

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA 1979.

Fecha	Duración	Tema	Profesores
Junio 25		LOCALIZACION	
	9 a 10 a. m.	Geología y Geohidrología Formaciones acuíferas Aluviones Basaltos Calizas Otros Prospección Geohidrológica Fotointerpretación	Ing. Heinz Lesser Jones Ing. Jorge A. Trujillo Candelaria
	12:30 a 14 h	Geofísica	Ing. Robisel Chiñas Laló
	14 a 15 h	COMIDA	
	15 a 16:30 h	Registros Eléctricos	Ing. Luis Lara Trujillo
	16:30 a 18 h	Trazadores	Ing. Juan Manuel Lesser Illades
Junio 26		TECNICAS DE PERFORACION	
	9 a 10 a. m.	Perforabilidad de las rocas	Ing. José Luis Sánchez Lazcano
	10 a 11 a. m.	Percusión simple Pescas	Ing. Rafael Jiménez Granados
	11 a 13 h	Sistema rotativo Circulación directa Pescas	Ing. Felipe Ituarte Olivo
	13 a 14 h	Lodos de perforación	Ing. Rafael Martínez García
	14 a 15 h	COMIDA	

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Junio 26	15 a 17 h	Perforación neumática Perforación con martillos Aire Aire y espumantes	Ing. Andrés Bentón Cuéllar
	17 a 18 h	Circulación inversa	Ing. Andrés Bentón Cuéllar
Junio 27	9 a 11:30 a. m.	EVALUACION Pruebas de bombeo Transmisibilidad Almacenamiento Cuantificación Explotación	Ing. Carlos Cruickshank Villanueva
	11:30 a 14 h	Explotación Interface e instrusión salina Geoquímica	Ing. Juan Manuel Lesser Illades
	14 a 15 h	COMIDA	
15 a 17 h		CONTROL Y OPERACION DE LOS APROVECHAMIENTOS	Ing. Jorge Alvarado Ortuño
		Sistemas de control Formas de control Banco Nacional de Información Geohidrología	
		DIVERSOS	
	17 a 18 h	Análisis de precios unitarios	Ing. José Luis Sánchez Lazcano

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Junio 28	9 a 13 h	DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS DE BOMBEO	
		Tipos de bombas Centrifugas Turbina vertical	Ing. Fernando López Ochoa Ing. Jorge Magaña Sozaya Ing. Roberto Franyuti
	13 a 14 h	COMIDA	
	14 a 19 h	DIVERSOS	
		Flujo de agua a través de medios Porosos Contaminación del agua subterránea Uso combinador de agua superficial y subterránea	Sr. Jay H. Lehr
Junio 29	9 a 13 h	DISEÑO Y TERMINACION DE POZOS	Ing. José Ma. Bolívar del Valle
		Finalidad del pozo Lavado inicial Ademes Filtros de grava Verticalidad Tapones de fondo Canastas Centradores y otros aditamentos Cementaciones	
	13 a 14 h y 15 a 16 h	TRATAMIENTO, DESARROLLO Y REHABILITACION	Ing. Juan José Rocha Rangel
		Limpieza Sifoneo Tratamiento con aire Pistoneo Hielo seco y nitrógeno Tratamiento con ácidos	
	14 a 15 h	COMIDA	

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Junio 29	16 a 17:30 h	AFOROS Sistemas de aforo Interpretación Eficiencia	Ing. Gilberto León Martínez
	17:30 a 19 h	DIVERSOS Mesa Redonda	Pleno de profesores

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA
(DEL 25 AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. ING. DAVID H. ACEVEDO OLIVA Sevilla y Olmedo San Luis Potosí, S.L.P. Tel. 2-04-68	S. A. R. H. Amado Nervo No. 725 Tel. 355-61 3-06-84
2. ING. EFRAIN JOEL AGUILAR A. Colón No. 425 Col. Viveros Colima, Col. Tel. 2-18-60	S. A. H. O. P. Netzahualcoyotl No. 1 Colima, Col. Tel. 2-20-11
3. OSCAR AGUILAR CAMACHO Pachuca No. 56 Col. Valle Ceylan Tlalnepantla, Edo. de Méx. Tel. 546-59-85	SUBDIRECCION DE GEOHIDRAULICA Reforma No. 69-19o. Piso México 1, D.F. Tel.
4. RAMON AGUIRRE DIAZ	S. A. R. H. Ignacio Ramírez No. 20 Col. Juárez México, D.F. Tel. 566-38-48
5. ING. JUAN M. ALDAPE RUIZ Dr. Martínez Monotu No. 107 Col. Doctores Reynosa, Tamps. Tel. 4-07-01	S. A. R. H. Av. Constitución No. 1201 Río Bravo Tamaulipas Tel. 4-07-01
6. ING. JAIME FDO. ALONSO NUÑEZ Av. I.P.N. Calzda. Ticmán Edif. 20 Col. Lindavista México 14, D.F. Tel. 586-58-96	S. A. R. H. Vallarta No. 1 Desp. 601-B Col. San Rafael México 4, D.F. Tel. 546-92-55

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA
(DEL 25 AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
7. ING. JOSE ANTONIO ARELLANO AMEZCUA Josefa O. Domínguez No. 14 Queseria, Col. Tel. 5-00-85	S. A. H. O. P. Netzahualcoyotl No. 1 Colima, Col. Tel. 2-20-11 Tel. 2-26-05
8. FRANCISCO RAUL ALAVEZ ENCARNACION Centro urbano Pte. Juárez D5-305 Col. Roma México 7, D.F. Tel. 564-14-13	COMISION DEL PLAN NAL. HIDRAULICO Tepic No. 40 Col. Roma México, D.F. Tel. 584-72-74
9. ING. LUIS BANDA SALAS López Hermosa No. 293 Col. EF. CC. San Luis Potosí, S.L.P. Tel. 2-53-17	S. A. R. H. Amado Nervo No. 725 San Luis Potosí, S.L.P. Tel. 3-07-69
10. ING. JORGE ENRIQUE BARRON VILLUENDAS Av. Reforma No. 3714 Int. 30 Puebla, Pue. Tel.	BANCO DE CREDITO RURAL DEL CENTRO 11 Pte. y 19 Sur Puebla, Pue. Tel. 46-37-96
11. MA. ROSALVA BELMER ZEPEDA Edif. 29-2056 Sotelo México 10, D.F. Tel. 557-54-59 - 535-85-23	S. A. R. H. Abraham González No. 3 Piso 1o. México 6, D.F. Tel. 535-85-23
12. OBELIO BETANZOS RAMOS Av. de los Maestros No. 95-102 Col. Agricultura México 17, D.F. Tel.	DIRECCION DE MINERIA DEL ESTADO DE GUERRERO Madero No. 22 Chilpancingo, Gro. Tel. 2-37-47

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA
(DEL 25 AL 29 DE JUNIO DE 1979)

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|-----|--|--|
| 13. | ING. EDUARDO BERMUDEZ CALZADA
Calle 13 No. 23
Col. Porvenir
México 15, D.F.
Tel. | D E R N A
Minería No. 145
Col. Escandón
México, D.F.
Tel. |
| 14. | ING. JOSE CARLOS BETANCOURT LINARES
I.M. Altamirano No. 53-402 B
Col. Sn. Rafael
México 4, D.F.
Tel. 546-04-05 | S. A. R. H.
Reforma No. 107-8o, Piso
Col. Sn. Rafael
México 4, D.F.
Tel. 592-27-52 |
| 15. | ING. FRANCISCO BOADA FABELA
Priv. del Sauce No. 30
Col. Jardín Ote.
Saltillo, Coah.
Tel. 2-29-88 | S. A. R. H.
Boulevard Venustiano Carranza 2145
Col. República
Saltillo, Coah.
Tel. 3-98-85 |
| 16. | ING. FERNANDO CABRERA L.
Av. 3a. No. 317-5
Col. Sausal de Rodríguez
Ensenada, B.C.
Tel. 8-33-25 | S. A. R. H.
Gastelum No. 1198
Ensenada, B.C.
Tel. |
| 17. | ING. GENARO CALDERON ALONSO
Matamorso No. 35-3B
Chalco, Mex.
Tel. 3-01-57 | S. A. R. H.
Balderas No. 55-4o, Piso
Col. Centro,
México 1, D.F.
Tel. 585-50-66 Ext. 414 |
| 18. | MANUEL CAMPUZANO
Chichen-Itza No. 4506
Col. Ref. Agua Azul
Puebla, Pue.
Tel. 40-24-39 | S. A. R. H.
3 Sur No. 1501-3
Puebla, Pue.
Tel. 43-08-86 |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA
(DEL 25 AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
19. JORGE ALBERTO CANTU VERA Río Ganges No. 82-B Col. Cuauhtémoc México 5, D.F. Tel. 511-55-28	S. A. R. H. Abraham González 3 Mezzanine Col. Juárez México, D.F. Tel. 535-08-76
20. ING. ALEJANDRO CASTILLO LOPEZ Calle 21-15 Col. Amp. Progreso Nacional México 14, D.F. Tel. 3-92-24-14	DESARROLLO DE RECURSOS NATURALES Minería No. 145 Col. Escandón México 18, D.F. Tel. 5-15-75-46
21. FELIX SALVADOR CASTILLO VARELA Av. López Mateos No. 110 Pte. Aguascalientes Tel. 5-74-21	S. A. R. H. Av. Circunvalación Norte No. 220 Aguascalientes Tel. 5-94-06
22. VICENTE CORTES CRUZ Baja California No. 114-107 Col. Roma Sur Mexico 7, D.F. Tel. 584-48-18	PERFORACIONES CORTES C. HNOS. Conocido Actopan, Hgo. Tel. 700-89
23. IGNACIO CHACON HERNANDEZ Concepción Beistegui No. 205-403 Col. Del Valle México 17 D.F. Tel. 523-10-08	PRODESCH Sn. Cristobal, Chis. Tel. 8-02-93
24. ING. VICTOR M. CHAVEZ VALOLJ Sur 181 No. 2412 Col. A. Ramos Millán México 8, D.F. Tel.	S. A. R. H. Reforma No. 69-19 Piso Reforma 69-19o. Piso Col. Juárez México 4, D.F. Tel. 535-08-17

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA
(DEL 25 AL 29 DE JUNIO DE 1979)

	<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
25.	ING. CARLOS DE LA FUENTE FUENTES José Benitez No. 2318 Col. Obispado Monterrey, N.L. Tel. 46-10-34	PERFORACIONES Y ADEMES, S.A. Río Caribe No. 237 Col. Mitras Nte. Monterrey, N.L. Tel. 70-42-84
26.	ING. IGNACION DE LA GARZA España No. 285 Col. Villa Olímpica Saltillo, Coah. Tel. 2-49-23	S. A. R. H. Victoria No. 544-4o. Piso Saltillo, Coah.
27.	LUIS DE LA GARZA GOMEZ Rojas No. 88 Col. Sn. Simón México 3, D.F. Tel. 583-41-57	S. A. R. H. Reforma No. 107-10 Piso Col. Centro México 1, D.F. Tel. 535-08-17
28.	ING. EDMUNDO DEMETRIO DIAZ LUGO Av. Hidalgo No. 2024 Ote. Torreón, Coah. Tel. 3-38-17	S. A. R. H. Blv. Venustiano Carranza No. 2145 Torreón, Coah. Tel. 3-61-46
29.	ALDEMAR I. EBOLI MORALES Ret. 2 de Fco. del Paso y Troncoso Edif. 23-B-2 Col. Jardín Balbuena México 9, D.F. Tel. 7-62-22-44	S. A. R. H. Los Laguitos
30.	ING. FRANCISCO JAVIER ECHEVERRIA B. Mariposa No. 1108 Col. General Anaya México 13, D.F. Tel. 524-38-35	S. A. R. H. Ignacio Ramírez No. 20 Col. San. Rafael México 4, D.F. Tel. 566-26-01

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25
AL 29 DE JUNIO DE 1979)

