCUMULATOR UNIT



## THE CHOKE MANIFOLD



## THE KILL LINE



# THE POWER SYSTEM 13

The power system is another major component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support ALL of the other systems by providing a source for the energy requirements of modern rotary drilling operations. The power system consists of two major sub-components: 1) the primary power source (prime movers) and 2) the accompanying power transmission system.

## THE PRIMARY POWER SOURCE

The primary power source for a rotary drilling complex is provided by the prime movers. Prime movers are large internal combustion engines that are arranged into a compound. The engines may be with or without generators. Rigs are classified as being either gas, diesel or diesel-electric.

## THE POWER TRANSMISSION SYSTEM

The power generated by the prime movers is distributed to the appropriate locations on a rig complex by mechanical or electrical means.

- MECHANICAL TRANSMISSION - Uses an elaborate gear and chain arrangement requiring careful alignment.
- ELECTRICAL TRANSMISSION - Uses a system of cables providing greater flexibility and efficiency.

## SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The power system supports a \_\_\_\_\_ of the other component systems.
2. The two major sub-components of the power system are the p \_\_\_\_\_  
p \_\_\_\_\_ s \_\_\_\_\_ and p \_\_\_\_\_ t \_\_\_\_\_ system.
3. Power is generated at the rig complex by large engines called  
p \_\_\_\_\_ m \_\_\_\_\_.
4. Power is distributed around a rig by one of two methods:  
m \_\_\_\_\_ or e \_\_\_\_\_ transmission.

ADVANCED STUDY STUDENTS: Refer to the "Supplemental Self-Check" booklet.

# THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM

The blowout prevention (BOP) system is the final major component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to control a "kick," which can result in a "blowout." The blowout prevention system consists of two major subcomponents: 1) the blowout preventer (BOP) stack and accumulator unit, and 2) the supporting units.

## THE BOP STACK AND ACCUMULATOR UNIT

The blowout preventer (BOP) stack is an assembly of special pressure-sealing devices located at the casing (well) head directly under the rotary table. Its major function is to seal the well bore when a blowout is imminent. This is done with the assistance of the accumulator unit.

## THE SUPPORTING CHOKE AND KILL SYSTEM

- CHOKEMANIFOLD - An assembly of high pressure flanged pipe fittings and lateral outlets used to control and maintain back pressure during a severe "kick" and to disperse well bore fluids to the pit or the mud-gas separator until the "kick" is controlled.
- KILL LINE - A line attached to the Blowout preventer (BOP) stack that permits heavy-duty drilling fluid to be pumped into the well bore in order to regain well bore balance (control) during a "kick."

NOTE: REGARDLESS OF THE TYPE OF BLOWOUT PREVENTION (BOP) SYSTEM ON A RIG, THE MAINTENANCE AND SUPERVISION OF THE SYSTEM IS EXTREMELY IMPORTANT. IN EFFECT, THE FINAL "SAFETY SYSTEM" IS THE RIG CREW, WHO MUST MONITOR AND OPERATE THE BOP SYSTEM WHEN A PROBLEM OCCURS.

## SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The primary function of the blowout prevention system is to c \_\_\_\_\_  
a "k \_\_\_\_\_."
2. The BOP system consists of two major sub-components: the B \_\_\_\_\_  
s \_\_\_\_\_ and a \_\_\_\_\_ u \_\_\_\_\_ and the  
s \_\_\_\_\_ u \_\_\_\_\_.
3. The BOP supporting units are the c \_\_\_\_\_ m \_\_\_\_\_ and  
the k \_\_\_\_\_.

# REVIEW

## THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX<sup>14</sup>

The major function of a modern rotary drilling complex is to drill a subsurface hole, called a "well bore," until it penetrates a petroleum-bearing formation. These drilling operations are achieved by experienced and skilled drilling crews using the complex's five interrelated and interdependent component systems described below:

- THE HOISTING SYSTEM** - Supports the rotating system in drilling the well bore and is made up of two sub-components:
- 1) a supporting structure
  - 2) the hoisting equipment
- THE ROTATING SYSTEM** - Rotates the drill stem and makes the bit drill a subsurface hole, called a "well bore," and is made up of three sub-components:
- 1) the rotary
  - 2) the drill stem
  - 3) the bit
- THE CIRCULATING SYSTEM** - Supports the rotating system as it circulates the "lifeblood" of rotary drilling operations—the drilling fluid. The circulating system is made up of four major sub-components:
- 1) the drilling fluid
  - 2) the preparation area
  - 3) the circulating equipment
  - 4) the conditioning area
- THE POWER SYSTEM** - Generates and distributes the primary power required to operate almost all other component systems. It is made up of two major sub-components:
- 1) the primary power source (prime movers)
  - 2) the power transmission system
- THE BLOWOUT PREVENTION (BOP) SYSTEM** - Controls one of the major problems that may be encountered when drilling a well—a "kick," which can result in a blowout. It consists of two major sub-components:
- 1) the blowout preventer (BOP) stack and accumulator unit
  - 2) the supporting choke and kill system

When you are ready to check your mastery of the information contained in this section, fold in page 3, cover this review page and complete the Information Mastery Self-Check on the next page.

# INFORMATION MASTERY SELF-CHECK

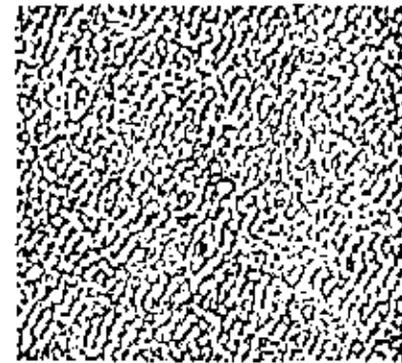
15

COMPLETE THE FOLLOWING SECTIONS AS DIRECTED:

**PART I** Match the correct function in Column B by placing the letter in front of the system in Column A.

- COLUMN A**
- \_\_\_ 1. Hoisting System
  - \_\_\_ 2. Rotating System
  - \_\_\_ 3. Circulating System
  - \_\_\_ 4. Power System
  - \_\_\_ 5. Blowout Prevention (BOP) System

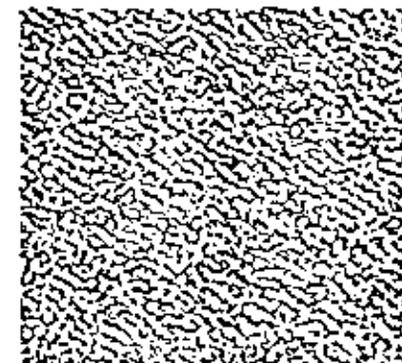
- COLUMN B**
- A. Supports rotating systems by moving drilling fluid.
  - B. Controls drilling problems.
  - C. Supports rotating system by lifting tremendous weights
  - D. Supports almost all component systems
  - E. Actually drills the well



**PART II** Classify each of the system components listed below by placing the letter of the system in Column B in front of the component in Column A. Column B letters may be used several times.

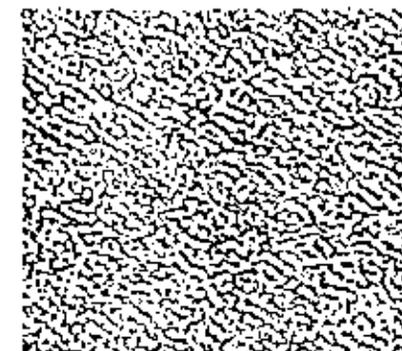
- COLUMN A**
- \_\_\_ 6. The drilling fluid
  - \_\_\_ 7. Prime mover
  - \_\_\_ 8. The preparation area
  - \_\_\_ 9. Supporting structure
  - \_\_\_ 10. The rotary
  - \_\_\_ 11. The drill stem
  - \_\_\_ 12. BOP stack
  - \_\_\_ 13. The conditioning area
  - \_\_\_ 14. The bit
  - \_\_\_ 15. Power transmission system

- COLUMN B**
- A. The Hoisting System
  - B. The Rotating System
  - C. The Circulating System
  - D. The Power System
  - E. The Blowout Prevention (BOP) System



**PART III** COMPLETE THE FOLLOWING STATEMENTS:

- 15. What is the major function of a modern rotary drilling complex? \_\_\_\_\_
- 16. A subsurface hole is also called a "w \_\_\_\_\_ b \_\_\_\_\_."
- 17. Primary power is provided by the p \_\_\_\_\_ m \_\_\_\_\_.
- 18. Describe the function of the BOP system. \_\_\_\_\_





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

POZOS Y ACUIFEROS

ING. GILBERTO HARO OSIO

1984

## I N D I C E

	PAGINAS
1.- LEY DE DARCY	1
2.- RED DE FLUJO	2
3.- HIDRAULICA DE LOS POZOS	
3.1.- Acuífero abierto	3
3.1.1 Curva de abatimiento	
3.1.2 Curva de producción del pozo	5
3.1.3 Productividad del pozo	8
3.2.- Acuífero confinado	10
3.2.1. Curva de abatimiento	
3.2.2 Curva de producción del pozo, para $Z$ no $H$	12
3.2.3 Productividad del pozo	14
3.2.4. Variación de la curva de producción de un acuífero confinado cuando varia el espesor productivo,	14
3.2.5 Curva de producción del pozo para $O$ no $Z$	16
3.3.- Curvas de producción y diagramas de capacidades específicas de acuíferos intercalados.	20
3.4.- Modificación de la curva de producción por pérdidas de fricción en la vecindad del pozo.	20
3.5.- Curvas de producción y diagramas de capacidades específicas de acuíferos reales.	24

## 1. LEY DE DARCY

Henry Darcy en 1856 encontró los fundamentos que rigen el movimiento del agua en formaciones porosas. Estableció que la cantidad de flujo que pasa a través de un medio permeable es directamente proporcional al área recta del medio y a la diferencia de cargas existente entre la cara de entrada y de salida e inversamente proporcional al medio.

Lo anterior queda expresado matemáticamente como sigue:

$$Q = KA \frac{dh}{ds} \quad (1)$$

$$Q = AV \quad (2)$$

$$v = k \frac{dh}{ds} \quad (3)$$

$$i = \frac{dh}{ds} \quad (4)$$

Donde :

Q= gasto

v= velocidad

k= coeficiente de permeabilidad

A= area recta

i= gradiente hidráulico

Estos fundamentos son conocidos como la Ley de Darcy

## 2. RED DE FLUJO

La Ley de Darcy permitió llegar al conocimiento de que el agua fluye a través de un medio permeable, con un movimiento ordenado, que cada partícula de agua se mueve siguiendo una línea curva suave, conocida como línea de flujo y que las líneas adyacentes son sensiblemente paralelas. Por esto se dice que el flujo es laminar.

El desplazamiento de una partícula de agua a lo largo de su línea de flujo se debe a la diferencia de cargas que existe a lo largo de esta línea. Cuando las cargas en diferentes puntos alcanzan un mismo nivel, se dice que estos puntos se encuentran en una línea equipotencial. Al conjunto de líneas de flujo y equipotenciales se le llama red de flujo.

Los problemas relacionados con la red de flujo presentan dificultades para ser abordados con ecuaciones matemáticas, no obstante esto, el caso de los pozos pueden abordarse matemáticamente haciendo simples consideraciones, pero sin perder el sentido físico del problema.

## 3. HIDRAULICA DE LOS POZOS

3.1 Acuifero Abierto

## 3.1.1 Ecuación del Comportamiento del Pozo

Julius Dupuit en 1863 con base en la Ley de Darcy desarrollo unas fórmulas que son el primer paso para conocer el comportamiento de los pozos.

La Lamina 3.1.1 representa un acuifero abierto en explotación, en donde originalmente el nivel del agua se encontraba en un plano horizontal que pasaba por el punto M, después con la explotación del pozo a gasto constante Q, el plano horizontal se deformó, produciéndose un cono de abatimiento muy pronunciado en la vecindad del pozo, pero a medida que se aleja de este la deformación se suaviza y llega a confundirse con el nivel de alimentación del acuifero a una distancia considerable del pozo. El cono lo representa la curva NPM.