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|--|---|
| 31. ING. EDUARDO J. ESCALANTE TRLAY
23 No. 114
Col. Yucatán
Merida, Yuc.
Tel: 3-23-73 | FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE
YUCATAN
Ciudad Universitaria
Merica, Yuc.
Tel: 2-47-99 |
| 32. CARLOS C. ESCOBAR LECHUGA
Vicente Segura No. 201-2o.
Pachuca, Hgo. | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Vicente Segura No. 201-2
Pachuca, Hgo. |
| 33. DAVID ESTRADA DAMIAN
Av. México 253
Altos Sur
Tel: 2-38-84 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Av. México 253
Altos Sur.
Tel: 2-38-83 |
| 34. ING. FELIPE ESTRADA LOPEZ
Texcoco 140-4
Col. Clavería
México 16, D. F. | SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y
OBRAS PUBLICAS
Reforma 73 10o. Piso
México 4, D. F.
Tel: 5-35-31-10 |
| 35. REYNALDO FIGUEROA MENDEZ
Avenida 12 No. 162
Col. Apolo
Hermosillo, Son. | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Matamoros 102 Sur
Hermosillo, Son. |
| 36. ING. RODOLFO CESAR FLORES DE LA CRUZ
Zaragoza No. 112
Coatzacoalcos, Ver.
Tel: 2-66-63 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Ignacio Ramírez No. 20
México, D. F.
Tel: 5-66-36-63 |
| 37. ING. ROBERTO FLORES SEGURA
Nicolás San Juan 1107
Col. del Valle
México 12, D. F.
Tel: 5-59-02-35 | PRODUCTOS BASICOS, S. A.
Guerrero No. 95
Col. El Moral
México 13, D. F.
Tel: 5-82-22-12 |
| 38. ING. LEON CALDINO JUAREZ
Ignacio Ramírez 20-4o. Piso
México 1, D. F.
Tel: 5-66-38-48 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Ignacio Ramírez No. 20-4o. Piso
México, D. F. |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL
25 AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
39. ING. RAMIRO GALLECOS GONZALEZ 21 y 22 Morelos No. 513 Cd. Victoria, Tamps.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Palacio Federal 4o. Piso Cd. Victoria, Tamps.
40. ING. ALFONSO E. M. GARCIA HARO Cristobal de Olid 490 Fracc. Reforma Veracruz, Ver. Tel: 3-09-99	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Clavijero No. 19-4o. Piso Xalapa, Ver. Tel: 7-90-65
41. JOSE VICTORINO GASCA GONZALEZ Santiago de Chile 119 Zacatenco México 14, D. F. Tel: 7-54-28-73	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Abraham González No. 3 México, D. F. Tel: 5-35-08-17
42. RAFAEL GARCIA LEAL Ayuntamiento (El Choyal) Hermosillo, Son.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Matamoros 102 Sur Hermosillo, Son. Tel: 3-44-88
43. ING. MIGUEL ANGEL GOMEZ GARCIA Flores No. 402 Fracc. del Valle Aguascalientes, Ags.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Circunvalación Nte. 2202 Aguascalientes, Ags. Tel: 5-43-57
44. ING. MIGUEL ANGEL GOMEZ JASSO Manuel Acuña No. 218 Lomas Vista Hermosa Colima, Col. Tel: 2-53-24	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Basilio Vadillo y Medellín Colima, Col. Tel: 2-22-10
45. ING. RUBEN GONZALEZ AMARO Calle 38 No. 436-B Dept. "B" Jesús Carranza Merida, Yuc.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Av. Colón y Reforma No. 503 Merida, Yuc.
46. ING. JORGE ISIDRO GONZALEZ CERVANTES Río Culiacán 360 Pte. Col. Guadalupe Culiacán, Sin. Tel: 3-85-25	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Km. 7 Carretera Bachigualato Culiacán, Sin. Tel: 3-85-25
47. ING. SERGIO GONZALEZ W. Lomas Quebradas No. 137 San Jerónimo México, D. F. Tel: 5-95-73-83	DERVA, S. A. Minería No. 145 Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-15-79-46

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25
AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
48. ING. PATRICIA E. GUERRERO ESCALANTE Orinoco 47-5 Col. Portales MÉxico 13, D. F.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma No. 107-10o. Piso México 6, D. F. Tel: 5-35-08-17
49. ING. JOSE LUIS GUILLEN RAMOS Av. Independencia No. 132 Col. Industrial Aguascalientes, Ags. Tel: 5-72-41	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Av. Circunvalación Norte 2002 Aguascalientes, Ags. Tel: 5-43-57
50. ING. ABEL GUTIERREZ GONZALEZ Cuto. Sta. Mónica 8 Jardines Sta. Mónica Tlalnepantla, Edo. de México Tel: 3-97-68-92	UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
51. ING. IVO A. GUTIERREZ PULIDO San Juan de Letrán No. 503-1504 Unidad Nonoalco Tlatelolco México 3, D. F. Tel: 5-83-84-02	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Abraham González No. 3 M. Col. Juárez México 6, D. F. Tel: 5-35-08-17
52. ING. FEDERICO HERNANDEZ GONZALEZ Calle 2a. No. 2207 Chihuahua, Chih. Tel: 5-94-77	FONDO PARA EL FOMENTO DE LA GANADERIA Calle Ojinaga 511-2o. Piso Chihuahua, Chih. Tel: 5-70-87
53. ING. ALFREDO HERNANDEZ RAMIREZ 25 Pte. 704 Puebla, Pue. Tel: 43-62-45	HYLSA, S. A. Xoxtla, Pue.
54. ING. RODOLFO HERRERA MARIN Olmos 913 Col. Insurgentes Durango, Dgo.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Kilometro 6 Carr. Durango, Dgo. Tel: 1-66-17
55. JOSE LUIS JUAREZ VARGAS Yajalon y Tonala San Cristobal Las Casas? chiapas	PRODESCH Quinta la Primavera San Cristobal Las Casas, Chiapas Tel: 8-02-93

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25
AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
56. ING. EFRAIN JIMENEZ MENDOZA Calle 10 No. 259 San Martín Campeche, Camp. Tel: 6-30-51	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Calle 10 No. 219 Campeche, Camp. Tel: 6-55-33
57. ROGELIO LOPEZ LARA Juan de la Barrera Nte. No. 22 Querétaro, Qro. Tel: 2-13-75	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Av. Constituyentes No. 29 Querétaro, Qro. Tel: 2-13-75
58. JUAN ALVARO LOZA HIDALGO Av. Niños Héroes No. 173-31 Col. Doctores México 7, D. F. Tel: 5-88-30-03	ESTUDIOS FISICOS DE LA TIERRA, S. A. Morelos No. 34 Col. Toriello México 22, D. F. Tel: 5-73-99-43
59. ING. MANUEL MARTINEZ ARANDA Alamos 910 Col. Insurgentes Durango, Dgo.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Km. 6 Carr. Durango-Torreón Durango, Dgo. Tel: 1-66-17
60. FELIPE MARTINEZ AYOUB San Juan de Abajo Nay.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS 22 Nov. No. 14 San Juan de Abajo, Nay.
61. ING. JOSE HECTOR MARTINEZ R. Lago Garda 119-215 Col. Anáhuac México 17, D. F. Tel: 3-99-72-21	CONSTRUCCIONES, S. A. Río Tiber No. 40 - 701 Col. Cuauhtémoc México 5, D. F. Tel: 5-28-76-38
62. PEDRO MATADAMAS JIMENEZ P.H. Chicoasen Lote. 37 Tanka	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Ródano No. 14 México 11, D. F. Tel: 5-53-71-13

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25
AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
63. ING. LUIS MATUS ZARATE Polo Norte. No. 18 Angel Zimbron México 16, D. F. Tel: 5-61-86-86	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Vallarta No. 1-908-A Col. Tabacalera México 1, D. F. Tel: 5-35-45-13
64. RUBEN MENDOZA SILVA Priv. de Vallarta No. 7-7 San Rafael México 4, D. F. Tel: 5-46-92-21	SAHOP Reforma 77-9o. Piso México 4, D. F. Tel: 5-35-34-73
65. ING. JOAQUIN ANTONIO MUÑOZ CRUZ 2a. Norte Pte. No. 775 Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas Tel: 2-56-83	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Fraccionamientos Los Laguitos Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas Tel: 2-04-62
66. FRANCISCO J. NARANJO MESSINA Alondra No. 18 Col. Arboledas Edo. de México Tel: 3-79-62-06	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Vallarta No. 1 Desp. 601-B Col. San Rafael México 4, D. F. Tel: 5-46-01-03
67. PAULINO NAVARRETE	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
68. RAMON NAVARRO LOPEZ Cordobanes 378 Col. Evaluación México, D. F.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma 69-9o. Piso Col. Juárez
69. JOSE LUIS NAVARRO S. Santiago Papasquiaro No. 103 Durango, Dgo.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Palacio Federal Km. 6 Carr. Durango-Toxtepec Tel: 1-66-17
70. ING. ALEJANDRO OLIVOS SEPULVEDA Av. Jalisco No. 254-101 Col. Tacubaya México 18, D. F. Tel: 5-16-00-31	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 69 México, D. F. Tel: 5-66-26-64

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25
AL 29 DE JUNIO DE 1979)

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|--|---|
| 71. ING. JUAN JOSE OLVERA FLORES
Guerrero 405
Oaxaca, Oax.
Tel: 6-65-12 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Av. Juárez No. 202
Oaxaca, Oax.
Tel: 6-31-92 |
| 72. ING. PAVIAN M. OTERO SANCHEZ
Mar Caribe 204
Aguascalientes, Ags.
Tel: 5-97-26 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Aguascalientes, Ags.
Tel: 5-97-26 |
| 73. ING. FRANCISCO ORTIZ JASSO
Ignacio de la Llave No. 14
Puebla, Pue.
Tel: 41-61-21 | HYLSA, S. A.
Xoxtla
Puebla, Pue.
Tel: 46-60-00 |
| 74. ING. HECTOR S. OVALLE FAVELA
Calz. Las Aguilas 1124-H-304
Las Aguilas
México 20, D. F.
Tel: 6-51-23-16 | DERMA, S. A.
Minería No. 145
Col. Escandón
México 18, D. F.
Tel: 5-15-75-46 |
| 75. JUAN JAVIER PASCUAL VELEZ
Juárez y Huasteca 9-8
Hermosillo, Son.
Tel: 3-48-30 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Juárez y Yucatán
Hermosillo, Son.
Tel: 3-48-30 |
| 76. FRANCISCO PEÑA DE LA VEGA
Agricultura No. 387-3
Jardín
San Luis Potosí, S. L. P. | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Ave. Venustiano Carranza No. 1563
San Luis Potosí, S. L. P.
Tel: 3-33-77 |
| 77. ING. FRANCISCO J. PEREZ SERRANO
Jalapa, Ver. | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Clavijaro No. 19-3er. Piso
Jalapa, Ver. |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25
AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
78. ING. LEONCIO PINA CASTRO Calle 19 No. 708 Chihuahua, Chih. Tel: 2-98-79	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Allende No. 811 Chihuahua, Chih. Tel: 2-97-73
79. ING. CESAR AUGUSTO PUGA Horacio Nelson No. 65-101 Col. Moderna México 13, D. F. Tel: 6-96-01-03	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma 45-100. Piso México 1, D. F. Tel: 5-92-56-29
80. ING. MIGUEL RAMIREZ FRANCO Calz. I. Zaragoza No. 401 V. Cómez Farías México 9, D. F. Tel: 5-71-26-90	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO Balderas No. 55-40. Piso México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
81. SABINO ARMANDO REYES GARCIA Abraham González No. 3-90. Piso México, D. F.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Reforma No. 69-190. Piso México 6, D. F. Tel: 5-66-18-59
82. OCTAVIO RINCON DOMINGUEZ Calle 7 y Bolv. Xicohtencatl Tlaxcala Tel: 2-26-84	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Muñoz Camargo No. 26 Tlaxcala Tel: 2-17-59
83. JOSE FRANCISCO RODRIGUEZ ESPINOSA Av. Resurgimiento No. 47 Campeche Tel: 6-55-3	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Calle 10 No. 219 Campeche
84. AVFLINO RODRIGUEZ GAYOSSO Veracruz 216-3 Las Brisas Monterrey, N. L. Tel: 43-61-14	COMISION AGUA POTABLE DE MONTERREY Pino Suárez 602 Sur 222 Monterrey, N. L. Tel: 43-61-14

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25
AL 29 DE JUNIO DE 1979)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
85. ING. CESAR M. RODRIGUEZ ROCHA Calle 18 No. 245-F Fracc. del Arco Merida, Yuc.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Calle 22 No. 199 Merida, Yuc.
86. ING. JUAN ROJAS PIEDRA Cerrada de Margarita Maza de Juárez No. 95 Felicitas del Rio Morelia, Mich. Tel: 2-55-47	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Av. Ventura Puente No. 359 Morelia, Mich. Tel: 2-55-47
87. PABLO DE JESUS ROMERO NAVA Campeche 280 -5o. Piso México 11, D. F. Tel: 5-74-75-76	FOIR-BANRURAL Campeche 280-5o. Piso México 11, D. F. Tel: 5-84-32-14
88. JOSE DE JESUS ROMO DOMINGUEZ Ventura Salazar No. 328-3 Zacatecas, Zac.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS González Ortega 325 Bis. - 2 Zacatecas, Zac. Tel: 2-19-46
89. ING. JOSE LUIS ROSAS LOPEZ Cefeo 163 Prado Churubusco Prado Churubusco México 13, D. F. Tel: 5-82-09-01	PROYECTOS ESPECIALIZADOS DE INGENIERIA Tabasco 119 Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-25-39-70
90. ING. JOSE LUIS RUIZ ESTRADA Alcatraces No. 126 Izcallí Cuauhtémoc II Toluca, Mex. Tel: 58433	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Independencia No. 1327- Ote. Toluca, Mex. Tel: 58515
91. ING. GERMAN IGNACIO RUIZ PADILLA Legaspi 1450 La Paz B. C. Tel: 21300	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Revolución 1145 La Paz B. C. Tel: 2-30-14

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25
AL 29 DE JUNIO DE 1979)