El gasto Q que se está extrayendo, también esta pasando por la superficie cilíndrica, concentrica al pozo, de raio r y altura h, y que corta el cono de abatimiento en el punto P. Se tiene entonces :

$$Q = Av \quad (2)$$

$$v = k \frac{dh}{dr} \quad (5)$$

$$A = 2\pi rh \quad (6)$$

Sustituyendo (5) y (6) en (2), se tiene :

$$Q = 2\pi krh \frac{dh}{dr} \quad (7)$$

La ecuación (7) es la ecuación diferencial de la curva de abatimiento NPM y las coordenadas del punto P son las únicas variables.

Separando variables y aplicando el signo de integración definida, entre los límites  $P_1$  y  $P_2$ , se tiene:

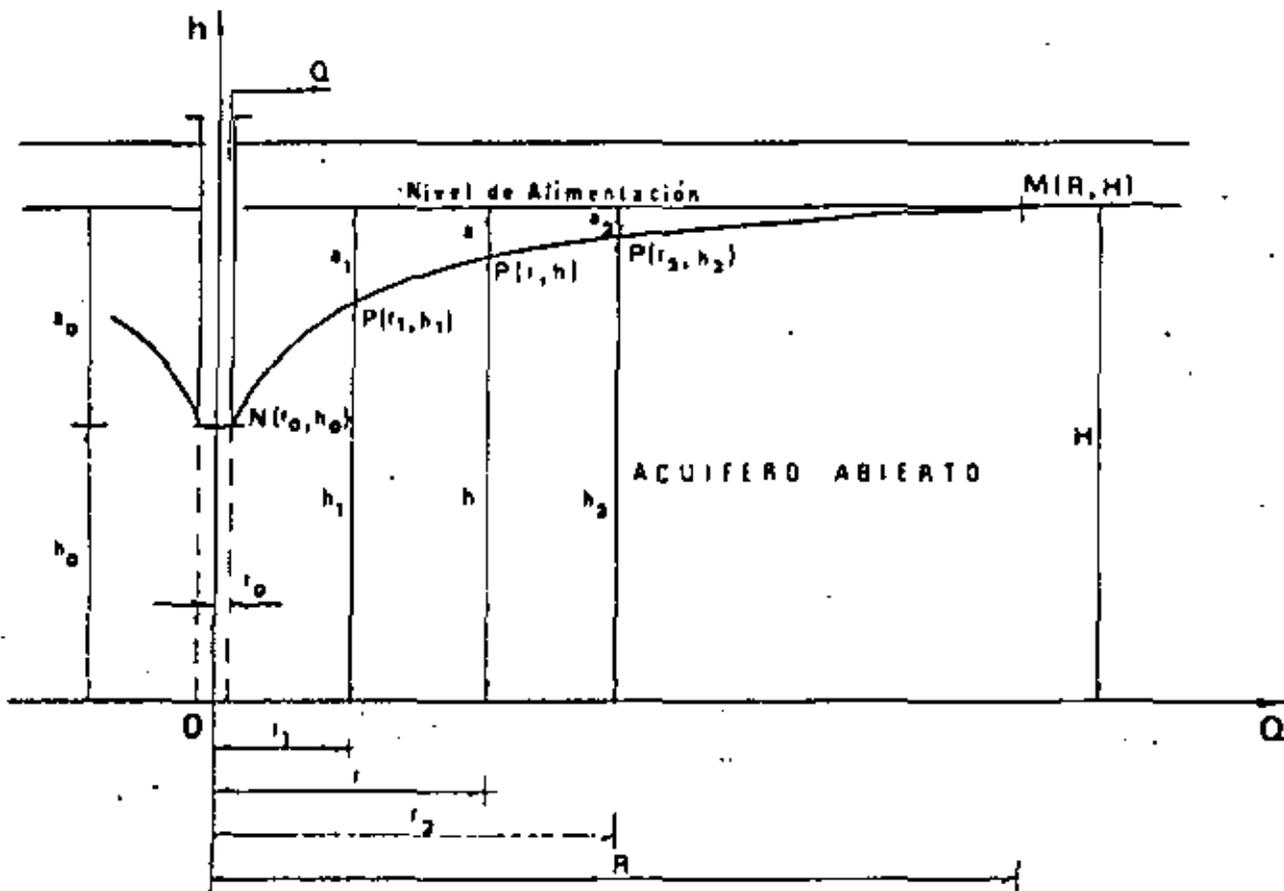


Lámina 3.1.1

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2k \int_{h_1}^{h_2} h dh \quad (8)$$

Efectuando la integración y aplicando límites, se tiene:

$$Q = \frac{k}{LR/r_1} (H_2^2 - H_1^2) \quad (9)$$

La ecuación (9) representa la curva de abatimiento del acuífero abierto, ó - curva de comportamiento del pozo, es una curva logarítmica y solo tiene sentido físico dentro de los límites reales, que son los puntos N y M.

Con esta ecuación se puede llegar a conocer, la curva de abatimiento del pozo el coeficiente de permeabilidad y el radio de influencia del pozo

### 3.1.2 Curva de Producción del Pozo

Para llegar al conocimiento de la curva de producción del pozo, es decir, para encontrar la relación que existe entre el gasto  $Q$  y el abatimiento dentro del pozo, conviene expresar la ecuación (9) en términos que nos acerquen a la solución del problema. Fijemos como límites de la ecuación los límites físicos del pozo por un lado y por el otro los límites del acuífero en producción. Apliquemos en la ecuación (9) las coordenadas de los puntos .

N ( $r_0, h_0$ ) y M (R,H), por lo que se tiene:

$$Q = \frac{k}{LR/r_0} (H^2 - h_0^2) \quad (10)$$

Donde:

R= radio de influencia

$r_0$ = radio del pozo

H= carga de alimentación

$h_0$ = carga dentro del pozo

La representación gráfica de la ecuación (15) se muestra en La Lámina - -

### 3.1.3 (a)

Las principales características de esta parábola son :

- 1.- El eje de la parábola coincide con el eje de las abscisas.
- 2.- El vertice de la parábola se localiza en el eje de las abscisas y sus coordenadas son  $V(KH^2, 0)$ .
- 3.- Las ramas de la parábola, se dirigen en sentido contrario al del eje de las abscisas.
- 4.- La rama de la parábola que representa a la curva de producción del pozo corta al eje de las ordenadas en el punto  $N(0, N)$ , que corresponde al punto de alimentación del acuífero.

### 3.1.3 Productividad del Pozo

La productividad del pozo podemos medirla con la capacidad específica, que por definición es la relación del incremento del gasto entre el incremento del abatimiento, es decir :

$$C = \frac{dQ}{da_0} \quad (16)$$

Para encontrar el valor de  $C$ , sustituimos en la ecuación (15) el valor de  $h_0$  que es:

$$h_0 = H - a_0 \quad (17)$$

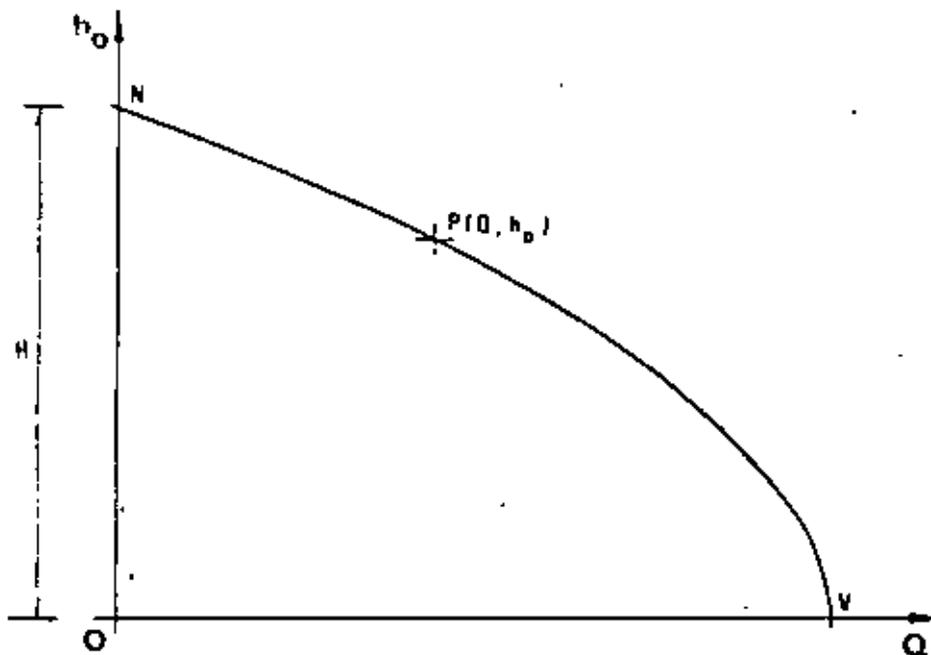
$$Q = KH^2 - K(H - a_0)^2 \quad (18)$$

Efectuando la derivación, se tiene:

$$\frac{dQ}{da_0} = 2K(H - a_0) = 2Kh_0 \quad (19)$$

De donde :

$$C = 2Kh_0 \quad (20)$$



CURVA DE PRODUCCION - ACUIFERO ABIERTO  
[a]

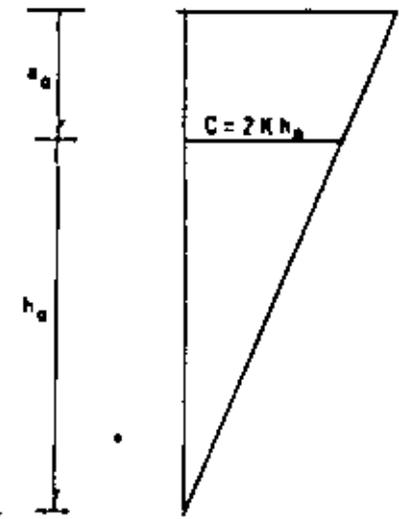


DIAGRAMA DE  
CAPACIDADES ESPECIFICAS  
[b]

Lamina 3.1.3

La capacidad específica varía linealmente con la carga dentro del pozo. Gráficamente queda representada por la Lamina 3.1.3 (b)

### 3.2 Acuífero Confinado

#### 3.2.1 Ecuación del Comportamiento del Pozo

La Lamina 3.2.1 representa un acuífero confinado en explotación, en donde originalmente el nivel de presiones era un plano horizontal que pasaba por el punto M, posteriormente al ser explotado el pozo con un gasto Q, el plano se deformó, produciéndose un cono de abatimiento de presiones como lo muestra la curva NPM.

El gasto Q que se está extrayendo del pozo, también está pasando por la superficie cilíndrica concéntrica al pozo, de radio r y altura Z, se tiene:

$$Q = Av \tag{2}$$

$$v = k \frac{dh}{dr} \tag{5}$$

$$A = 2\pi rZ \tag{21}$$

Sustituyendo (5) y (21) en (2), se tiene:

$$Q = 2\pi kZr \frac{dh}{dr} \tag{22}$$

La ecuación (22) es la ecuación diferencial de la curva de abatimiento de presiones NPM y las coordenadas del punto P son las variables.

Separando variables en la ecuación (22) y aplicando el signo de integración definida, entre los límites P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> se tiene:

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi kZ \int_{h_1}^{h_2} dh \tag{23}$$



Efectuando la integración y aplicando límites, se tiene:

$$Q = \frac{2\pi kZ}{Lr_2/r_1} (h_2 - h_1) \quad (24)$$

La ecuación (24) representa la curva de abatimiento de presiones o curva de abatimiento del pozo, en una curva logarítmica que solo tiene sentido físico dentro de los límites reales, que son los puntos N y M.