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|--|---|
| 92. EDUARDO RIVALCABA SANCHEZ
J. Santos Chocano 2919
Fabriles
Monterrey; N. L.
Tel: 74-20-25 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Cuauhtémoc Nte. 230
Monterrey, N. L.
Tel: 74-20-25 |
| 93. ING. JOSE EMILIO SALMERON FLORES
Av. Zaragoza No. 405 Nte.
Lerdo, Dgo.
Tel: 4-69-81 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Fco. I. Madero No. 385 Nte.
Lerdo, Dgo.
Tel: 4-19-81 |
| 94. ING. PEDRO A. SANCHEZ ALCOCER
Ruiz Cortinez No. 106
Campeche
Tel: 6-38-42 | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Calle 10 No. 219
Campeche
Tel: 6-55-33 |
| 95. ANDRES SOJO GARZA
Retorno Uno No. 2
La Calera
Puebla, Pue.
Tel: 46-60-00 | HYLSA
Apdo. Postal 842
Puebla, Pue.
Tel: 46-60-00 |
| 96. JOSE LUIS SOSA AMADOR
Jupiter 74
Arcos de la Cuautitlan
Hacienda Izcalli | GEOPRESA, S. A.
Haure 86-3er. Piso
Col. Juárez
México 7, D. F.
Tel: 5-14-22-56 |
| 97. ING. JAIME G. TERAN MARQUEZ
Constitución No. 1204
Rio Bravo | SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Constitución No. 1204
Rio Bravo
Tel: 4-07 - 01 |
| 98. ING. AMADOR TORRES CERVANTES
Calle 641 No. 237
Unidad Aragón
México 14, D. F. | REPRESENTACIONES ESPECIALIZADAS, S.A.
Galeana No. 111
Tlalpan
México 22, D. F.
Tel: 5-73-79-00 |

DIRECTORIO DE ASISTENCIAS AL CURSO PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL 25 AL AL 29 DE JUNIO DE 1979)

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

99. ING. RODOLFO TORRES GUERRERO
Rubi No. 55
Col. Estrella
México 14, D. F.
Tel: 7-81-53-63
100. ING. PABLO E. TORRES SALMERON
Pasadena 18
Col. del Valle
México 12, D. F.
101. ERNESTO H. TREVINO ADAME
Calle 2 No. 680
Fracc. Camino Real
Colima, Col.
102. ING. ERNESTO ULLQA CASTILLEJOS
Edif. Aldama Entre "C"
Depto. 211
Nonoalco Tlatelolco
Col. Cuauhtémoc
México 3, D. F.
Tel: 5-97-24-45
103. ING. MIGUEL A. VALDERRABANO PESQUERA
Lago Patzcuaro No. 76-3
Col. Anáhuac
México 17, D. F.
Tel: 5-31-75-91
104. ING. ROBERTO G. VIGIL RODRIGUEZ
Allende 1 Depto. 12
Chilpancingo, Gro.
5. ING. JORGE YANEZ CANTU
Cabo Verde 129
Vista Hermosa
Monterrey, N. L.
Tel: 48-77-20
- SAHOP
Reforma 77 9o. Piso
San Rafael
México 4, D. F.
Tel: 5-91-14-82
- CIA. MEXICANA AEROFOTO
11 de Abril 338
Col. Escandón
México 18, D. F.
Tel: 5-16-34-69
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Basilio Vadillo y Medellín
Colima, Col.
Tel: 2-24-54
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Ignacio Ramírez No. 20-4o. Piso
México, D. F.
Tel: 5-66-38-48
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Vallarta No. 1-908-A
Col. Tabacalera
México 1, D. F.
Tel: 5-35-45-13
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Av. Rufo Figueroa S/N
Chilpancingo, Gro.
Tel: 2-37-05 .
- PERFORACIONES BOMBAS Y AFOROS, S.A.
Calzada del Valle 125-A
Col. del Valle
Monterrey, N. L.
Tel: 48-77-20

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA (DEL
25 AL 29 DE JUNIO DE 1979)

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

106. ING. JAIME ZATARAIN AVILES
Ignacio Ramírez No. 787
La Paz, B. C.
Tel: 2-39-15

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
Revolución No. 430 Nte.
La Paz, B. C.
Tel: 2-02-78

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO PERFORACION DE
POZOS PARA AGUA

1. ING. JORGE ENRIQUE ALVARADO ORTUÑO
Subdirector de Geohidrología y Zonas Áridas
Dirección de Geohidrología
S.A.R.H.
P. de la Reforma No. 69-19°
México 6, D.F.
Tel. 591.09.48 y 591.19.48
2. ING. ANDRES BENTON CUELLAR
Jefe de Superintendentes
Desarrollo de Recursos Naturales
Sección Perforaciones
Grupo ICA
Minería 145 Entrada 1-1°
México 18, D.F.
Tel. 516.04.60 Ext. 382 ó 166
3. ING. JOSÉ MARIA BOLIVAR DEL VALLLE
Gerente
Construcciones Horizonte, S.A.
Galeana No. 111
México 22, D.F.
Tel. 573.79.00 Y 573.78.96
4. ING. CARLOS CRUICKSHANK VILLANUEVA
Subdirector
Coordinación Hidráulica
Instituto de Ingeniería
UNAM
Tel. 550.52.15 Ext. 3606
5. ING. ROBISSEL CHIÑAS LALO
Director General
Ingeniería y Geotécnica, S.A.
Tajín 147
México 12, D.F.
Tel. 519.23.26 y 538.28.77

6. **ING. RAFAEL ALVARO JIMENEZ GRANADO**
Asesor Técnico
Dirección General de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola
para el Desarrollo Rural
Subdirección de Construcción
Reforma 69-7^o
México, D.F.,
Tel. 546.81.76

7. **ING. LUIS LARA TRUJILLO**
Superintendente General de Nuevas Técnicas
Gerencia de Exploración
PEMEX
Marina Nal. 329 Edif. A-6^o
México 17, D.F.,
Tel. 531.63.08

8. **Dr. Jay H. Lehr**
Director
National Water Well Association
500 West Wilson Bridge Road
Worthington, Ohio 43085
U.S.A.

9. **ING. GILBERTO LEON MARTINEZ**
Jefe del Departamento de Equipos de
Bombeo y Electromecánica
S.A.R.H.
Vallarta No. 1-9^o Despacho 908 A
México 1, D.F.
Tel. 592.05.60

10. **ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES**
Subjefe del Departamento de Exploración
Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas
S.A.R.H.
Abraham González 3 Entrepiso
México 6, D.F.
Tel. 535.09.76

11. **ING. HEINZ LESSER JONES**
Subdirector
Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas
S.A.R.H.
P. de la Reforma No. 69-19^o
México 6, D.F.
Tel. 591.08.37

12. ING. FERNANDO LOPEZ OCHOA
Jefe del Departamento de Electromecánica
Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas
S. A. R. H.
Abraham González 3 Entrepiso
México 6, D.F.
Tel. 566.26.64

13. ING. JORGE MAGAÑA AGUILAR
López Mateos 455
Col. J. Siller
Garza García, N.L.
Tel. 78.19.77

14. ING. RAFAEL MARTINEZ GARCIA
Encargado de Fluidos de Perforación
Gerencia de Perforación
PEMEX
Marina Nal. 329 Edif. 1810-7°
México 17, D.F.
Tel. 531.61.97

15. ING. JOSE FELIPE ITUARTE OLIVO
Constructora y Perforadora Latina S.A.
Benito Juárez 2099 Altos Esq. Curtidores
Mexicali, B.C.
Tel. 833.99

16. ING. JUAN JOSE ROCHA RANGEL
Gerente General
Rocha y Asociados, S.A.
Retorno Miguel Lanz Duret N.42
Col. Periodista
México 10, D.F.
Tel. 557.30.85

17. ING. ROBERTO FRANYUTTI GARCIA
INGENIERO EN DISEÑO
CIA. Atlántida de México, S.A.
Fernando Alba Iztlixochitl 44-16
México 8, D.F.
Tel. 578.48.44

18. ING. JOSE LUIS SANCHEZ LAZCANO (Coordinador)
Director General
La Olmeca, S.A.
Culiacán 123-7^o
México 11, D.F.
Tel. 574.52.13.

19. ING. JORGE ANTONIO TRUJILLO CANDELARIA
Jefe del Depto. de Exploración
Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas
S.A.R.H.
Abraham González 3 Entrepiso
México 6, D.F.
Tel. 535.09.76



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

CEREMONIA DE APERTURA

ING. MANUEL ANAYA Y SORRIBAS

..

CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA.

SEÑORES PROFESORES.

SEÑORES INGENIEROS Y TECNICOS EN PERFORACION.

SEÑORAS Y SEÑORES:

Tengo la satisfacción de asistir a esta ceremonia con la honrosa representación del señor Ing. Américo Villarreal Guerra, Subsecretario de Infraestructura Hidráulica de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, que lamenta no haber podido acompañarlos por compromisos urgentes derivados del cargo que desempeña.

. . . #

Es grato conocer de las actividades tan positivas que desarrolla el Centro de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para difundir los avances que en el mundo se están logrando en los campos técnicos, científico y humanístico, dando lugar con ello a que en nuestro País se mantenga el interés por el progreso y se facilite la aplicación de aquellos conocimientos que representan mayores y mejores apoyos para alcanzar las metas de superación que nos proponemos.

Por lo anterior, debemos felicitar, además de las autoridades de la Facultad de Ingeniería, a la Sociedad Geológica Mexicana, A.C. y la Asociación Geohidrológica Mexicana, A.C., que respaldan la realización de este Curso, haciendo votos porque se continúen actividades docentes como las que aquí nos congregan, para actualizar y depurar los conocimientos de nuestros especialistas.

El mundo está empeñado en una lucha permanente por corregir las carencias y deficiencias en la provisión y uso del agua, lucha en la que participa nuestro País en forma destacada, pues a pesar de contar en algunas regiones con recursos acuíferos superficiales abundantes, la mayor parte de nuestro territorio presenta escasez acentuada de corrientes permanentes y, por lo mismo, la importancia del agua subterránea adquiere gran relieve, pues representa una fuente continúa, segura y confiable cuando se explota racionalmente, es decir, respetando las características y condiciones singulares que presenta cada manto, el cual constituirá un fondo permanente de beneficios para el hombre, si no se le sobreexplota, ni se daña su calidad.

En México, como ustedes bien lo saben, el agua subterránea tiene una amplia aplicación en el abastecimiento de la gran mayoría de nuestras poblaciones, incluidas las más importantes, como son la Ciudad de México y su área Metropolitana, Monterrey, Guadalajara en alguna proporción, Cd. Juárez, Puebla, Mérida, Veracruz y otras muchas. Además se sirven de las aguas subterráneas en forma exclusiva o complementariamente, muchas áreas de regadío algunas de gran importancia como la Costa de Hermosillo, Guaymas, Mexicali, el Valle de Juárez, el Bajío y un gran número de pequeñas extensiones que constituyen las Unidades de Riego para el Desarrollo Rural.

Sin embargo, los estudios Geohidrológicos que en forma sistemática realiza la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, nos indican que aún hay regiones subexplotadas en donde es posible emprender con apoyo en las aguas subterráneas; nuevos desarrollos agropecuarios o impulsar los existentes y para éello se ha puesto en marcha el Programa Nacional de Perforación de Pozos como parte de las acciones emprendidas por la Administración del Presidente López Portillo para incrementar la producción y productividad en el campo. Este programa se ejecuta conjuntamente con el Banco Nacional de Crédito Rural y los usuarios, teniendo señalado un período de 18 meses para su realización, que concluirá en el mes de julio de 1980.

Las metas que se propone alcanzar el Programa, incluyen la construcción de 2 mil 395 unidades de riego por bombeo, para beneficio de 131 mil hectáreas, en las que se considera un 50% de repetición de cultivos.

Actualmente se tienen perforados 1 596 pozos, que representan un 67 por ciento del total, debiendo terminarse los trabajos de perforación en el 33 por ciento restante, durante el presente año.

Los trabajos en ejecución inciden mayormente en los Estados de Zacatecas, Veracruz, Coahuila, Guanajuato y Yucatán que disfrutarán al finalizar 1979, de buena parte de las 50 mil 500 hectáreas que están incluidas en las metas a lograr durante este año, y también cabe destacar que a la fecha, se tienen integradas un total de 1096 nuevas unidades de riego que corresponden al 45 por ciento de las que habrán de establecerse y se han equipado 1 296 pozos, que representan el 51 por ciento de los equipos.

SEÑORAS Y SEÑORES:

El Programa Nacional de Perforación de Pozos es un gran esfuerzo que realiza el pueblo de México a través de las instituciones oficiales para impulsar el desarrollo agropecuario, a efecto de satisfacer las demandas de alimentos de la población en constante y rápido crecimiento.

Los que en él intervienen, en muy diversos campos de competencia, tienen la responsabilidad de su cabal cumplimiento. Todos deberán poner en juego su inteligencia, unos en la observación directa y minuciosa del terreno para señalar la localización de las perforaciones, otros con su organización para que el trabajo se efectúe sin interrupciones pues éstas lo hacen oneroso y retardan los beneficios.

Un lugar destacado en la ejecución del programa lo tienen quienes aportan su habilidad en el manejo de los equipos de perforación, cada vez más sofisticados. Ustedes los técnicos y los ingenieros que operan esos equipos, tienen que interpretar el comportamiento de todos los medios que se utilizan en los sondeos y en las perforaciones de explotación, para detectar las condiciones que determinan la presencia de agua, pues de otra manera podrían condenarse como inexistentes, acuíferos que pueden ser productivos.

Las anteriores reflexiones nos hacen ver con especial interés el Curso sobre Perforación de Pozos para Agua que hoy se inicia, el que seguramente redundará en beneficio del Programa a que hemos hecho amplias referencias y a los Programas que estamos seguros habrán de adoptarse a continuación, para una más amplia explotación de los recursos de aguas subterráneas que nos brinda el territorio nacional

MUCHAS GRACIAS.

ING. MANUEL ANAYA Y S.

S.T. 17-VI-1979.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

GENERALIDADES SOBRE LA INTRUSION SALINA
EN ACUIFEROS COSTEROS Y METODOS DE CONTROL

ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

JUNIO, 1979.



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.



RECARGA ARTIFICIAL.

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.