### 3.2.2 Curva de Producción del Pozo

Para encontrar la relación de  $Q$  y  $h_0$  o curva de producción del pozo, fijemos los límites de la ecuación con los físicos del pozo al igual que se procedió en el caso del acuífero abierto. Apliquemos en la ecuación (24) las coordenadas de los puntos N ( $r_0, h_0$ ) y M ( $R, H$ ), por lo que se tiene:

$$Q = \frac{2\pi kZ}{LR/r_0} (H - h_0) \quad (25)$$

Donde:

$Z$  = espesor del acuífero

$R$  = radio de influencia

$r_0$  = radio del pozo

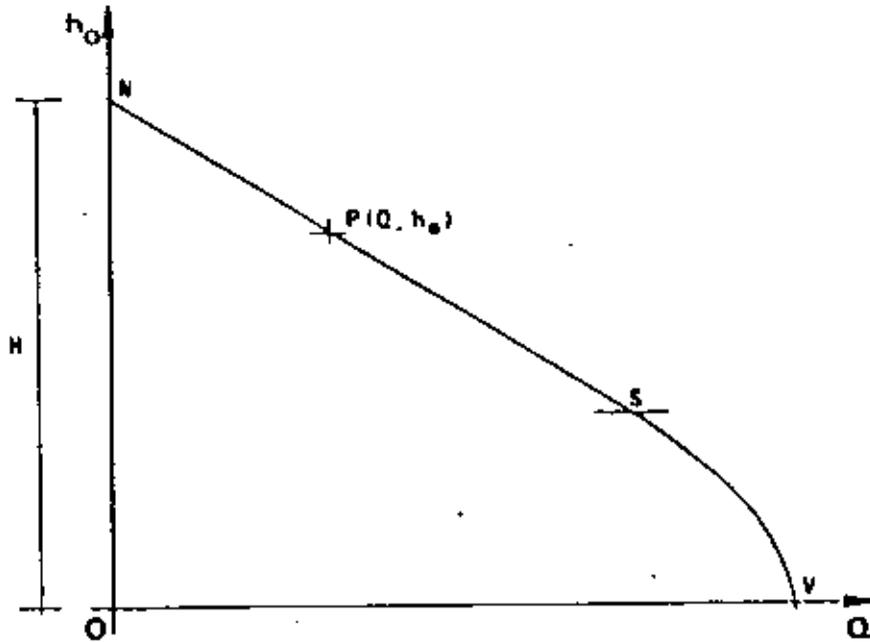
$H$  = carga de alimentación del acuífero

$h_0$  = carga dentro del pozo en explotación

Aplicando el mismo criterio que en el caso del acuífero abierto, sustituyendo el valor de  $K$  de la ecuación (12) en (25), se tiene:

$$Q = 2KZ (H - h_0) \quad (26)$$

La ecuación (26) tiene como variables a  $Q$  y  $h_0$  y es la ecuación de una recta, su representación gráfica se muestra en la Lámina 3.2.2 (a) y solo es válida dentro de los límites  $Z < h_0 < H$ , a partir del punto S es una parábola con vértice en V, lo cual será demostrado más adelante.



CURVA DE PRODUCCION. ACUIFERO CONFINADO

(a)

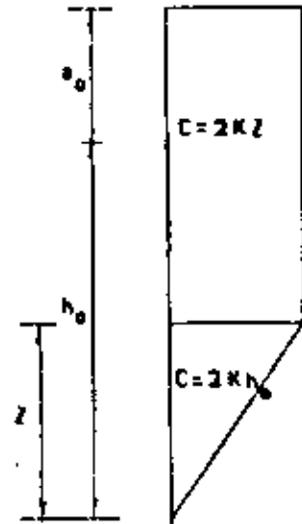


DIAGRAMA DE CAPACIDADES ESPECIFICAS

(b)

Lámina 3.2.2

### 3.2.3 Productividad del Pozo

La productividad del pozo la medimos con la capacidad específica, como en el caso del acuífero abierto, con la ecuación (16).

Sustituimos la ecuación (17) en la (26) y se tiene:

$$Q = 2KZa_0 \quad (27)$$

Efectuando la derivación, se tiene:

$$\frac{dQ}{da_0} = 2KZ \quad (28)$$

$$C = 2KZ \quad (29)$$

La capacidad específica es constante dentro de los límites  $Z$   $h_0$   $H$ . y dentro del acuífero va disminuyendo linealmente hasta llegar a cero, en la forma que lo muestra el diagrama de capacidades específicas de la Lámina 3.2.2 (b). Esto último se verá más adelante.

### 3.2.4 Variación de la Curva de Producción de un Acuífero Confinado con Relación al Espesor Productivo.

La ecuación (26) nos permite analizar como varía la curva de producción de un acuífero confinado en función del espesor  $Z$ .

$$Q = 2KZ (H - h_0) \quad (26)$$

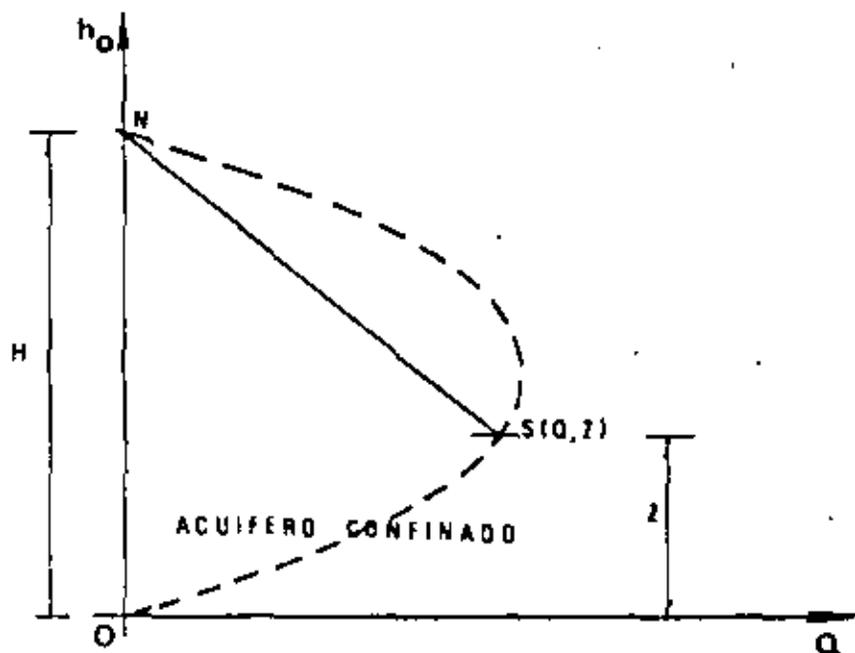
En esta ecuación son constantes  $K$  y  $H$  y quedan como variables  $Q$ ,  $Z$  y  $h_0$ . Como la curva de producción es una recta, analicemos el tramo de la recta del punto  $N$  al punto  $S$  donde se hace contacto con el techo del acuífero, ver Lámina 3.2.4.

En estas condiciones:

$$h_0 = Z \quad (27)$$

Sustituyendo (27) en (26) se tiene:

$$Q = 2K(HZ - Z^2) \quad (28)$$



VARIACION DE LA CURVA DE PRODUCCION  
EN FUNCION DEL ESPESOR "z"

Lámina 3.2.4

o tambien :

$$Q = 2K(Hh_0 - h_0^2) \quad (29)$$

La ecuación (29) es la ecuación de una parábola, en donde alcanza su valor máximo  $Q$ , de acuerdo a :

$$\frac{dQ}{dh_0} = 2K(H - 2h_0) \quad (30)$$

Cuando la ecuación (30) alcanza el valor cero,  $Q$  es máximo, por tanto:

$$2K(H - 2h_0) = 0 \quad (31)$$

$$h_0 = \frac{H}{2} \quad (32)$$

$$Q_{\max} = \frac{KH^2}{2} \quad (33)$$

Y el valor de  $Q$  es cero para

$$h_0 = 0 \quad (34)$$

$$h_0 = H \quad (35)$$

Entonces la parábola representada por la ecuación (29) pasa por los puntos N, S y O. y el gasto máximo se alcanza cuando el espesor del acuífero es igual a la mitad de la carga total de alimentación.

### 3.2.5 La Curva de Producción del Pozo en la Parte Correspondiente al Propio Acuífero.

Hasta aquí se ha visto el comportamiento de la curva de producción en la parte correspondiente al tramo recto, es decir, desde el nivel de alimentación y el techo del acuífero. Falta encontrar el comportamiento de la curva de producción dentro del acuífero.

Es de suponer que la curva de producción a partir del punto S de la Lamina 3.2.5 (a) deje de ser una recta y que su comportamiento sea parecido al de la curva de producción de acuífero abierto. Es decir cuando la carga  $h_0$  este entre los límites  $2 h_0 = 0$ , la curva de producción debe abandonar la recta NS y seguir una curva como SV.

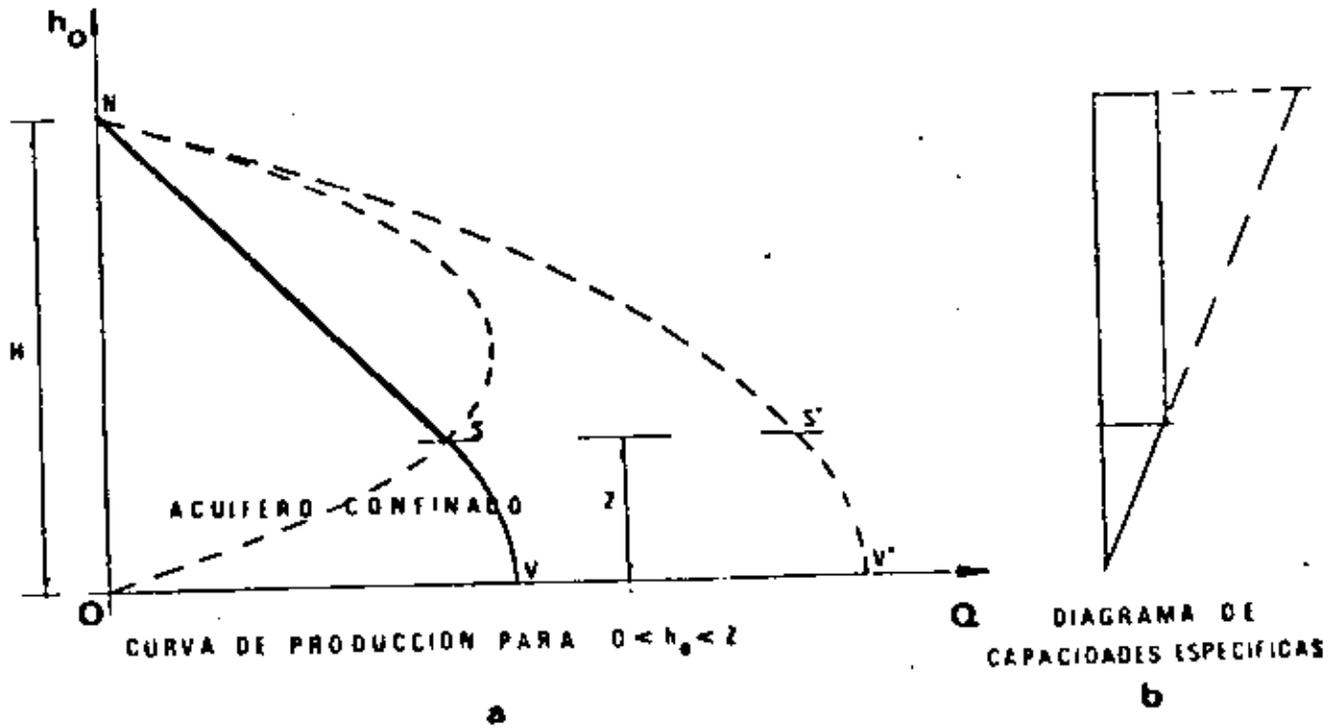


Lámina 3.2.5

Ademas, sabemos que cuando no hay confinamiento es decir, cuando el espesor del acuífero confinado sea igual a la carga total, la curva de producción debe ser la de un acuífero abierto y su comportamiento lo muestra la curva parabólica NS'V'.

Analicemos la variación de la capacidad específica, a partir de la parte recta de la curva de producción, es decir a partir de la ecuación (29).

Por definición capacidad específica es:

$$C_e = \frac{2KZ(H-Z)}{H-Z} \quad (36)$$

$$C = 2KZ \quad (37)$$

Pero  $Z=h_0$ , por lo que la ecuación (37) es igual a la (20)

$$C = 2Kh_0 \quad (20)$$

Se tiene entonces, que la capacidad específica de la recta en el punto S' de la Lamina 3.2.5 (a) es igual al de parabola en el punto S'. Y cuando el espesor del acuífero confinado llega a valer H la curva de producción es una parabola. Podemos afirmar que la curva de producción del pozo abajo del techo del acuífero confinado, se comporta como una parabola.

Utilizando las propiedades de la parabola se llega facilmente a la obtención de la curva de producción de un acuífero confinado valida para  $0 < h_0 < Z$ , Ver la Lamina 3.2.6 (a)

$$Q = 2KZ(H-Z) + KZ^2 - Kh_0^2 \quad (38)$$

La Lamina 3.2.6 (b) muestra el diagrama de capacidades específicas de un acuífero confinado.

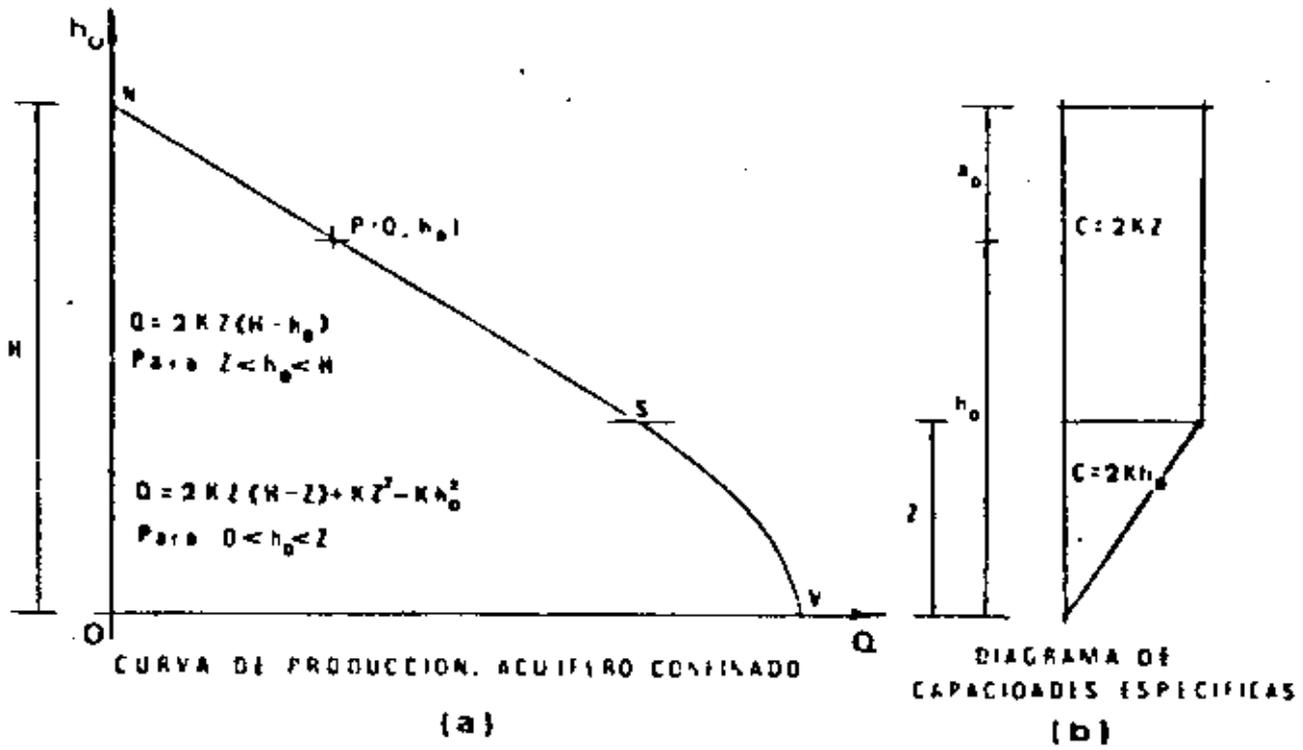


Lámina 3.2.6

### 3.3 Curvas de Producción y Diagramas de Capacidades Especificas de Acuíferos Intercalados.

Para poder conocer la curva de producción de los pozos con acuíferos intercalados, observese la Lámina 3.3.1 que muestra en primer y segundo lugar los casos típicos de acuíferos abierto y confinado respectivamente y al final el caso de dos acuíferos confinados a diferentes profundidades. Para facilitar la comprensión de lo que ocurre en este caso, se han hecho las siguientes consideraciones en los tres casos se trata de pozos con iguales características geométricas, tales como ; diámetro ; profundidades etc. etc.

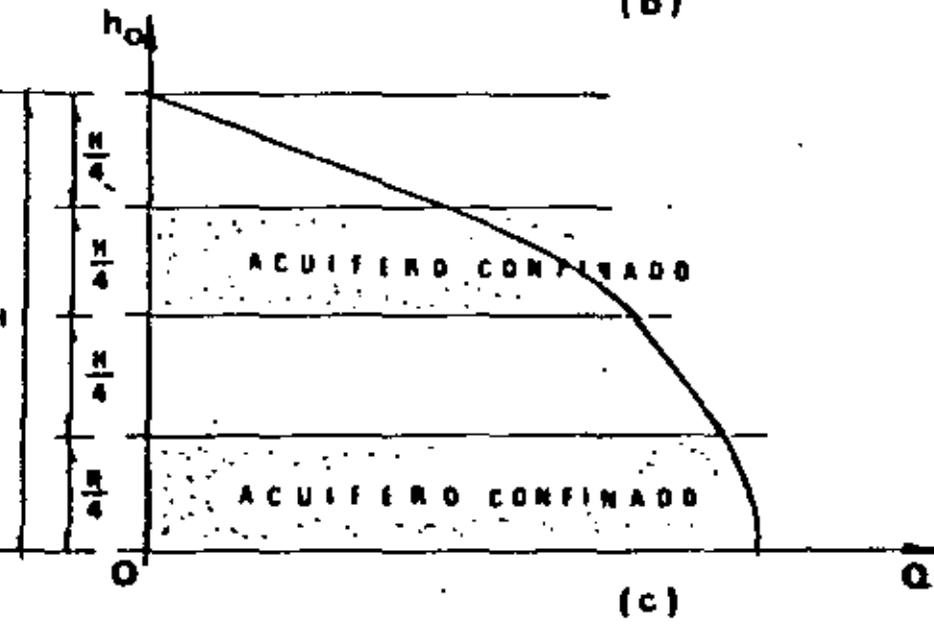
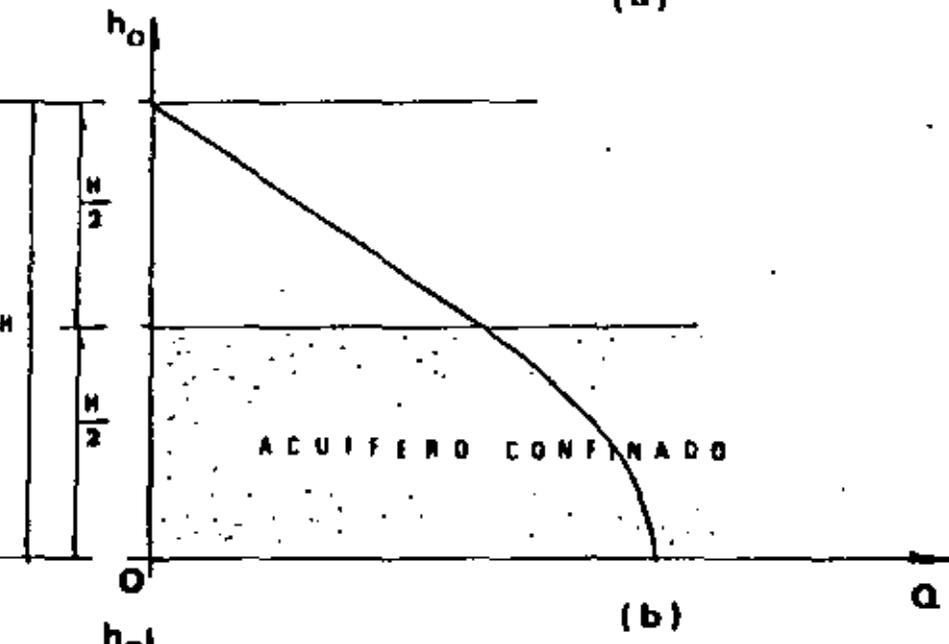
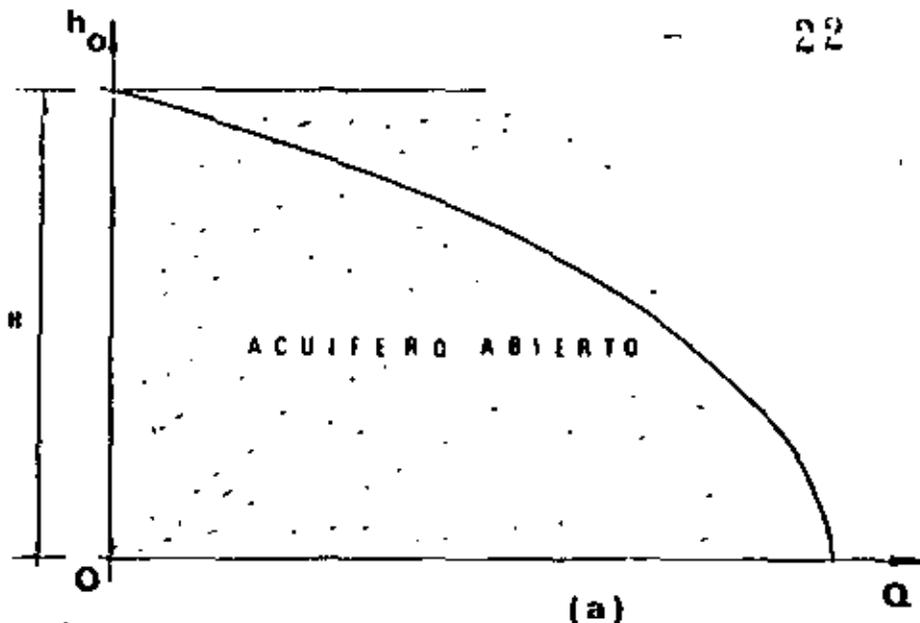
Y además todos los acuíferos tienen la misma permeabilidad.

Como puede observarse en la figura (c) de la Lámina 3.3.1 la curva de producción resultante de los acuíferos intercalados conserva semejanza con la de los casos típicos conocidos. Esto viene a demostrar que aún en los casos en que se trata de varios acuíferos localizados a diferentes profundidades, la curva de producción resultante conserva su tendencia de ser una parábola.

### 3.4 Modificación de la Curva de Producción por Pérdida de Fricción .

Las curvas de producción hasta aquí obtenidas tienen su apoyo fundamental en -- la Ley de Darcy, es decir se han obtenido bajo la suposición de que el régimen del flujo establecido a lo largo de todo el acuífero que afecta al pozo es laminar. Pero en la realidad no es así pues el régimen del flujo en la vecindad del pozo no respeta esta ley y se transforma en turbulento ; lo que origina que las pérdidas hidráulicas sean mayores que las que se tienen cuando el régimen es laminar. Además existen otro tipo de pérdidas hidráulicas en la vecindad del pozo, cuando el agua del acuífero atraviesa el cedazo del pozo y puede haber -- otras pérdidas más por las fallas que se tienen a consecuencia de la construcción del pozo como pueden ser la invasión de los lodos en el acuífero y cambios en la estructura de las formaciones atravesadas que pueden afectar negativamente la permeabilidad de los acuíferos.