BARRERA 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-
rrera dependerá de las características hidráulicas del acuífe-
ro, en especial de la capacidad específica de un pozo de bom-
beo perforado en la zona.

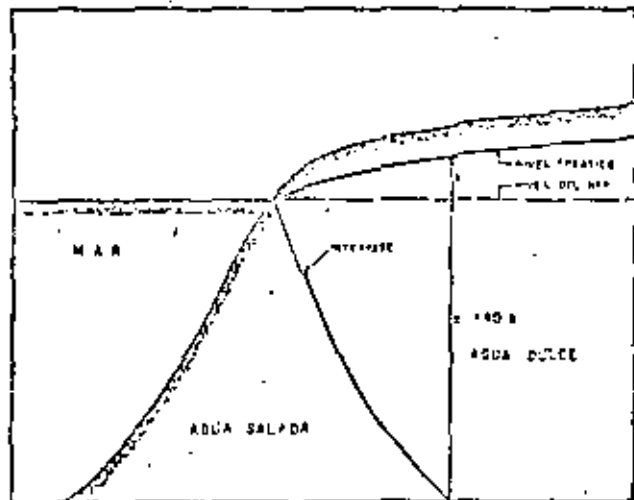
METODO COMBINADO; BARRERA POR POZOS DE BOMBEO BARRERA POR PO- ZOS DE INYECCION.

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

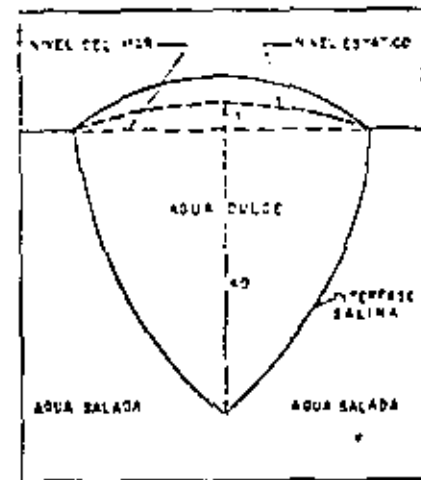
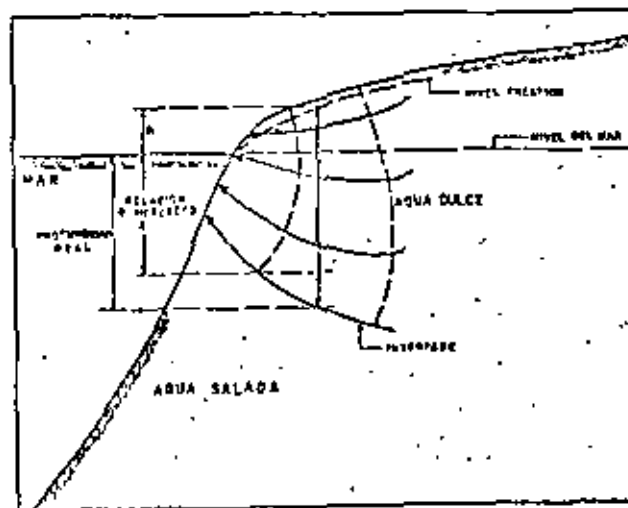
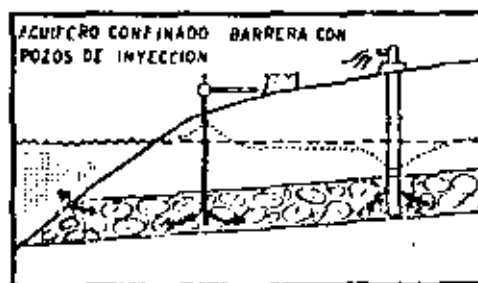
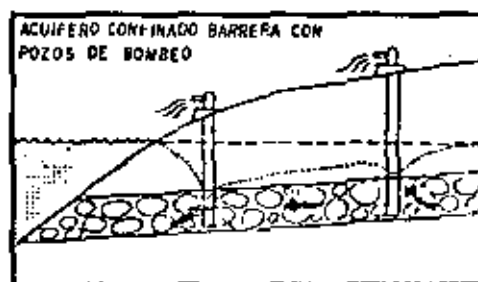
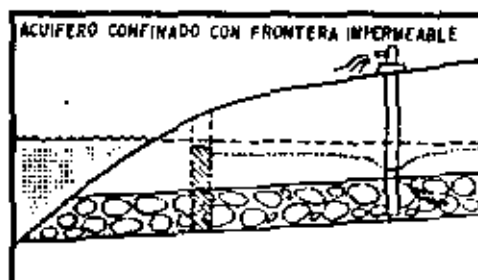
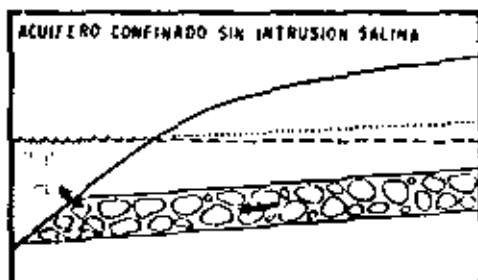
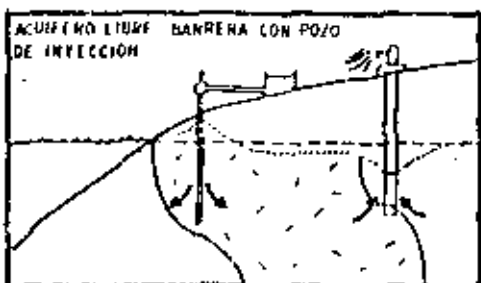
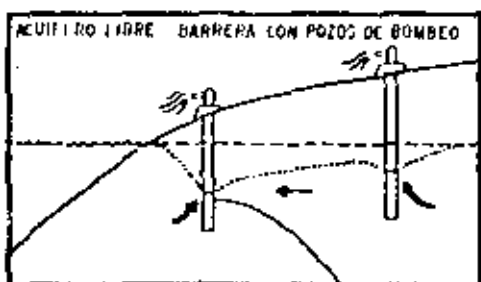
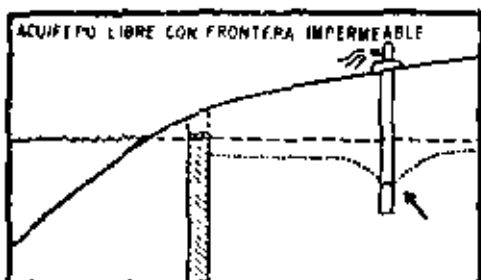
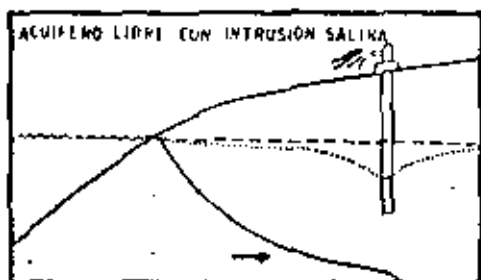
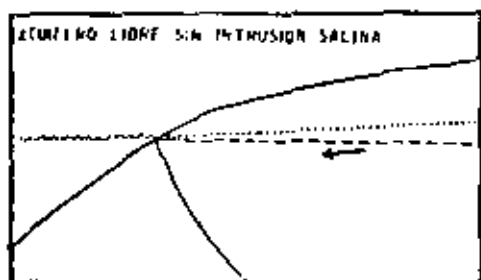


FIG:2 POSICION DE LA INTERFASE SALINA EN UNA ISLA



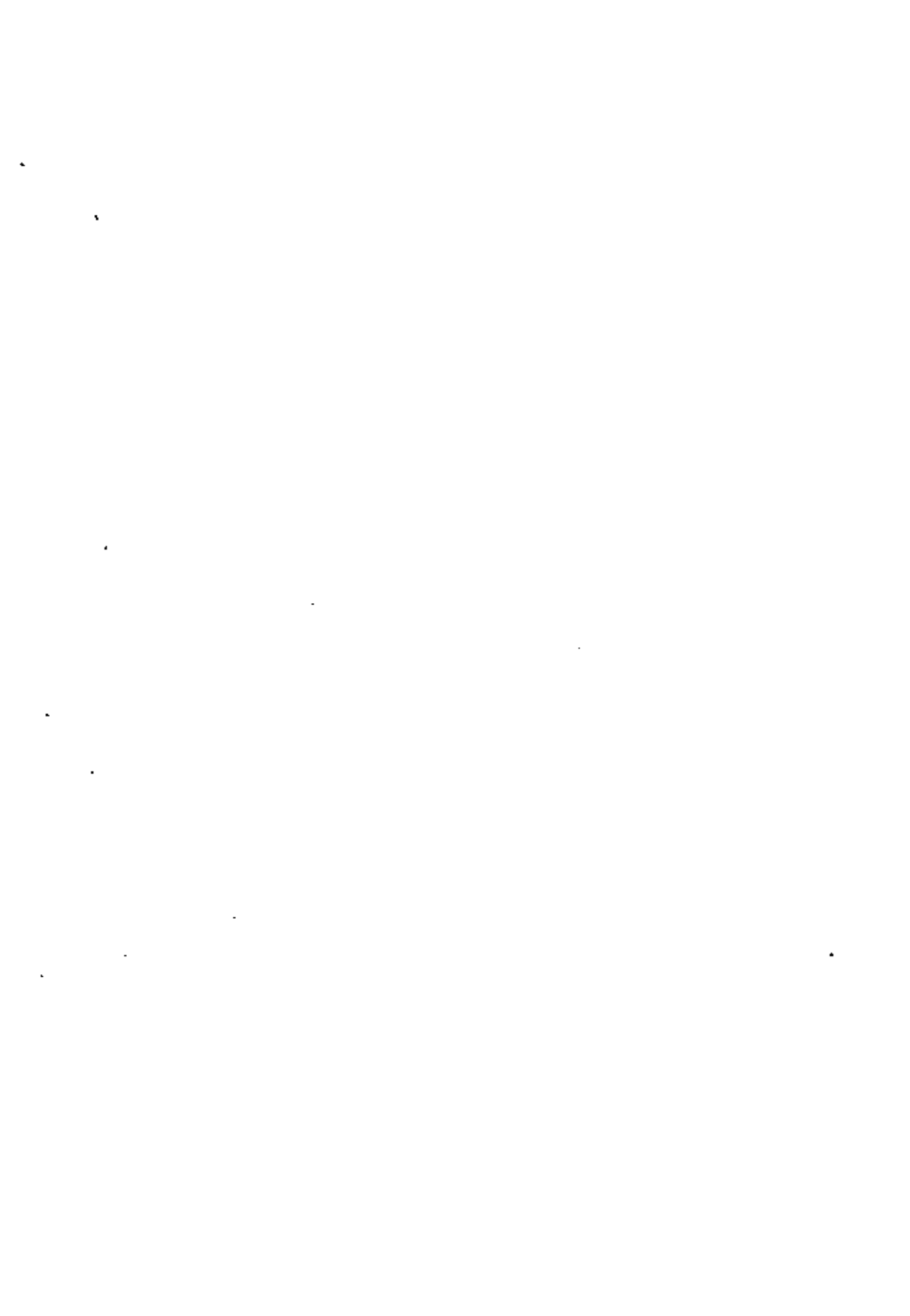
DISCREPANCIA ENTRE LA PROFUNDIDAD REAL A LA INTERFASE Y LA CALCULADA POR G.HERZBERG.

FIG - 3



NIVEL GEOMETRICO NIVEL DEL MAR ----- AGUA DULCE [] AGUA SALADA [] AGUA INYECTADA []

FIG. 4





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



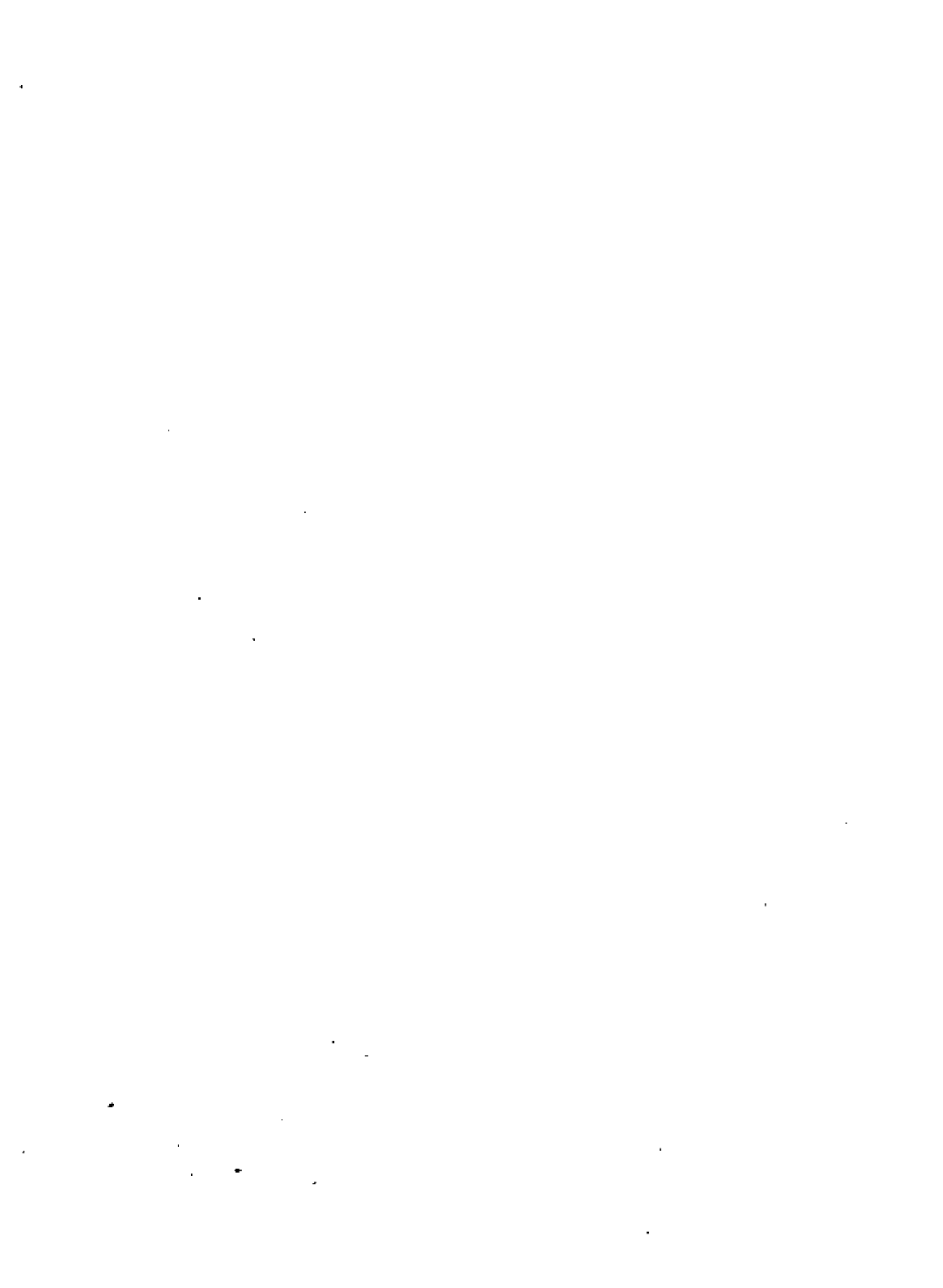
PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EL USO Y LA APLICACION DE TRAZADORES

PARA AGUA SUBTERRANEA

ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

JUNIO, 1979.