Lo anterior obliga a que las curvas de producción obtenidas a partir de la teoría sean modificadas como se muestra en la Lámina 3.4.1 . En donde la curva de producción NV se ve modificada por la curva NV' .



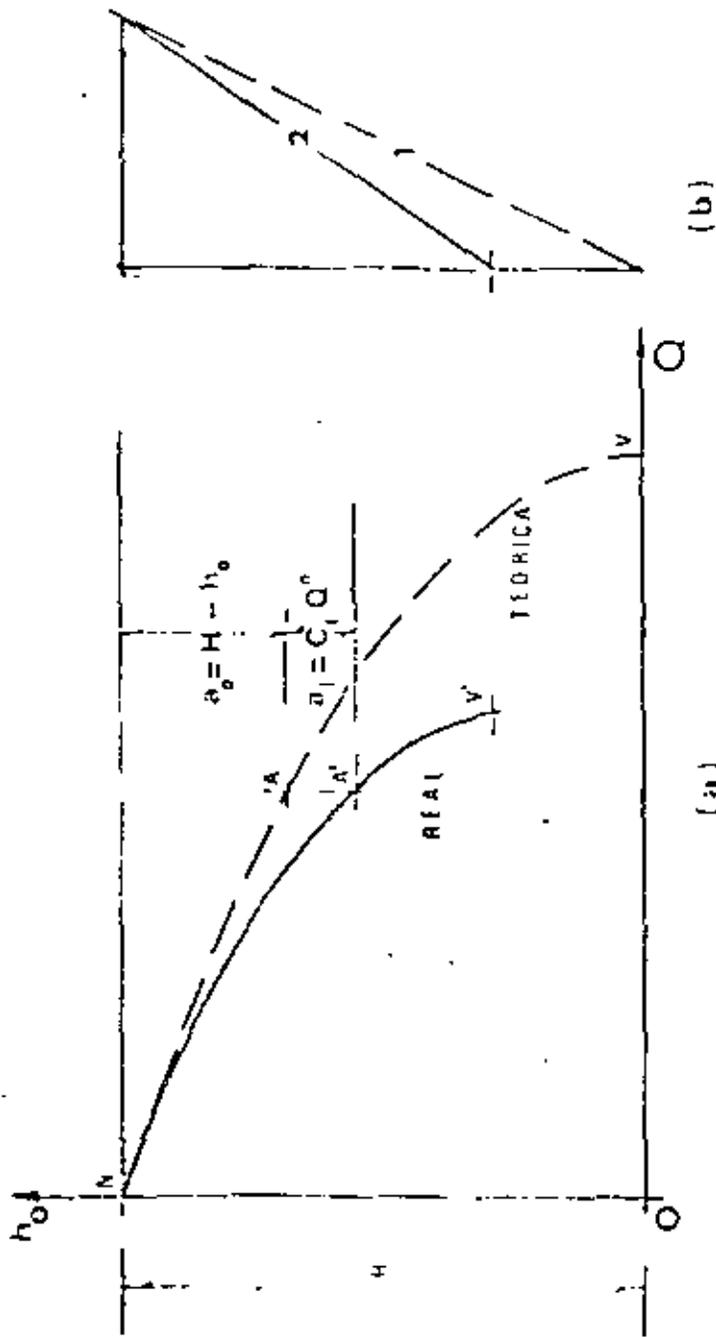


Lámina 3.4.1

Para facilitar la comprensión de las curvas de producción obtenidas a partir de la teoría pura, no habíamos considerado el hecho importante de que físicamente la cantidad de agua que entra al pozo cuando este se encuentra a máxima producción físicamente necesita una longitud de cedazo que permita el paso del caudal máximo. Esta longitud de la zona de producción es considerable. Es decir, el gasto máximo que se puede obtener del acuífero no es cuando el nivel de explotación alcanza el piso del mismo o el fondo del pozo, sino mucho antes.

En teoría el gasto máximo, se obtiene cuando el nivel de explotación alcanza el vértice de la parábola, pero en la realidad el gasto máximo se obtiene mucho antes.

### 3.5 CURVAS DE PRODUCCIÓN Y DIAGRAMAS DE CAPACIDADES ESPECÍFICAS DE ACUIFEROS-REALES.

Cuando al explotar un pozo es posible agotarlo o cuando menos puede mostrar síntomas de agotamiento, se observa con claridad que la curva de producción tiende a ser una parábola. Esto ocurre con los pozos en general, no solo en los de acuífero abierto sino en los de acuífero confinado; inclusive en los casos de acuíferos combinados e intercalados.

Como dato curioso, ocurre lo mismo en los pozos petroleros donde se observa esta tendencia, con la variante de que la curva de producción se basa en cargas de presión y no en cargas hidráulicas.

Claro está que en la realidad las curvas de producción no son parábolas perfectas, pero su tendencia es la de ser curvas paraboloides. Lo cual se observa en la Lámina 3.4. 1.

Esta circunstancia es interesante, por que el comportamiento de las capacidades específicas tiende al valor nulo y su variación no se aleja mucho de una recta, lo cual permite conocer el comportamiento del pozo a partir de esta variación.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE EDUCACION CON  
TINUA

\* PERFORACION DE POZOS PARA AGUA  
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

= \* ■

ING. EDUARDO MARTINEZ GONZALEZ

Abril 1984 MEXICO

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Para poder confirmar, si la elección que efectuamos relativa al Equipo y Herramienta de Perforación para POZOS PROFUNDOS, fué la adecuada, necesitamos recurrir a los CONTROLES DE COSTOS de las actividades desempeñadas, de tal forma que sean ellos los que nos indiquen si la PRODUCCION obtenida, es mejor o ínfima a la proyectada; Esto es, que los PRECIOS UNITARIOS que sirvieron de base al Presupuesto Original, fueron los adecuados.

Con el fin de Evaluar el precio de Venta de nuestro Trabajo, enfocaremos de manera general los CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA PODER ANALIZAR CUALQUIER PRECIO UNITARIO.

LA SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO, A EFECTO DE DEJAR PERFECTAMENTE DEFINIDO TODOS Y CADA UNO DE LOS CARGOS QUE CONSTITUYEN UN PRECIO UNITARIO, Y, EVITAR DIFERENTES INTERPRETACIONES A LOS MISMOS, PUBLICO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, EL 7 DE JULIO DE 1983, LOS LINEAMIENTOS PARA LA INTEGRACION DE LOS PRECIOS UNITARIOS, copia de los cuales estamos anexando.

En el análisis de un PRECIO UNITARIO, intervienen los Cargos que a continuación se mencionan :

1. CARGOS DIRECTOS.-
  - 1.a. MANO DE OBRA
  - 1.b. MATERIALES
  - 1.c. MAQUINARIA
  - 1.d. HERRAMIENTA DE MANO

La suma de los importes a estos cuatro Cargos, nos dá como resultado el COSTO DIRECTO del Concepto analizado.

1.a. - CARGO DIRECTO POR MANO DE OBRA

Este Cargo es el resultado de dividir el Importe de los Salarios del Personal (afectado del Factor de Mano de Obra ) entre el rendimiento del mismo personal por unidad a tiempo.

FACTOR DE MANO DE OBRA :

DIAS SEÑALADOS POR LA LEY FEDERAL DEL TRABAJO NO LABORABLES Y SUFRAGADOS POR LA EMPRESA.

- |    |                                 |
|----|---------------------------------|
| 1° | ENERO                           |
| 21 | MARZO                           |
| 1° | MAYO                            |
| 16 | SEPTIEMBRE ( 0.16 días por año) |
| 20 | NOVIEMBRE                       |
| 1° | DICIEMBRE de cada 6 años        |
| 25 | DICIEMBRE                       |

6 DIAS DE VACACIONES MAS PRIMA DEL 25% (7.5 dias por año)  
52 DIAS DE DOMINGO AL AÑO

65.66 DIAS /AÑO

4.00 OTRAS FESTIVIDADES ( 3 y 10 de mayo, 2 de Nov. y 12 de Dic)

SUMA 69.66

Por concepto de Cuota Patronal al I.M.S.S., la Empresa tiene que cubrir aproximadamente el 20% del Salario del Trabajador.

$$\text{FACTOR DE MANO DE OBRA} = \frac{365}{365 - 69.66} \times 1.20 = 1.48$$

### 1.b. CARGO DIRECTO POR MATERIALES

Este Cargo se obtiene de dividir el importe de los materiales de consumo entre la producción en las mismas unidades del Precio Unitario analizado.

### 1.c. CARGO DIRECTO POR MAQUINARIA

Constituido por los Cargos : FIJOS, COMBUSTIBLE, LUBRICANTES Y LIANTAS.-

A continuación definiremos el Concepto de :- CARGOS FIJOS, formado a su vez por los Cargos :

$$1.c.1. \text{ CARGO POR DEPRECIACION} : D = (V_a - V_r) / V_e$$

$$1.c.1.2. \text{ CARGO POR INVERSION} : I = (V_a + V_r) i / 2 H_a$$

$$1.c.1.3. \text{ CARGO POR SEGUROS} : S = (V_a + V_r) s / 2 H_a$$

$$1.c.1.4. \text{ CARGO POR MANTENIMIENTO} : T = Q.D.$$

En donde :  $V_a$  = VALOR DE ADQUISICION DE LA MAQUINARIA NUEVA  
 $V_r$  = VALOR DE RESCATE DE LA MAQUINARIA  
 $V_e$  = VIDA ECONOMICA DE LA MAQUINARIA EN HORAS EFECTIVAS  
 $I$  = TASA DE INTERES ANUAL.  
 $H_a$  = HORAS EFECTIVAS POR AÑO  
 $S$  = PRIMA ANUAL DE SEGUROS ( 0.006)  
 $Q$  = FACTOR DE MANTENIMIENTO ( 0.80)

Definamos el Concepto CARGO POR COMBUSTIBLE de la siguiente manera:

$$1.c.2.1. \text{ GASOLINA} = 0.2271. \text{ HP. Fog. } \$ \text{ Litro}$$

$$1.c.2.2. \text{ DIESEL} = 0.1514. \text{ HR. Fod. } \$ \text{ Litro}$$

En donde : HP, Potencia N6minal efectiva para Trabajo Continuo  
 FOG - Factor de operaci6n para motores a gasolina ( 0.70)  
 FOD - Factor de operaci6n para motores a Diesel ( 0.80)

En relaci6n al CARGO POR LUBRICANTES tenemos que :

$$1.c.3.1. \text{ GASOLINA} = (0.0030 \times \text{HP} \times 0.70 + \frac{C}{T}) \$ \text{ Litro}$$

$$1.c.3.2. \text{ DIESEL} = (0.0035 \times \text{HP} \times 0.80 + \frac{C}{T}) \$ \text{ Litro}$$

En donde :

C= Capacidad del Carter en Litro

T= Horas entre cambio de Aceite

Con ésto , concluimos lo relativo al Costo directo, veamos ahora el Cargo por Costos Indirectos.

## 2. CARGOS INDIRECTOS.-

El análisis de estos Cargos son múltiples, ya que dependen de los Sistemas Operativos de cada Empresa, además de que varios de los Conceptos que lo constituyen, deben ser tomados de la Estadística de cada Institución, por lo que practicamente cada una de ellas puede tener un porcentaje de Indirectos, diferente a los demás; sin embargo y para final de esta exposición, procederemos a desglosar el porcentaje de Indirectos aceptados por varias Dependencias :

	%
a). TRASLADO DE MAQUINARIA Y CAMPAMENTO	3.00
b). ADMINISTRACION DE CAMPO	6.00
c). CONSTRUCCION DE CAMINOS Y CONSERVACION	3.00
d). TRANSPORTE DE PERSONAL Y EQUIPO	2.00
e). BONIFICACIONES AL PERSONAL	2.00
f). FINANCIAMIENTO Y PIANZAS	7.00
g). ADMINISTRACION CENTRAL	5.00
h). IMPUESTOS	6.44
i). UTILIDAD	10.00
	<hr/>
	44.44 %

Pasaremos ahora a aplicar en un ejemplo práctico, lo anteriormente señalado, obteniendo el costo directo del horario de un Equipo completo de Perforación, de ahí, y como posteriormente señalaremos, es posible analizar cualquier PRECIO UNITARIO relativo a esta actividad.

### MAQUINARIA Y EQUIPO BASICO

- a). PERFORADORA ROTARIA Tipo 1500 con Bomba de lados 5½ x 6 , montada sobre la misma plataforma, Motor Diesel de 145 HP.
- b). CAMION PIPA para 8000 lts. con Motor de Gasolina de 150 HP. ---  
Va = \$ 2'900 000.00 , Vr = 20% Va; Ve=8000 Hrs. : ----  
C = 10 lts.
- c). MOTOSOLDADORA de 300 Amperes con Motor de Gasolina de 60 HP  
Va = \$ 860 000.00, Vr = 20% Va. Ve= 3000 Hrs., C= 5 Lts.

## DETERMINACION DEL COSTO HORARIA:

I. CARGOS FIJOS ( Perforadora ) .-

$$D = (V_a - V_r) / V_e$$

$$D = (\$ 58'000 000.00 - 0.20 \times \$ 58'000 000.00) / 6 \text{ años} \times 2000 \text{ Hrs./Año}$$

$$D = \$ 3 866.67/\text{Hra.}$$

$$I = (V_a + V_r) i / 2 \text{ Ha.}$$

$$I = (\$ 58'000 000.00 + 0.20 \times \$ 58'000 000.00) 0.50 / 2 \times 2000 \text{ Hrs.}$$

$$I = \$ 8 700.00 / \text{Hra.}$$

$$S = (V_a + V_r) s / 2 \text{ Ha.}$$

$$S = (\$ 69'600 000.00) 0.006 / 4000 \text{ Hras.}$$

$$S = \$ 104.40/\text{Hora}$$

$$T = Q.D. = 0.80 \times \$ 3 866.67 = \$ 3 093.34 / \text{Hora}$$

$$\text{Suman los CARGOS FIJOS : } \$ 15 764.41/\text{Hora.}$$

II. CARGO POR CONSUMOS ( PERFORADORA ) .-

$$\text{Combustible} = 0.1514 \text{ HP. FOD} \times \$ \text{ Litro Diesel}$$

$$= 0.1514 \times 145 \times 0.80 \times \$ 19.00 = \$ 333.69/\text{Hora}$$

$$\text{Lubricantes} = \left( 0.0035 \times \text{HP} \times 0.80 + \frac{C}{T} \right) \$ \text{ Litro Aceite}$$

$$= \left( 0.0035 \times 145 \times 0.80 + \frac{28}{100} \right) \$ 140.00 = \$ 96.04/\text{ Hora}$$

$$\text{Suma del CARGO POR CONSUMOS : } \$ 429.73/\text{Hora}$$

III. CARGO POR OPERACION .-

Plantilla del Personal	Salario Diario
1 Jefe de Pozo	\$ 2 000.00
2 Perforistas	2 800.00
1 Soldador	1 200.00
1 Chofer	1 200.00
4 Ayudantes	3 000.00
	\$ 10 200.00

$$\text{Cargo por Operación : } \$ 10 200.00 \times \text{F.M.O.} \times 365 \text{ días}/2000\text{Hrs.}$$

$$\text{Cargo por operación : } \$ 10 200.00 \times 1.48 \times 365/2000 = \$ 2 755.02/\text{Hra.}$$

$$\text{Suman los CARGOS DE LA PERFORADORA : } \$ 18 949.16/\text{Hra.}$$

En cuanto al análisis del Equipo Auxiliar ( Inciso b y c) para abreviar la --  
Exposición sumemos sus componentes :

## I. CARGOS FIJOS ( Equipo Auxiliar)

$$D = (\$ 3'760\ 000.00 - 0.20 \times \$ 3'760\ 000.00)/8000 = \$ 376.00/\text{Hora}$$

$$I = ( 3'760\ 000.00 + 0.20 \times 3'760\ 000.00)0.50/4000 = \$ 564.00 /\text{Hora}$$

$$S = ( 3'760\ 000.00 + 0.20 \times 3'760\ 000.00)0.006/4000 = \$ 6.77/\text{Hora}$$

$$T = 0.80 \times 376.00 = \$ 300.80/ \text{ Hora}$$

Suman los CARGOS FIJOS : \$ 1 247.57/Hora

## II. CARGO POR CONSUMOS ( Equipo Auxiliar)

$$\text{Combustible} = 0.2271 \times 210 \times 0.70 \times \$ 30.00 = \$ 1\ 001.51/\text{Hora}$$

$$\text{Lubricantes} = (0.0030 \times 210 \times 0.70 + \frac{15}{100}) \$ 160.00 = \$ 94.56/\text{Hora}$$

Suma el CARGO POR CONSUMOS : \$ 1 096.07/Hora

suma los CARGOS DEL EQUIPO AUXILIAR : \$ 2 343.64/Hora

Factor de Incidencia = 0.65

Importe por Equipo Auxiliar =  $0.65 \times \$ 2\ 343.64 = \$ 1\ 523.37/\text{Hora}$

Costo directo de MAQUINARIA Y EQUIPO \$ 20 472.53/Hora

Analicemos ahora el PRECIO UNITARIO DEL CONCEPTO : -----  
PERFORACION EN 12" DE DIAMETRO EN MATERIAL CLASE III POR METRO LINEAL.

AVANCE PROMEDIO = 0.60 Mts./Hora

## I. CARGO POR MAQUINARIA Y EQUIPO :

$$\$ 20\ 472.53/0.60 = \$ 34\ 120.88/\text{Mtro.}$$

## II. CARGO POR BARRERA.-

a). Tricónica de 12" Ø con insertor de Carburo de Tungsteno

$$\$ 880\ 000.00/200\ \text{M} = \$ 4\ 400.00/\text{M}$$

$$\text{COSTO DIRECTO} \quad \underline{\underline{\$ 38\ 520.88/\text{M}}}$$

$$\text{más } 44.44\% \text{ de Indirectos y Utilidad} \quad \$ 17\ 118.68/\text{M}$$

$$\text{PRECIO UNITARIO} \quad \$ \underline{\underline{\$ 55\ 639.56/\text{M}}}$$

Del ejemplo así presentado, podemos decir que está analizado en una --  
forma generalmente aprobada y aceptada por los ANALISTAS DE PRECIOS UNI-  
TARIOS, sin embargo hay Factores como el de la Tasa de Interés anual, ---  
Valor de Adquisición, Horas de vida útil, principalmente que están sujetos  
a la apreciación de los analistas, por lo que es básico, fundamentar los -  
argumentos con estadísticas, exponer lo y sobre todo proporcionar para ----

evitar caer en errores que obliguen a no llevar a feliz término los TRABAJOS COMPROMETIDOS.

Con esto damos por concluido lo que podemos llamar el análisis tradicional de Precios Unitarios, y que nos sirven para la elaboración de Presupuestos para la Construcción de Obras, una vez aprobados los mismos, y debido a los fuertes Incrementos en los Precios de todos los Conceptos que integran los Costos de la Construcción, los Precios Unitarios deben actualizarse constantemente, situación para lo cual -- desde hace aproximadamente ocho años, las Dependencias Federales, han aceptado que cada vez que surja un incremento de precios Unitarios mayor al 5%, dichos Precios deberán de modificarse en la misma proporción, para lo cual cada Dependencia y en un afán de ser más expeditos en la obtención de dichos incrementos, elaboraron una serie de Fórmulas de Escalación para cada uno de los Tipos de Trabajos que contratan, sin embargo debido a lo dinámico que actualmente son los incrementos de Precios, continuamente se tienen que modificar dichas Fórmulas de Escalación, y cuyos principios a continuación señalamos:

$$Rt = \left[ C1 \left( \frac{Rcf}{100} + 1 \right) + C2 \left( \frac{Rs}{100} + 1 \right) + C3 \left( \frac{Rcl}{100} + 1 \right) + C4 \left( \frac{Rmh}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

En donde : Rt = Factor de incremento o actualización  
 C1 = Componente de costos por cargos fijos  
 C2 = Componente de costos por salarios  
 C3 = Componente de costos por combustibles y lubricantes  
 C4 = Componente de costos por materiales y herramienta  
 Rcf = Incremento de costo relativo a cargos fijos  
 Rs = Incremento de costo relativo a salarios  
 Rcl = Incremento de costo relativo a combustibles y lubricantes  
 Rmh = Incremento de costo relativo a materiales y herramientas

Se debe cumplir que : C1 + C2 + C3 + C4 = 100

El valor ó peso de los factores "C" dependerán de la importancia relativa de los diferentes elementos de insumos de la Construcción, en la magnitud que estos hayan intervenido durante el período que se pretenda actualizar.

Ejemplo :

Para un Contrato obtenido mediante concurso de Obra Pública el 10. de enero de 1975; relativo a la perforación de pozos profundos para suministro de agua potable para riego agrícola, obtener el factor de incremento al 10. de enero de 1976.

- 1.- CARGOS FIJOS : De datos de concurso el costo del equipo fué de \$ 8'193 199.20, actualizando precios al 10. de enero de 1976 se tiene un costo para el mismo equipo de \$ 10'348 829.91.  
 por lo que Rcf = \$ 10'348 829.91 / \$ 8'193 199.20 = 1.2631 = 26.31 %
- 2.- SALRIOS : El índice de salarios se tomó de la publicación: Comisión Nacional de los Salarios Mínimos, el cual para el año de 1975 era de : \$ 47.10 y a partir del 10. de enero de 1976, era de \$ 58.20  
 Rs = \$ 58.20 / \$ 47.10 = 1.2357 = 23.57%
- 3.- COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES : No hubo incrementos  
 Rcl = 0

- 4.- MATERIALES Y HERRAMIENTAS : Los índices de incremento se tomaron de la -  
Publicación : INDICADORES ECONOMICOS, editada  
por el BANCO DE MEXICO, S.A.

Del renglón de Materiales para Construcción tenemos :

Enero 1975 = 299, 3

Enero 1976 = 354, 3

$$Rmh = 354.3 / 299.3 = 1.1837 = 18.37\%$$

Fórmula de escalación aprobada para este tipo de trabajos :

$$Rt = \left[ 73 \left( \frac{Rcf}{100} + 1 \right) + 12 \left( \frac{Rs}{100} + 1 \right) + 5 \left( \frac{Rel}{100} + 1 \right) + 10 \left( \frac{Rmh}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

Sustituyendo valores tenemos :

$$Rt = \left[ 73 \left( \frac{26.31}{100} + 1 \right) + 12 \left( \frac{23.57}{100} + 1 \right) + 5 \left( \frac{0}{100} + 1 \right) + 10 \left( \frac{18.37}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

$$Rt = ( 19.21 + 73 + 2.83 + 12 + 5 + 1.84 + 10 ) - 100 = 123.88 - 100$$

$$Rt = 23.88\%$$

Como puede observarse, este tipo de Análisis era de rápida respuesta, pero por las razones expuestas, actualmente para obtener Incremento en nuestros precios Unitarios, hay que proceder a reanalizar los mismos, con el criterio indicado - en la primera parte de esta Exposición.