EL USO Y LA APLICACION DE TRAZADORES
DE AGUA SUBTERRANEA

Por: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

RESUMEN

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 fluorocinas, sales espaciales e isótopos.

FLUOROCINAS

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 fluorocina de sodio que presenta un color naranja en soluciones concentra

das (más 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 NH₃. 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 1×10^{-2} y 2×10^{-6} ppm son medidas con espectrofluorómetro.

La intensidad máxima de fluorescencia se detecta a una longitud de onda de 515×10^{-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 2×10^{-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 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 535×10^{-9} m.

Cuando se presentan valores mayores de 0.01 ppm, es visi- ble al ojo humano. Entre 0.01 y 50×10^{-6} ppm, puede detectarse con espectrofluorómetro. Concentraciones menores se concentran con carbón activado del cual puede extraerse añadiendo una subs- tancia compuesta por ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF) y - dos de agua destilada.

Al utilizarse junto con rhodamina FB o uranina, se produ- cen interferencias por lo que su aplicación conjunta es limitada.

ANTHORRHODAMINA G EXTRA.- Conocida anteriormente como sulforhoda-

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 554×10^{-9} m. Es visible en concentraciones mayores de 0.01 ppm y con espectrofluorómetro pueden detectarse hasta 6×10^{-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 578×10^{-9} m. Es visible al ojo humano en concentraciones mayores de 0.01 ppm. Con espectrofluorómetro se detectan hasta 10×10^{-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.

ETHOPAL CBS-X. - Presenta un color verde con fluorescencia azul. Su mayor intensidad se determina a una longitud de onda de 430×10^{-9} m. Es visible solamente en concentraciones mayores de 1 ppa. Con espectrofluorómetro se pueden detectar hasta 440×10^{-3} ppa. Valores menores son concentrados por medio de carbón activado del cual la fluoriceína puede extraerse agregando unas gotas de una solución que contenga ocho partes de N-N dimetilformidina (DMF) y dos de agua destilada. Este producto, es absorbido por arcillas.

EXPERIENCIA 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 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 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 m de profundidad, se perforaron 9 pozos a 3" de diámetro y 5 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 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 entra 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. Kass, en H. Batsche et. al., 1970), donde después de 4 días, se encontró en uno de los manantiales de observación un incremento de cloruros de solo 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 fluorina (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 lados 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 pizca 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 ¹⁸O. 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 δ como sigue:

$$\delta D = \frac{(D/H)_{\text{MUESTRA}} - (D/H)_{\text{SNOW}}^*}{(D/H)_{\text{SNOW}}} \times 1000$$

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.

Tomando 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 20,000 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: fluorocinas, 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 fluorocinas, 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.

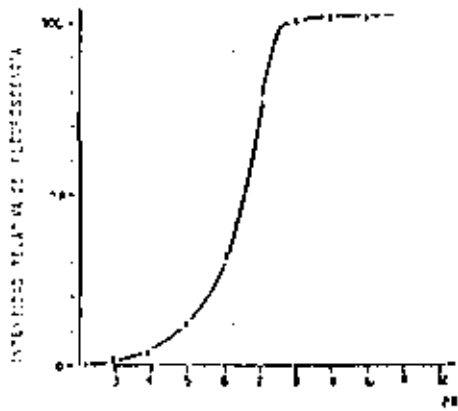


FIGURA 1

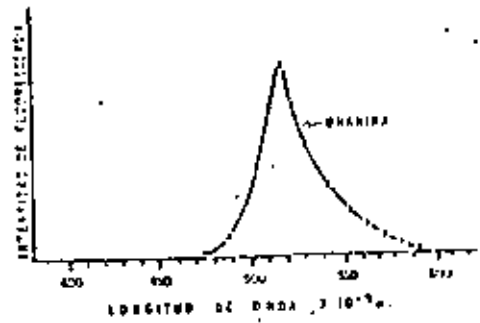


FIGURA 2

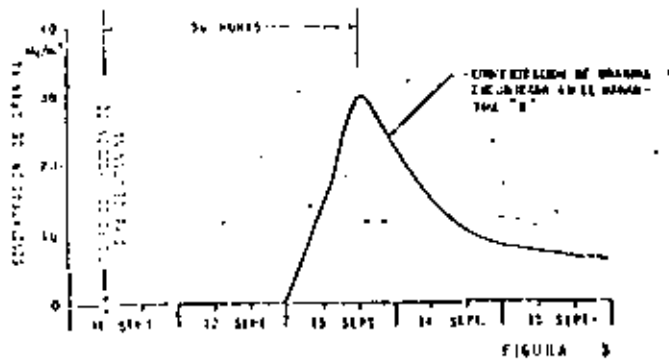


FIGURA 3

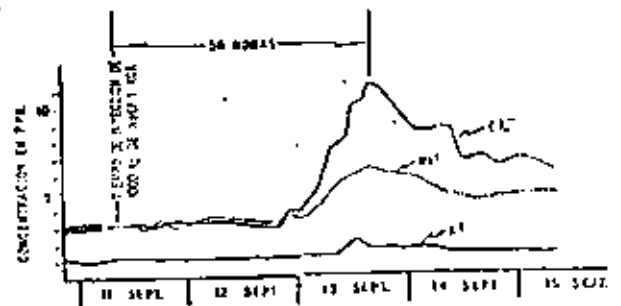
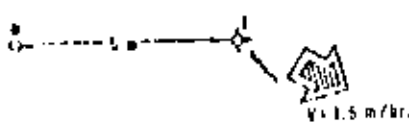


FIGURA 4



EXPLICACION

- 1 PUNTO DE INYECCION
- 2 PUNTO DE MEDICION
- 3 DIRECCION Y VELOCIDAD DEL FLUIDO

- 4 = 1
- 5 = 5 metros
- 6 = 100 minutos



FIG. 6

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. Zotl., 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 County 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 Apéndice 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. "Envolution 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.B., 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 R., 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".



centro de educación continuã
división de estudios superiores
facultad de Ingeniería, unam.



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

HIDROGEOQUIMICA

ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

JUNIO, 1979.



H I D R O G E O Q U I 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 magnéticas 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

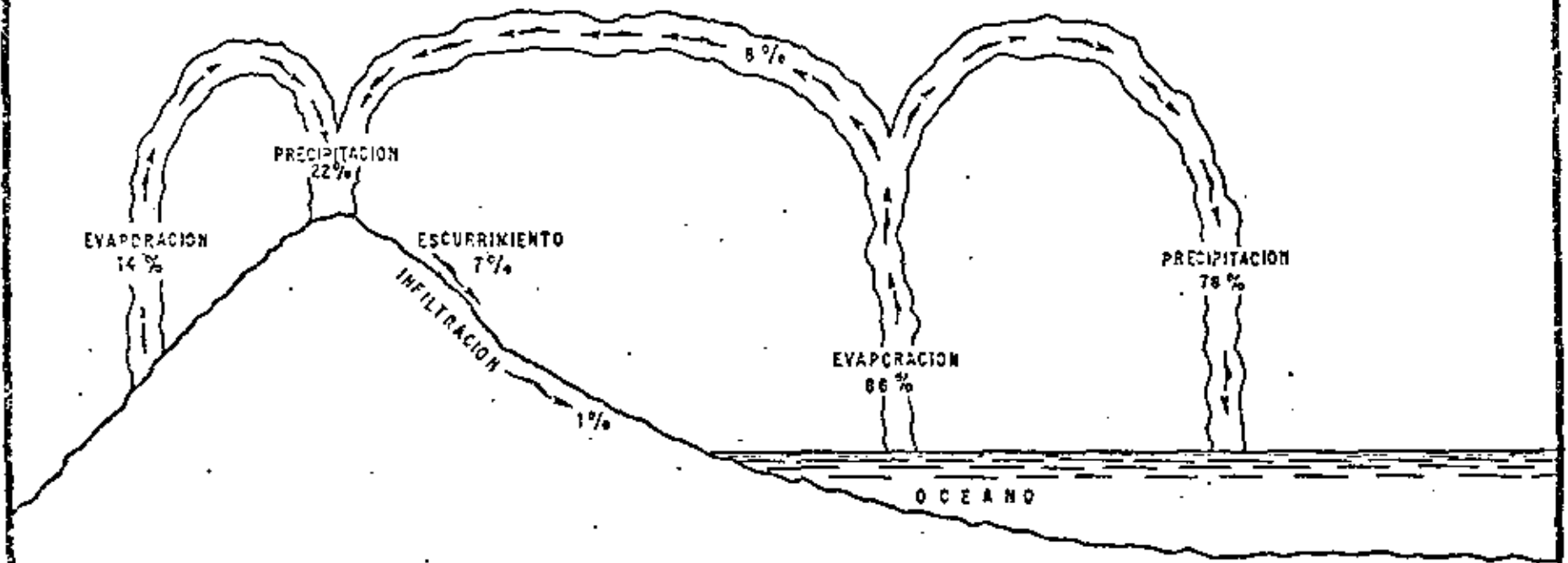


FIG.- 1

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.

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.

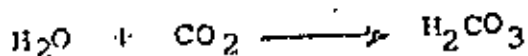
La composición química general del agua de lluvia, según Garrels y Mackenzie (1971), es la siguiente: (Figs. 2 y 3)

Na	1.98 ppm	Ca	0.09	HCO ₃	0.12
K	0.30	Cl	3.79		
Mg	0.27	SO ₄	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

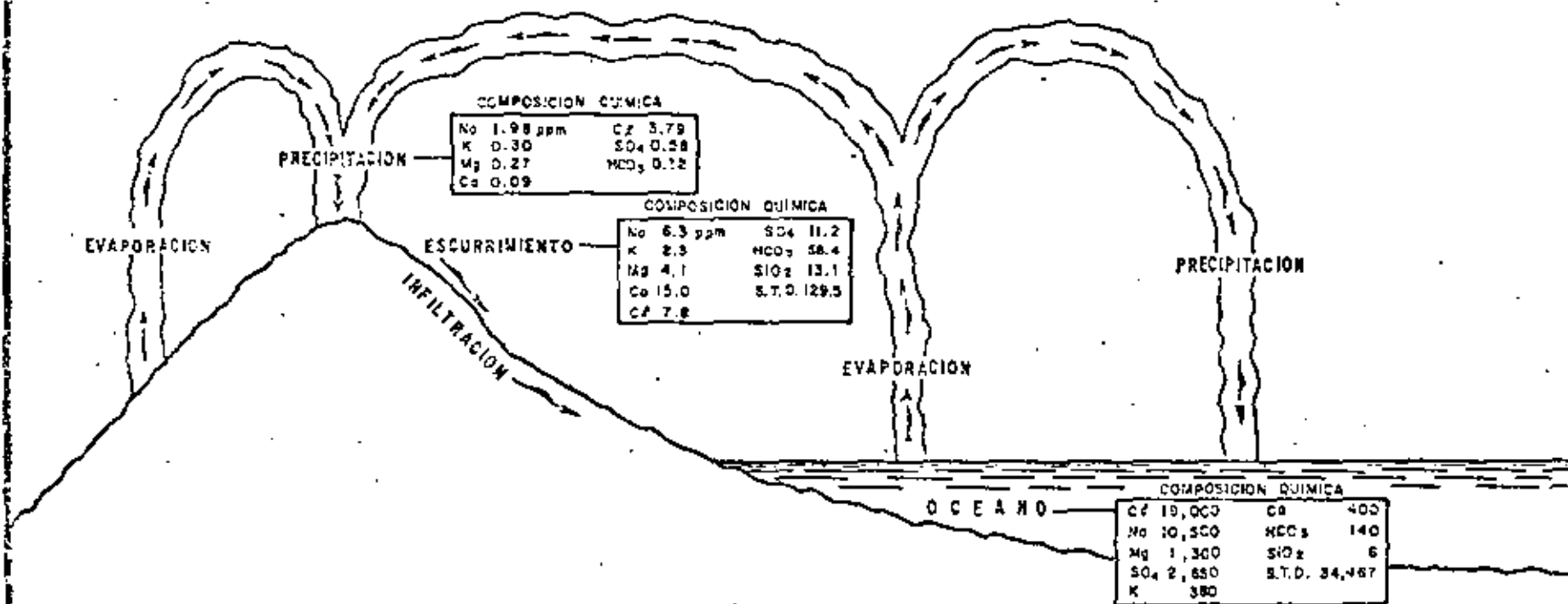


FIG 2

ILUSTRACION SOBRE LA COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA EN DIVERSAS CIRCUNSTANCIAS

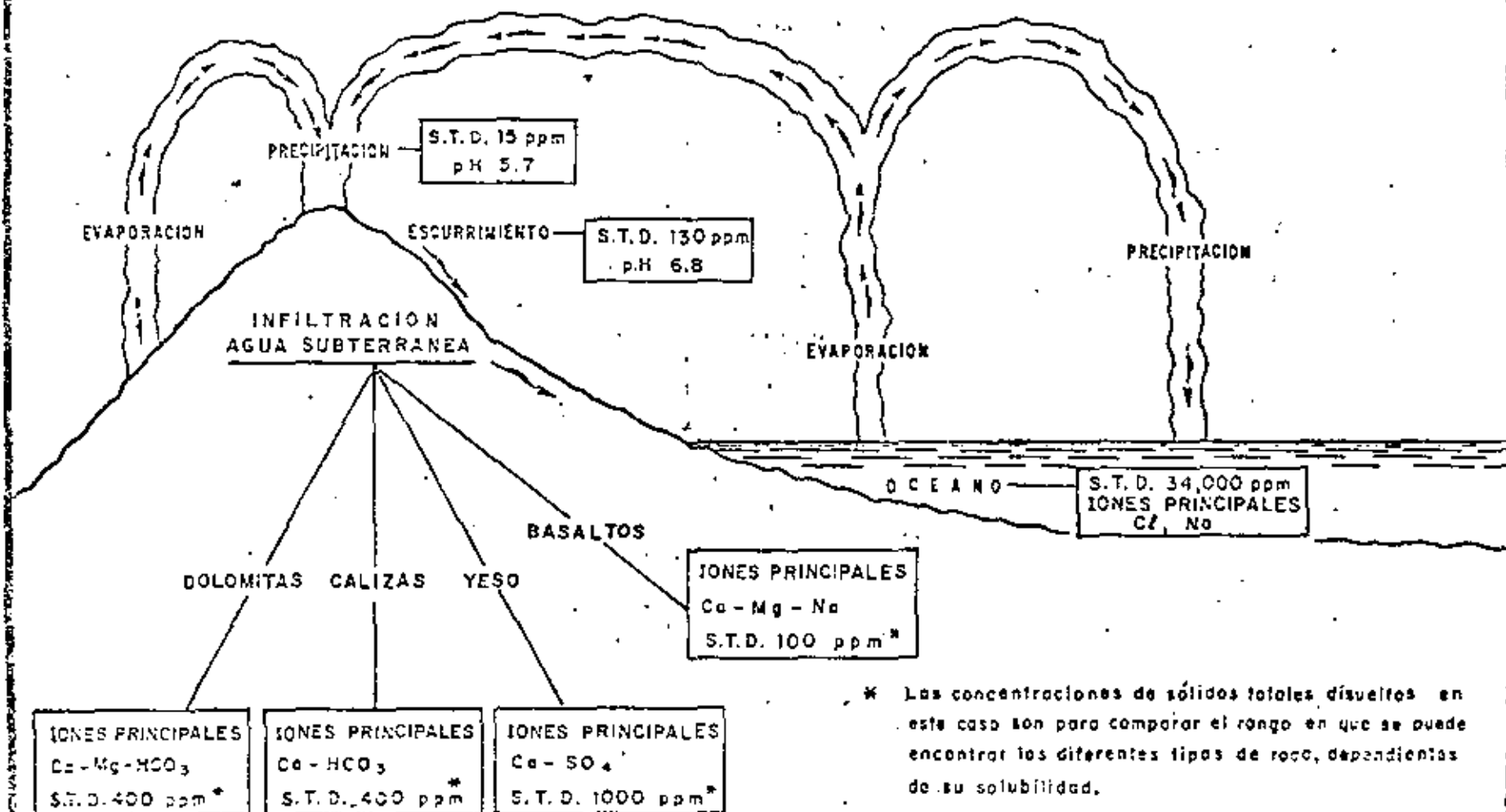


FIG - 3

Este ácido, tiene un gran poder de disolución y es 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 ₃	58.4	S.T.D.	129.5
Mg	4.1	SiO ₂	13.1		
SO ₄	11.2	NO ₃	1.0		
K	2.3	Fe ⁺⁺	0.67		

- c) 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 ₃	140
Mg	1,300	SiO ₂	6
SO ₄	2,650	S.T.D.	34,467
K	380		

- 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):

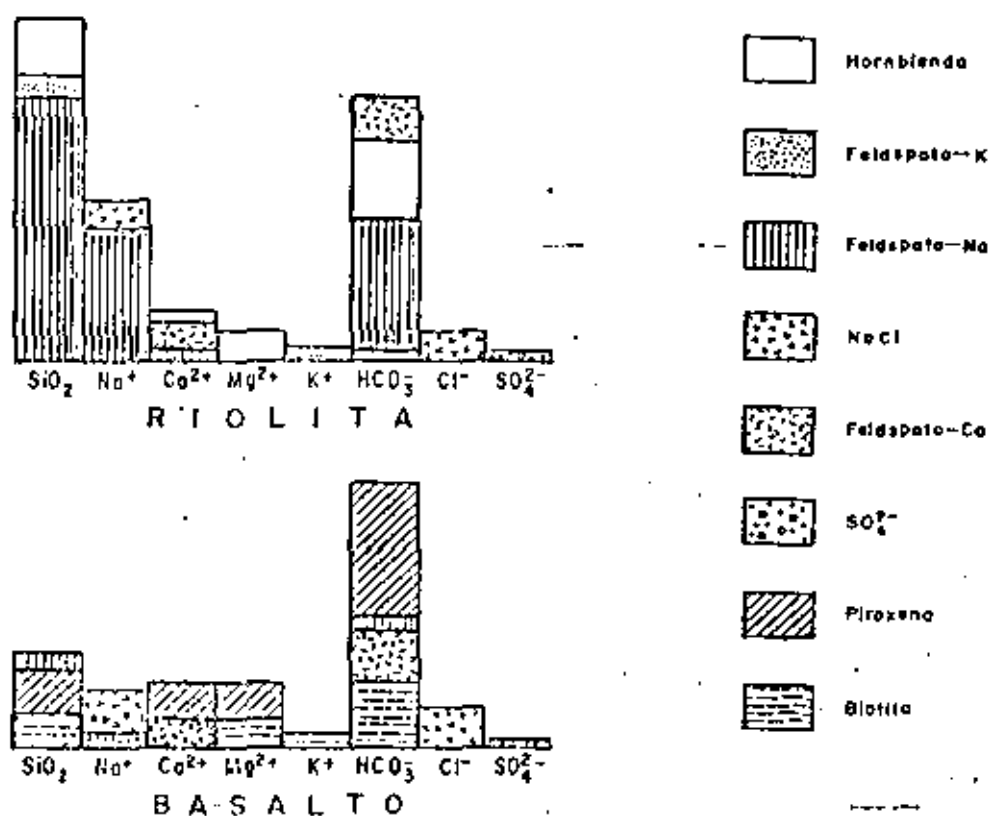
3.1. SELECCION Y MUESTREO DEL AGUA SUBTERRANEA

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.

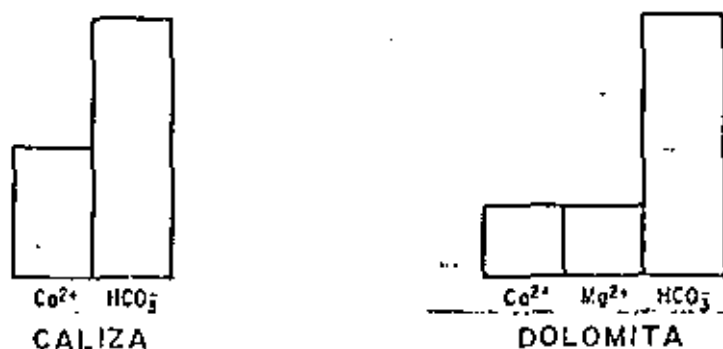
El muestreo se debe efectuar usando frascos de polietileno de un litro de capacidad, con doble tapa. Los frascos deben llenarse totalmente para evitar la gasificación de algunos componentes que podría provocar reacciones químicas y alterar la composición de la muestra que es representativa de enormes 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

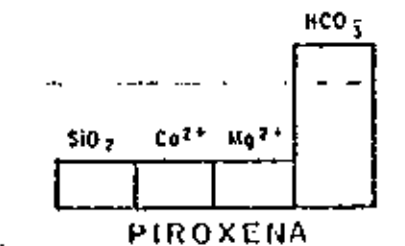
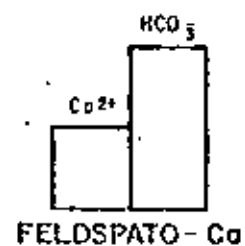
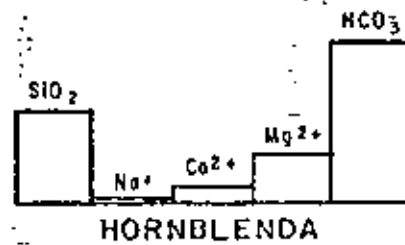
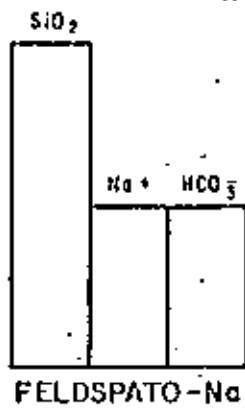
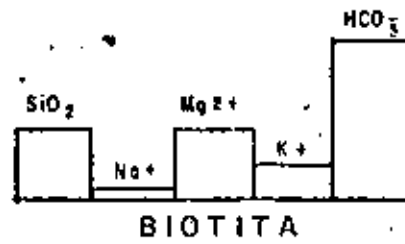
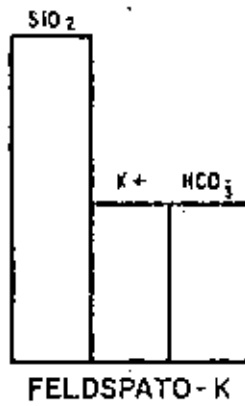


RECONSTRUCCION EN HISTOGRAMAS DE LA COMPOSICION DEL AGUA DE RIOLITAS Y BASALTOS



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

ANALISIS FISICO - QUIMICOS

ELABORACION DE PLANOS, Y DIAGRAMAS E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

- 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 BOTE LLA DE POLIETILENO DE UN LITRO DE CAPACIDAD

DETERMINACION DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO, POTASIO, BICARBONATO, CLORURO, SULFATO, - SOLIDOS TOTALES DISUELTOS, ETC.

TABLA RESUMEN CONFIGURACIONES DIAGRAMAS-TRIANGULARES ETC.

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 (HCO_3 , Cl, 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 FeO, MnO, 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, donde 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.

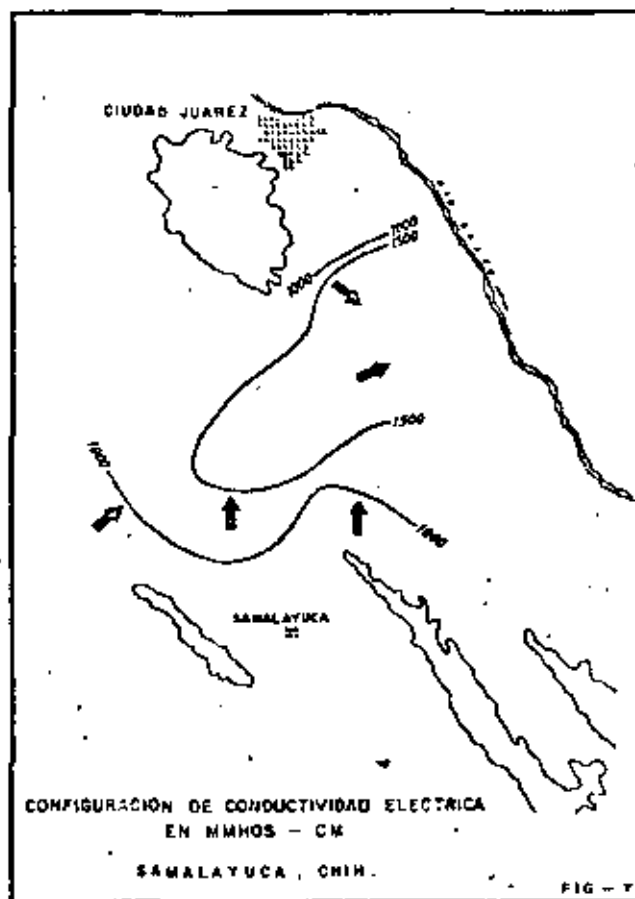
Las concentraciones aumentan de la Sierra de La Gloria, hacia el noreste y después hacia el sureste, a lo largo del río Chuiscar, mostrando que la dirección del agua subterránea es hacia el sureste.