FINALMENTE LES INDICARE QUE EN CUALQUIER ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION QUE DESEMPEÑEMOS NOSOTROS LOS INGENIEROS, Y, DEBIDO A QUE ES CONDICION PRESENTAR NUESTROS ANALISIS DE COSTOS PARA OBTENER LOS CONTRATOS SOLICITADOS, LA UNICA MANERA DE - NO SUPRIRDESCALABROS, ES EL SEGUIMIENTO DISCIPLINADO DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION SUPUESTO QUE HA QUEDADO PLASMADO EN LOS PRESUPUESTOS , YA QUE LA COBERTURA PARA OBSERVAR DESVIACIONES, COMO LO HEMOS VISTO ES MUY RELATIVA...

Abril 84 México  
ING. EDUARDO MARTINEZ G.

\* jlb

## 5.1. GENERALIDADES.

5.1.1. Los precios unitarios que forman parte de un contrato, convenio o acuerdo para la ejecución de obras públicas, deberán integrarse tomando en cuenta los criterios que se señalan en esta Sección y lo establecido en la Ley de Obras Públicas y su Reglamento.

5.1.2. La integración de los precios unitarios para un trabajo determinado, deberá guardar concordancia con los procedimientos constructivos, con los programas de trabajo, de utilización de maquinaria y equipo, con los costos de los materiales, en la época y en la zona y demás recursos necesarios, todo ello de acuerdo con las normas y especificaciones de construcción de "La Dependencia" o "Entidad".

5.1.3. La enumeración de los cargos mencionados en estas reglas y lineamientos generales para la integración de precios unitarios, tiene por objeto cubrir en la forma más amplia posible, la lista de los cargos correspondientes a los recursos necesarios para realizar cada concepto de trabajo. Sin embargo, solo se deberá considerar los que sean procedentes y en la medida en que sean aplicables.

5.1.4. Los precios deberán expresarse siempre en moneda nacional y las unidades de medición de los conceptos de trabajo corresponderán al sistema métrico decimal; cuando por las características de los trabajos y a juicio de "La Dependencia" o "Entidad" se requiera utilizar otras unidades de medidas tales como: pieza, lote, salida, mueble u otras similares, estas unidades podrán ser empleadas.

5.1.5. El análisis, cálculo e integración de los precios unitarios de conceptos de trabajo no previstos en el catálogo original que sirvió de base para la adjudicación y contratación de la obra pública, para los cuales no existen elementos contenidos en los conceptos analizados y no es factible determinar los precios unitarios con los datos básicos de costo de los precios unitarios establecidos; o cuando "El Contratista" y "La Dependencia" o "Entidad" no tengan antecedentes de conceptos similares ni cuenten con datos de costo, suficientes para su integración, el costo directo deberá analizarse con base en los costos observados que intervienen por concepto de materiales, mano de obra y equipo.

Los indirectos y la utilidad deberán determinarse de común acuerdo entre "El Contratista" y "La Dependencia" o "Entidad" sin que exceda el porcentaje considerado en los análisis de la propuesta original.

## 5.2. DEFINICION DE TERMINOS.

Para los propósitos de estas reglas y lineamientos señalados a continuación y a fin de precisar el significado convencional de algunos tér-

minos en ellas empleados, se establecen las siguientes definiciones.

### 5.2.1. NORMA DE OBRA PUBLICA.

Conjunto de disposiciones y requisitos generales establecidos por las Dependencias o Entidades que deben aplicarse para la realización de estudios, proyectos, ejecución y equipamiento de las obras, la puesta en servicio, su conservación o mantenimiento y la supervisión de esos trabajos, comprendiendo la medición y la base de pago de los conceptos de trabajo.

### 5.2.2. ESPECIFICACION.

Conjunto de disposiciones, requisitos e instrucciones particulares que modifican, adicionan o substituyen a las Normas correspondientes y que deben aplicarse ya sea para el estudio, para el proyecto y/o para la ejecución y equipamiento de una obra determinada, la puesta en servicio, su conservación o mantenimiento y la supervisión de esos trabajos. En lo que se oponga a las Normas, las Especificaciones prevalecerán.

### 5.2.3. CONCEPTO DE TRABAJO.

Conjunto de operaciones y materiales que, de acuerdo con las Normas y Especificaciones respectivas, integran cada una de las partes en que se dividen convencionalmente los estudios y proyectos; la ejecución y equipamiento de las obras, la puesta en servicio, su conservación o mantenimiento y la supervisión de esos trabajos con fines de medición y pago.

### 5.2.4. UNIDAD DE MEDIDA.

La que se usa convencionalmente para cuantificar cada concepto de trabajo para fines de medición y pago.

### 5.2.5. PRECIO UNITARIO.

Importe total por unidad de medida de cada concepto de trabajo.

### 5.2.6. ESTIMACION.

Valuación de los trabajos ejecutados en determinado periodo, aplicando los precios unitarios de los conceptos de trabajo pactados durante dicho periodo o el porcentaje de precio alzado pactado correspondiente al avance de cada unidad de obra o de la obra. Por extensión, el documento en el que se asignan las valuaciones antes mencionadas, para efecto de pago.

### 5.2.7. LIQUIDACION.

Estimación final en la cual se ajusta el pago total de los trabajos ejecutados en los términos del contrato.

9

### 5.3. CARGOS QUE INTEGRAN UN PRECIO UNITARIO.

5.3.1. El precio unitario se integra sumando todos los cargos directos e indirectos correspondientes al concepto de trabajo, el cargo por la utilidad del contratista y aquellos cargos adicionales estipulados contractualmente.

5.3.2. Para efectos de estas reglas se entenderá como:

**CARGOS DIRECTOS.** Son los cargos aplicables al concepto de trabajo que se derivan de las erogaciones por mano de obra, materiales, maquinaria, herramienta, instalaciones, y por patentes en su caso, efectuadas exclusivamente para realizar dicho concepto de trabajo.

**CARGOS INDIRECTOS.** Son los gastos de carácter general no incluidos en los cargos en que deba incurrir "El Contratista" para la ejecución de los trabajos y que se distribuyen en proporción a ellos para integrar el precio unitario.

**CARGOS POR UTILIDAD.** Es la ganancia que debe percibir "El Contratista" por la ejecución del concepto de trabajo.

**CARGOS ADICIONALES.** Son las erogaciones que debe realizar "El Contratista", por estar estipuladas en el contrato, convenio o acuerdo, como obligaciones adicionales, así como los impuestos y derechos locales que se causen con motivo de la ejecución de los trabajos y que no forman parte de los cargos directos, de los indirectos, ni de la utilidad.

### 5.4. CARGOS DIRECTOS.

5.4.1. **CARGO DIRECTO POR MANO DE OBRA.** Es el que se deriva de las erogaciones que hace "El Contratista", por el pago de salarios al personal que interviene exclusiva y directamente en la ejecución del concepto de trabajo de que se trate, incluyendo al cabo o primer mando. No se considerarán dentro de este cargo las percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia, que corresponden a los cargos indirectos.

El cargo de mano de obra "Mo" se obtendrá de la ecuación:

$$Mo = \frac{S}{R}$$

en la cual:

"S" representa los salarios del personal que interviene en la ejecución del concepto de trabajo por unidad de tiempo. Incluirá todos los cargos y prestaciones derivados de la Ley Federal

del Trabajo, de los Contratos de Trabajo en vigor y en su caso de la Ley del Seguro Social.

"R" representa el rendimiento, es decir, el trabajo que desarrolla el personal por unidad de tiempo, medido en la misma unidad utilizada al valorar "S".

5.4.2. **CARGO DIRECTO POR MATERIALES.** Es el correspondiente a las erogaciones que hace "El Contratista" para adquirir o producir todos los materiales necesarios para la correcta ejecución del concepto de trabajo, que cumpla con las normas de construcción y especificaciones de "La Dependencia" o "Entidad", con excepción de los considerados en los cargos por maquinaria. Los materiales que se usen podrían ser permanentes o temporales, los primeros son los que se incorporan y forman parte de la obra; los segundos son los que se consumen en uno o varios usos y no pasan a formar parte integrante de la obra.

El cargo unitario por concepto de materiales "M" se obtendrá de la ecuación:

$$M = Pm \cdot C$$

en la cual:

"Pm" representa el precio de mercado más económico por unidad del material de que se trate, puesto en el sitio de su utilización. El precio unitario del material se integrará sumando a los precios de adquisición en el mercado, los de acarreos, maniobras y mermas aceptables durante su manejo. Cuando se usen materiales producidos en la obra, la determinación del cargo unitario será motivo del análisis respectivo.

"C" representa el consumo de materiales por unidad de concepto de trabajo. Cuando se trate de materiales permanentes, "C" se determinará de acuerdo con las cantidades que deban utilizarse según el proyecto, las normas y especificaciones de construcción de "La Dependencia" o "Entidad", considerando adicionalmente los desperdicios que la experiencia determine. Cuando se trate de materiales temporales, "C" se determinará de acuerdo con las cantidades que deban utilizarse según el proceso de construcción y el tipo de obra, considerando los desperdicios y el número de usos con base en el programa de obra, en la vida útil del material de que se trate y en la experiencia.

5.4.3. **CARGO DIRECTO POR MAQUINARIA.** Es el que se deriva del uso correcto de las máquinas consideradas como nuevas y que sean las adecuadas y necesarias para la ejecución del concepto de trabajo, de acuerdo con lo estipulado en las normas y especificaciones de construcción de "La Dependencia" o "Entidad" y conforme al programa establecido.

El cargo directo unitario por maquinaria

**Cargo por Mantenimiento Mayor.** Son las erogaciones correspondientes a las reparaciones de la maquinaria en talleres especializados, o aquellas que puedan realizarse en el campo, empleando personal especialista y que requieran retirar la maquinaria de los frentes de trabajo. Este cargo incluye la mano de obra, repuestos y renovaciones de partes de la maquinaria, así como otros materiales necesarios.

**Cargo por Mantenimiento Menor.** Son las erogaciones necesarias para efectuar los ajustes rutinarios, reparaciones y cambios de repuestos que se efectúan en las propias obras, así como los cambios de líquido para mandos hidráulicos, aceite de transmisión, filtros, grasas y estopas. Incluye el personal y equipo auxiliar que realiza estas operaciones de mantenimiento, los repuestos y otros materiales que sean necesarios.

Este cargo está representado por:

$$T = Q \cdot D$$

En la que:

"Q" es un coeficiente que considera tanto el mantenimiento mayor como el menor. Este coeficiente varía según el tipo de máquina y las características del trabajo, y se fija en base a la experiencia estadística.

"D" representa la depreciación de la máquina calculada de acuerdo con lo expuesto en la Norma 5.4.3.1.1.

**5.4.3.2. CARGO POR CONSUMOS.** Son los que se derivan de las erogaciones que resulten por el uso de combustibles u otras fuentes de energía y en su caso lubricantes y llantas.

**5.4.3.2.1. CARGO POR COMBUSTIBLES.** Es el derivado de todas las erogaciones originadas por los consumos de gasolina y diesel para el funcionamiento de los motores. El cargo por combustible "E" se obtendrá, mediante la ecuación:

$$E = e \cdot Pc$$

En la cual:

"e" representa la cantidad de combustible necesario, por hora efectiva de trabajo. Este coeficiente está en función de la potencia del motor, del factor de operación de la máquina y de un coeficiente determinado por la experiencia, que variará de acuerdo con el combustible que se utilice.

"Pc" representa el precio del combustible puesto en la máquina.

**5.4.3.2.2. CARGO POR OTRAS FUENTES DE ENERGÍA.** Es el cargo por los consumos de energía eléctrica o de otros energéticos distintos a los señalados en la regla anterior. La determi-

nación de este cargo requerirá en cada caso un estudio especial.

**5.4.3.2.3. CARGO POR LUBRICANTES.** Son los motivados por el consumo y los cambios periódicos de aceites lubricantes de los motores.