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.

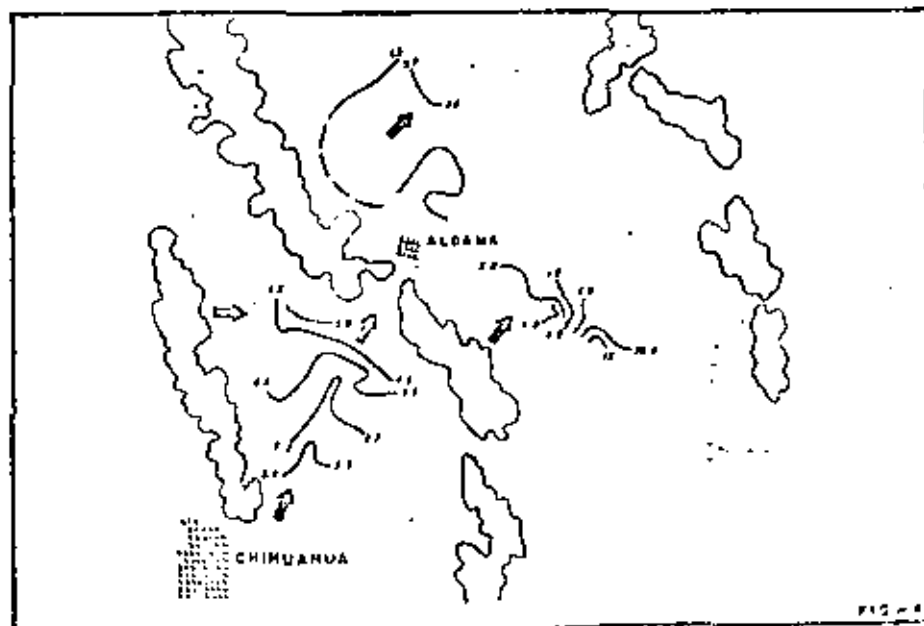
Por lo tanto, de estas configuraciones se obtiene, entre otras cosas, la zona de alimentación del acuífero y dirección del flujo, el cual coincide con el encontrado por métodos piezométricos.

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 se encuentran localizadas en los vértices con los por-



CONFIGURACION DE SOLIDOS TOTALES EN ME/L; CHIHUAHUA-ALDAMA, CHIH.



ZONA DE
RECARGA

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

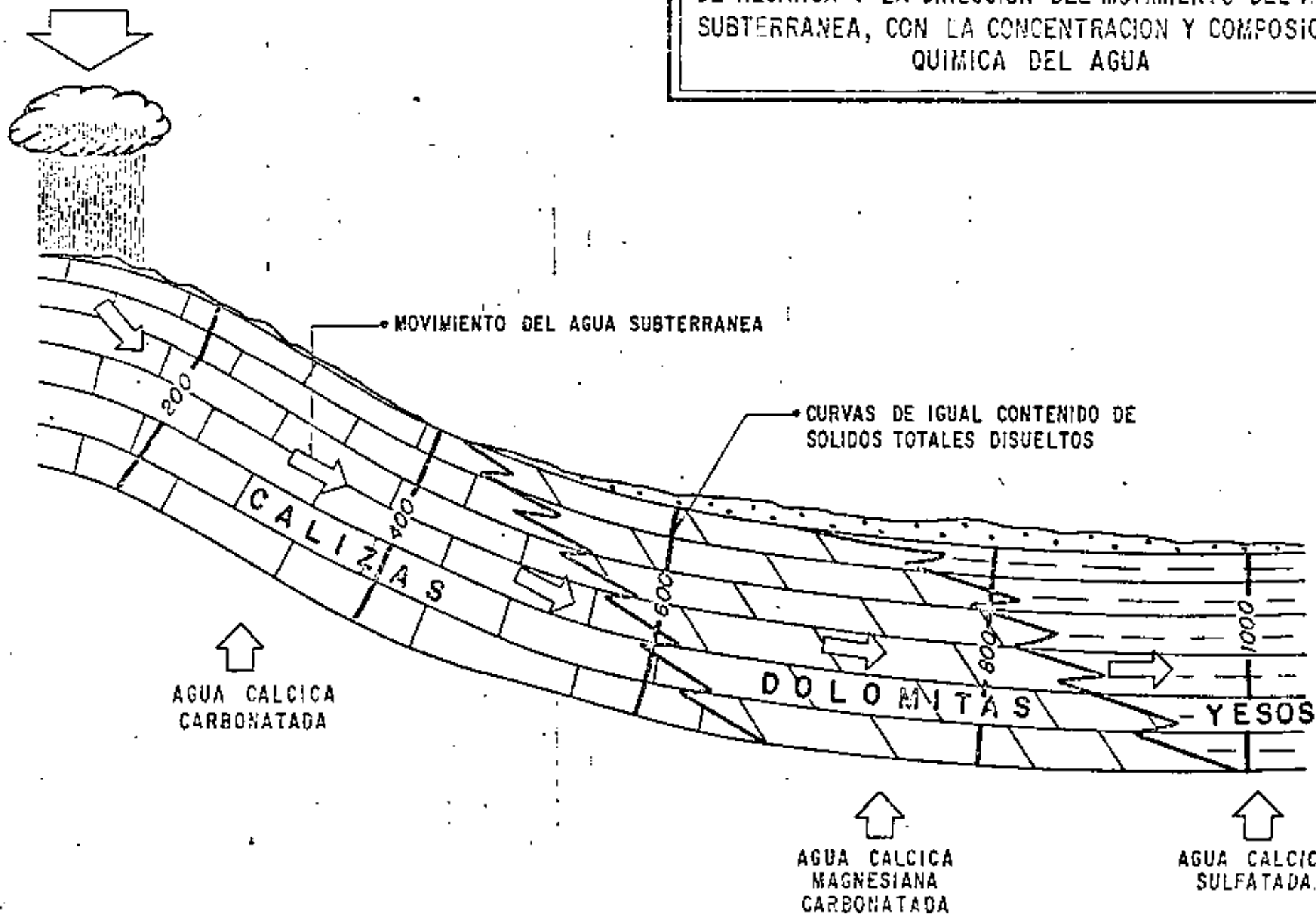


DIAGRAMA TRIANGULAR

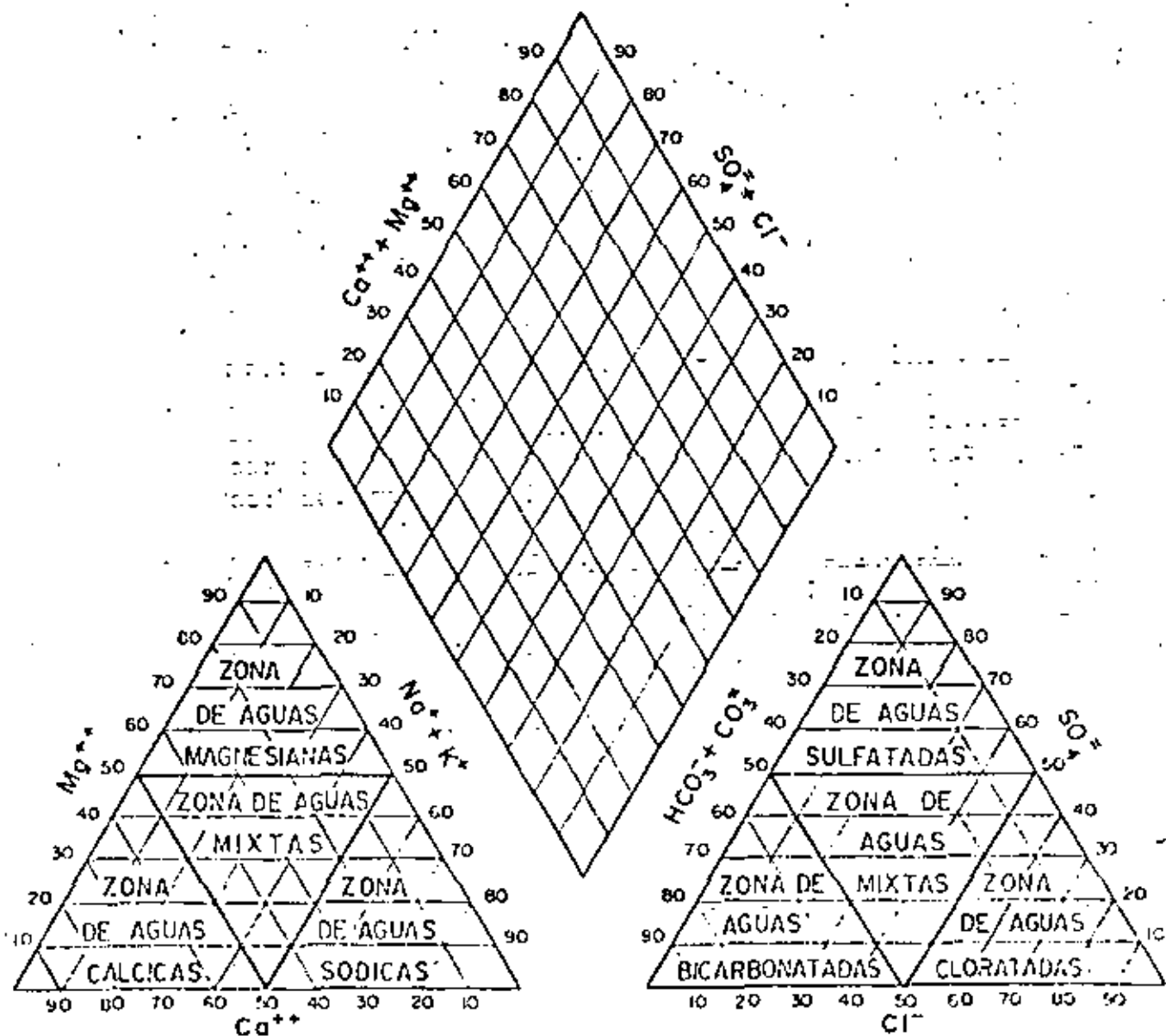


FIG - 10

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.

- d) 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 encontró 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-

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO
ZONA IXTLERA DEL ESTADO DE ZACATECAS