Se obtendrá de la ecuación:

$$Al = (e + al) Pl$$

En la cual:

"al" representa la cantidad de aceites lubricantes necesaria por hora efectiva de trabajo, de acuerdo con las condiciones medias de operación; esta determinada por la capacidad de recipiente dentro de la máquina y los tiempos entre cambios sucesivos de aceites.

"Pl" representa el precio de los aceites lubricantes puestos en las máquinas.

"e" representa el consumo entre cambios sucesivos de lubricantes.

**5.4.3.2.4. CARGO POR LLANTAS.** Es el correspondiente al consumo por desgaste de las llantas. Cuando se considere este cargo, al calcular la depreciación de la maquinaria deberá deducirse del valor inicial de la misma, el valor de las llantas.

El cargo por llantas "N" se obtendrá de la ecuación:

$$N = \frac{Vn}{Hv}$$

En la cual:

"Vn" representa el precio de adquisición de las llantas, considerando el precio en el mercado nacional de llantas nuevas de las características indicadas por el fabricante de la máquina.

"Hv" representa las horas de vida económica de las llantas, tomando en cuenta las condiciones de trabajo impuestas a las mismas. Se determinará de acuerdo con la experiencia, considerando entre otros, los factores siguientes: velocidad máxima de trabajo; condiciones relativas del camino que transite, tales como pendientes, curvaturas, superficie de rodamiento, posición en la máquina; cargas que soporte, y clima en que se operen.

**5.4.3.3. CARGOS POR SALARIOS PARA LA OPERACION.** Es el que resulta por concepto de pago del o los salarios del personal encargado de la operación de la máquina, por hora efectiva de trabajo de la misma.

Este cargo se obtendrá mediante la ecuación:

"CM" se expresa como el cociente del costo horario directo de las máquinas, entre el rendimiento horario de dichas máquinas. Se obtendrá mediante la ecuación:

$$CM = \frac{HMD}{RM}$$

en la cual:

"HMD" representa el costo horario directo de la maquinaria. Este costo se integra con cargos fijos, los consumos y los salarios de operación, calculados por hora de trabajo.

"RM" representa el rendimiento horario de la máquina nueva en las condiciones específicas del trabajo a ejecutar, en las correspondientes unidades de medida.

**5.4.3.1. CARGOS FIJOS.** Son los correspondientes a depreciación, inversión, seguros y mantenimiento.

**5.4.3.1.1. CARGO POR DEPRECIACION.** Es el que resulta por la disminución del valor original de la maquinaria, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica. Se considerará una depreciación lineal, es decir, que la maquinaria se deprecia una misma cantidad por unidad de tiempo.

Este cargo está dado por:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$$

en la que:

"Va" representa el valor inicial de la máquina, considerándose como tal, el precio comercial de adquisición de la máquina nueva en el mercado nacional, descontando el precio de las llantas, en su caso.

"Vr" representa el valor de rescate de la máquina, es decir, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica.

"Ve" representa la vida económica de la máquina, expresada en horas efectivas de trabajo, o sea el tiempo que puede mantenerse en condiciones de operar y producir trabajo en forma económica, siempre y cuando se le proporcione el mantenimiento adecuado.

**5.4.3.1.2. CARGO POR INVERSION.** Es el cargo equivalente a los intereses del capital invertido en maquinaria.

Está dado por:

$$I = \frac{(Va + Vr)i}{2Ha}$$

En la que:

"Va" y "Vr" representan los mismos valores enunciados en el punto 5.4.3.1.1.

"Ha" representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

"i" representa la tasa de interés anual expresada en decimales.

Las Dependencias y Entidades para sus estudios y análisis de precios unitarios considerarán a su juicio la tasa de interés "i". Los contratistas en sus propuestas de concurso, propondrán la tasa de interés que más les convenga.

En los casos de ajustes por variación del costo de los insumos que intervengan en los precios unitarios, y cuando haya variaciones de las tasas de interés, el ajuste de éste se hará en base al relativo de los mismos, conforme a los que hubiere determinado el Banco de México en la fecha del concurso y el correspondiente a la fecha de la revisión.

**5.4.3.1.3. CARGO POR SEGUROS.** Es el que cubre los riesgos a que está sujeta la maquinaria de construcción durante su vida económica, por accidentes que sufra. Este cargo forma parte del precio unitario, ya sea que la maquinaria se asegure por una compañía de seguros, o que la empresa constructora decida hacer frente, con sus propios recursos, a los posibles riesgos de la maquinaria.

Este cargo está dado por:

$$S = \frac{Va + Vr}{2} \frac{S}{Ha}$$

En donde:

"Va" representa el valor inicial de la máquina, considerándose como tal, el precio comercial de adquisición de la máquina nueva en el mercado nacional, descontando el precio de las llantas, en su caso.

"Vr" representa el valor de rescate de la máquina, es decir, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica.

"S" representa la prima anual promedio, fijada como porcentaje del valor de la máquina y expresada en decimales.

"Ha" representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

**5.4.3.1.4. CARGO POR MANTENIMIENTO MAYOR O MENOR.** Es el originado por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones durante su vida económica.

$$Co = \frac{So}{H}$$

En la cual:

"So" representa los salarios por turno del personal necesario para operar la máquina, entendiéndose por salarios la definición dada en la regla 5.4.1.

"H" representa las horas efectivas de trabajo de la máquina dentro del turno.

#### 5.4.3.4. CARGO POR TRANSPORTE EXTRAORDINARIO DE MAQUINARIA.

Corresponde a las erogaciones necesarias para traslado extraordinarios de maquinaria ordenados por "La Dependencia" o "Entidad". Este cargo se analizará como un concepto de trabajo específico.

#### 5.4.4. CARGO DIRECTO POR HERRAMIENTA.

5.4.4.1. CARGO POR HERRAMIENTA DE MANO. Este cargo corresponde al consumo por desgaste de herramientas de mano utilizadas en la ejecución del concepto de trabajo.

Este cargo se calculará mediante la fórmula:

$$HM = K_H \cdot Mo$$

En la cual:

"K<sub>H</sub>" representa un coeficiente cuya magnitud se fijará en función del tipo de trabajo de acuerdo con la experiencia.

"Mo" representa el cargo unitario por concepto de mano de obra calculado de acuerdo con la regla 5.4.1.

5.4.4.2. CARGO POR MAQUINAS-HERRAMIENTAS. Este cargo se analizará en la misma forma que el cargo directo por maquinaria, según lo señalado en la regla 5.4.3.

5.4.5. CARGO DIRECTO POR EQUIPO DE SEGURIDAD. Este cargo corresponde al equipo necesario para la protección personal del trabajador para ejecutar el concepto de trabajo.

Este cargo se calculará mediante la fórmula:

$$ES = K \cdot Mo$$

En la cual:

"K" representa un coeficiente cuyo valor se fija en función del tipo de trabajo y del equipo requerido para la seguridad del trabajador.

"Mo" representa el cargo unitario por concepto de mano de obra calculado de acuerdo con la regla 5.4.1.

5.5. CARGO POR INSTALACIONES. Corresponde a las erogaciones para construir todas las instalaciones necesarias para realizar los conceptos de trabajo. Dichas instalaciones se dividen en dos grupos: las generales y las específicas.

Los cargos correspondientes a las primeras se considerarán como cargos indirectos y los correspondientes a las segundas se considerarán, a juicio de "La Dependencia" o "Entidad", ya sea como un concepto de trabajo específico, o como cargo directo dentro del concepto de trabajo del que formen parte.

#### 5.6 CARGOS INDIRECTOS

5.6.1. Corresponden a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los cargos directos que realiza "El Contratista", tanto en sus oficinas centrales como en la obra, y que comprenden, entre otros, los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, financiamiento, imprevistos, transporte de maquinaria y, en su caso, prestaciones sociales correspondientes al personal directivo y administrativo.

5.6.2. Los cargos indirectos se expresarán como un porcentaje del costo directo de cada concepto de trabajo. Dicho porcentaje se calculará sumando los importes de los gastos generales que resulten aplicables, y dividiendo esta suma entre el costo directo total de la obra de que se trate.

Exclusivamente para los casos de gastos que se realicen en base a porcentajes impositivos sobre el precio unitario, el cargo debe hacerse aplicando el porcentaje que resulta de la siguiente expresión:

$$\frac{(\% - 100) \cdot X}{100 - X} \quad X = \text{porcentaje impositivo.}$$

5.6.3. Los gastos generales más frecuentes que podrán tomarse en consideración para integrar el cargo indirecto y que pueden aplicarse indistintamente a la Administración Central o a la Administración de Obra o a ambas, según el caso, son los siguientes:

#### 5.6.3.1. Honorarios, sueldos y prestaciones:

- 1.—Personal directivo.
- 2.—Personal técnico.
- 3.—Personal administrativo.
- 4.—Personal en tránsito.

5.—Cuota patronal de Seguro Social e impuesto adicional sobre remuneraciones pagadas para los conceptos 1 a 4.

6.—Prestaciones que obliga la Ley Federal del Trabajo para los conceptos 1 a 4.

7.—Pasajes y Viáticos.

5.6.3.2. Depreciación, mantenimiento y rentas:

1.—Edificios y locales.

2.—Locales de mantenimiento y guarda.

3.—Bodegas.

4.—Instalaciones generales.

5.—Muebles y enseres.

6.—Depreciación o renta, y operación de vehículos.

5.6.3.3. Servicios:

1.—Consultores, asesores, servicios y laboratorios.

2.—Estudios e Investigaciones.

5.6.3.4. Fletes y acarreos:

1.—De campamentos.

2.—De equipo de construcción.

3.—De plantas y elementos para instalaciones.

4.—De mobiliario.

5.6.3.5. Gastos de oficina:

1.—Papelería y útiles de escritorio.

2.—Correos, teléfonos, telégrafos, radio.

3.—Situación de fondos.

4.—Copias y duplicados.

5.—Luz, gas y otros consumos.

6.—Gastos de concursos.

5.6.3.6. Seguros, fianzas y financiamientos:

1.—Primas por seguros.

2.—Primas por fianzas.

3.—Financiamiento.

5.6.3.7. Depreciación, mantenimiento y rentas de campamentos.

5.6.3.8. Trabajos Previos y Auxiliares.

1.—Construcción y conservación de caminos de acceso.

2.—Montajes y desmantelamientos de equipo.

### 5.7. CARGO POR UTILIDAD

La utilidad quedará representada por un porcentaje sobre la suma de los cargos directos más indirectos del concepto de trabajo. Dentro de este cargo queda incluido el Impuesto Sobre la Renta que por Ley debe pagar "El Contratista".

### 5.8. CARGOS ADICIONALES

Son las erogaciones que realiza "El Contratista" por estipularse expresamente en el contrato de obra como obligaciones adicionales, así como los impuestos y derechos locales y Federales que se causen con motivo de la ejecución de los trabajos y que no están comprendidos dentro de los cargos directos, ni en los indirectos, ni en la utilidad. Los impuestos y cargos adicionales se expresarán porcentualmente sobre la suma de los cargos directos, indirectos y utilidad, salvo cuando en el contrato, convenio o acuerdo se estipule otra forma de pago.

Los cargos adicionales no deben ser afectados por la utilidad. Las obligaciones adicionales a que se refiere este cargo se determinan en base a un porcentaje sobre el precio final de los trabajos ejecutados, por lo que su valorización debe hacerse con la expresión siguiente:

$$\% = \frac{100 \cdot \Sigma P}{100 - \Sigma P}$$

en la que:

"%" representa el porcentaje aplicable a la suma de los importes de los cargos directos, más indirectos, más utilidad.

"Σ P" representa la suma, en su caso, de los por cientos de las obligaciones contractuales establecidas, excepto el Impuesto Sobre la Renta que queda incluido en la utilidad.