MUESTRA Nº	DENOMINACION	C.C. (ppm)	H2O (g/100)	MATERIA VIEJA (g/100)	FECHA MUESTREO	CANTIDAD TOTAL (g)	S (g/100)	STO (g/100)	CO2 (g/100)	Cv		N1		N2		E		HCO3		SO4		Cl		NO3		H2O2	H2O3	H2O4	H2O5	H2O6	H2O7	H2O8	H2O9	H2O10	H2O11	H2O12	H2O13	H2O14	H2O15	H2O16	H2O17	H2O18	H2O19	H2O20	H2O21	H2O22	H2O23	H2O24	H2O25	H2O26	H2O27	H2O28	H2O29	H2O30	H2O31	H2O32	H2O33	H2O34	H2O35	H2O36	H2O37	H2O38	H2O39	H2O40	H2O41	H2O42	H2O43	H2O44	H2O45	H2O46	H2O47	H2O48	H2O49	H2O50	H2O51	H2O52	H2O53	H2O54	H2O55	H2O56	H2O57	H2O58	H2O59	H2O60	H2O61	H2O62	H2O63	H2O64	H2O65	H2O66	H2O67	H2O68	H2O69	H2O70	H2O71	H2O72	H2O73	H2O74	H2O75	H2O76	H2O77	H2O78	H2O79	H2O80	H2O81	H2O82	H2O83	H2O84	H2O85	H2O86	H2O87	H2O88	H2O89	H2O90	H2O91	H2O92	H2O93	H2O94	H2O95	H2O96	H2O97	H2O98	H2O99	H2O100	H2O101	H2O102	H2O103	H2O104	H2O105	H2O106	H2O107	H2O108	H2O109	H2O110	H2O111	H2O112	H2O113	H2O114	H2O115	H2O116	H2O117	H2O118	H2O119	H2O120	H2O121	H2O122	H2O123	H2O124	H2O125	H2O126	H2O127	H2O128	H2O129	H2O130	H2O131	H2O132	H2O133	H2O134	H2O135	H2O136	H2O137	H2O138	H2O139	H2O140	H2O141	H2O142	H2O143	H2O144	H2O145	H2O146	H2O147	H2O148	H2O149	H2O150	H2O151	H2O152	H2O153	H2O154	H2O155	H2O156	H2O157	H2O158	H2O159	H2O160	H2O161	H2O162	H2O163	H2O164	H2O165	H2O166	H2O167	H2O168	H2O169	H2O170	H2O171	H2O172	H2O173	H2O174	H2O175	H2O176	H2O177	H2O178	H2O179	H2O180	H2O181	H2O182	H2O183	H2O184	H2O185	H2O186	H2O187	H2O188	H2O189	H2O190	H2O191	H2O192	H2O193	H2O194	H2O195	H2O196	H2O197	H2O198	H2O199	H2O200	H2O201	H2O202	H2O203	H2O204	H2O205	H2O206	H2O207	H2O208	H2O209	H2O210	H2O211	H2O212	H2O213	H2O214	H2O215	H2O216	H2O217	H2O218	H2O219	H2O220	H2O221	H2O222	H2O223	H2O224	H2O225	H2O226	H2O227	H2O228	H2O229	H2O230	H2O231	H2O232	H2O233	H2O234	H2O235	H2O236	H2O237	H2O238	H2O239	H2O240	H2O241	H2O242	H2O243	H2O244	H2O245	H2O246	H2O247	H2O248	H2O249	H2O250	H2O251	H2O252	H2O253	H2O254	H2O255	H2O256	H2O257	H2O258	H2O259	H2O260	H2O261	H2O262	H2O263	H2O264	H2O265	H2O266	H2O267	H2O268	H2O269	H2O270	H2O271	H2O272	H2O273	H2O274	H2O275	H2O276	H2O277	H2O278	H2O279	H2O280	H2O281	H2O282	H2O283	H2O284	H2O285	H2O286	H2O287	H2O288	H2O289	H2O290	H2O291	H2O292	H2O293	H2O294	H2O295	H2O296	H2O297	H2O298	H2O299	H2O300	H2O301	H2O302	H2O303	H2O304	H2O305	H2O306	H2O307	H2O308	H2O309	H2O310	H2O311	H2O312	H2O313	H2O314	H2O315	H2O316	H2O317	H2O318	H2O319	H2O320	H2O321	H2O322	H2O323	H2O324	H2O325	H2O326	H2O327	H2O328	H2O329	H2O330	H2O331	H2O332	H2O333	H2O334	H2O335	H2O336	H2O337	H2O338	H2O339	H2O340	H2O341	H2O342	H2O343	H2O344	H2O345	H2O346	H2O347	H2O348	H2O349	H2O350	H2O351	H2O352	H2O353	H2O354	H2O355	H2O356	H2O357	H2O358	H2O359	H2O360	H2O361	H2O362	H2O363	H2O364	H2O365	H2O366	H2O367	H2O368	H2O369	H2O370	H2O371	H2O372	H2O373	H2O374	H2O375	H2O376	H2O377	H2O378	H2O379	H2O380	H2O381	H2O382	H2O383	H2O384	H2O385	H2O386	H2O387	H2O388	H2O389	H2O390	H2O391	H2O392	H2O393	H2O394	H2O395	H2O396	H2O397	H2O398	H2O399	H2O400	H2O401	H2O402	H2O403	H2O404	H2O405	H2O406	H2O407	H2O408	H2O409	H2O410	H2O411	H2O412	H2O413	H2O414	H2O415	H2O416	H2O417	H2O418	H2O419	H2O420	H2O421	H2O422	H2O423	H2O424	H2O425	H2O426	H2O427	H2O428	H2O429	H2O430	H2O431	H2O432	H2O433	H2O434	H2O435	H2O436	H2O437	H2O438	H2O439	H2O440	H2O441	H2O442	H2O443	H2O444	H2O445	H2O446	H2O447	H2O448	H2O449	H2O450	H2O451	H2O452	H2O453	H2O454	H2O455	H2O456	H2O457	H2O458	H2O459	H2O460	H2O461	H2O462	H2O463	H2O464	H2O465	H2O466	H2O467	H2O468	H2O469	H2O470	H2O471	H2O472	H2O473	H2O474	H2O475	H2O476	H2O477	H2O478	H2O479	H2O480	H2O481	H2O482	H2O483	H2O484	H2O485	H2O486	H2O487	H2O488	H2O489	H2O490	H2O491	H2O492	H2O493	H2O494	H2O495	H2O496	H2O497	H2O498	H2O499	H2O500	H2O501	H2O502	H2O503	H2O504	H2O505	H2O506	H2O507	H2O508	H2O509	H2O510	H2O511	H2O512	H2O513	H2O514	H2O515	H2O516	H2O517	H2O518	H2O519	H2O520	H2O521	H2O522	H2O523	H2O524	H2O525	H2O526	H2O527	H2O528	H2O529	H2O530	H2O531	H2O532	H2O533	H2O534	H2O535	H2O536	H2O537	H2O538	H2O539	H2O540	H2O541	H2O542	H2O543	H2O544	H2O545	H2O546	H2O547	H2O548	H2O549	H2O550	H2O551	H2O552	H2O553	H2O554	H2O555	H2O556	H2O557	H2O558	H2O559	H2O560	H2O561	H2O562	H2O563	H2O564	H2O565	H2O566	H2O567	H2O568	H2O569	H2O570	H2O571	H2O572	H2O573	H2O574	H2O575	H2O576	H2O577	H2O578	H2O579	H2O580	H2O581	H2O582	H2O583	H2O584	H2O585	H2O586	H2O587	H2O588	H2O589	H2O590	H2O591	H2O592	H2O593	H2O594	H2O595	H2O596	H2O597	H2O598	H2O599	H2O600	H2O601	H2O602	H2O603	H2O604	H2O605	H2O606	H2O607	H2O608	H2O609	H2O610	H2O611	H2O612	H2O613	H2O614	H2O615	H2O616	H2O617	H2O618	H2O619	H2O620	H2O621	H2O622	H2O623	H2O624	H2O625	H2O626	H2O627	H2O628	H2O629	H2O630	H2O631	H2O632	H2O633	H2O634	H2O635	H2O636	H2O637	H2O638	H2O639	H2O640	H2O641	H2O642	H2O643	H2O644	H2O645	H2O646	H2O647	H2O648	H2O649	H2O650	H2O651	H2O652	H2O653	H2O654	H2O655	H2O656	H2O657	H2O658	H2O659	H2O660	H2O661	H2O662	H2O663	H2O664	H2O665	H2O666	H2O667	H2O668	H2O669	H2O670	H2O671	H2O672	H2O673	H2O674	H2O675	H2O676	H2O677	H2O678	H2O679	H2O680	H2O681	H2O682	H2O683	H2O684	H2O685	H2O686	H2O687	H2O688	H2O689	H2O690	H2O691	H2O692	H2O693	H2O694	H2O695	H2O696	H2O697	H2O698	H2O699	H2O700	H2O701	H2O702	H2O703	H2O704	H2O705	H2O706	H2O707	H2O708	H2O709	H2O710	H2O711	H2O712	H2O713	H2O714	H2O715	H2O716	H2O717	H2O718	H2O719	H2O720	H2O721	H2O722	H2O723	H2O724	H2O725	H2O726	H2O727	H2O728	H2O729	H2O730	H2O731	H2O732	H2O733	H2O734	H2O735	H2O736	H2O737	H2O738	H2O739	H2O740	H2O741	H2O742	H2O743	H2O744	H2O745	H2O746	H2O747	H2O748	H2O749	H2O750	H2O751	H2O752	H2O753	H2O754	H2O755	H2O756	H2O757	H2O758	H2O759	H2O760	H2O761	H2O762	H2O763	H2O764	H2O765	H2O766	H2O767	H2O768	H2O769	H2O770	H2O771	H2O772	H2O773	H2O774	H2O775	H2O776	H2O777	H2O778	H2O779	H2O780	H2O781	H2O782	H2O783	H2O784	H2O785	H2O786	H2O787	H2O788	H2O789	H2O790	H2O791	H2O792	H2O793	H2O794	H2O795	H2O796	H2O797	H2O798	H2O799	H2O800	H2O801	H2O802	H2O803	H2O804	H2O805	H2O806	H2O807	H2O808	H2O809	H2O810
------------	--------------	------------	-------------	-----------------------	----------------	--------------------	-----------	-------------	-------------	----	--	----	--	----	--	---	--	------	--	-----	--	----	--	-----	--	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

vidad, los cuales, al ser interpretados, mostraron la existencia de lentes 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.

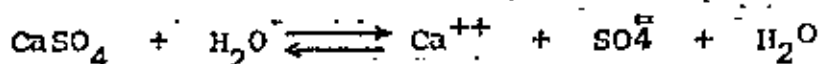
IV. GRADO DE SATURACION DEL AGUA CON RESPECTO A LOS MINERALES MAS COMUNES

Cuando algunas muestras presentaron altas concentraciones de sólidos totales, se procede 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 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 (K_{ai}) y se compara con la constante de equilibrio (K_e). Para valores de (K_{ai}) mayores que (K_e), la muestra se encuentra sobresaturada y para valores de (K_{ai}) menores que (K_e), 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:

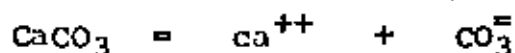
$$K_{ai} = \frac{[\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^{--}] [2\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]}$$

Donde los paréntesis indican la actividad iónica del ion que en encierran.

La actividad de los compuestos, es igual a 1. por lo tanto:

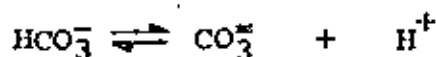
$$K_{ai} = [Ca^{++}] [SO_4^{=}] \text{-----} (1)$$

De manera similar para la calcita se tiene:



$$K_{ai} = [Ca^{++}] [CO_3^{=}] \text{-----} (2)$$

Debido a que los análisis no reportan carbonato, ($CO_3^{=}$), se utilizó la determinación de bicarbonato (HCO_3^{-}), sustituyendo la fórmula (2) de la siguiente manera:



$$K_{ai} = \frac{[CO_3^{=}] [H^{+}]}{[HCO_3^{-}]} = 10^{-10.33}$$

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 (γ) de cada elemento, por la concentración en moles por litro (M).

$$\begin{aligned} \text{O sea:} \quad [Ca^{++}] &= \gamma_{Ca} \cdot M_{Ca} \\ [SO_4^{=}] &= \gamma_{SO_4} \cdot M_{SO_4} \\ [HCO_3^{-}] &= \gamma_{HCO_3} \cdot M_{HCO_3} \end{aligned}$$

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 (γ) 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°C, A = 0.5085 y B = 0.3281 x 10⁸; (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.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

HIDROGEOLOGIA

Posibilidades Acuíferas en Sedimentos Continentales
Terciarios de la República Mexicana (Resumen)

Junio, 1979.

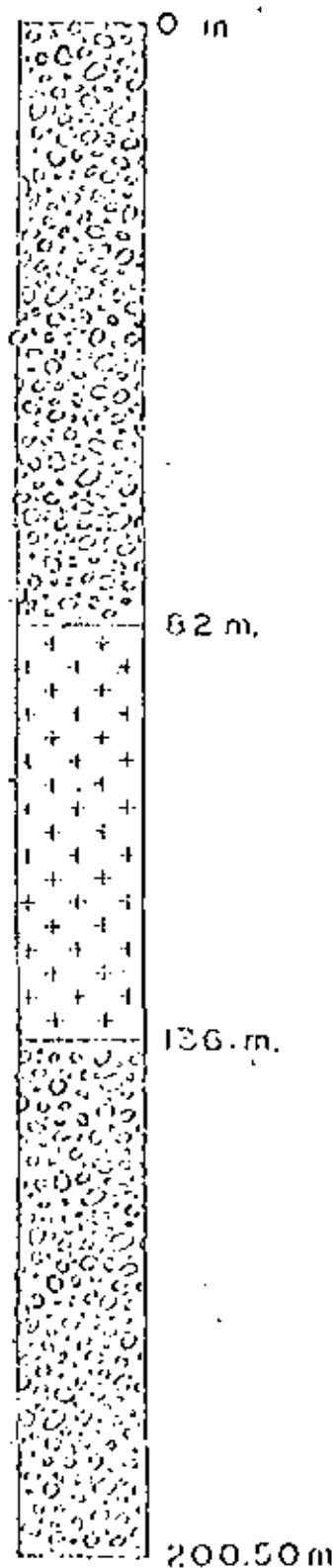


EXPLOMIN 3

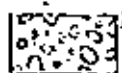
22

MARAVILLAS MPIO DE NORIA DE ANGELES, ZAC.

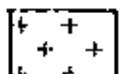
LITOLOGIA



SIMBOLOGIA



Grovo y arena



Toba riolítico

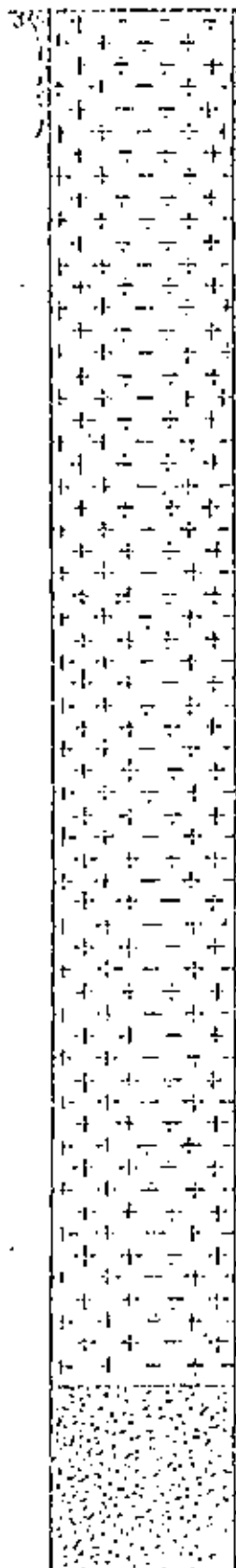
N. E. = 27.41 m

N. D. = 70.07 m

Q. = 81.75 Lps

AGUA TERMAL

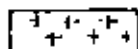
LITOLOGIA. 000



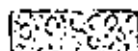
POZO CRISOSTOMOS

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

SIMBOLOGIA



TOBA 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.

GEOHIDROLOGIA.

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 toba 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 Índices", así las rocas subyacentes a ellas se consideran de edad terciaria a 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 alcanzado sedimentos clásticos continentales, así mismo, se visitaron y estudiaron afloramientos que presentaban esas 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^o 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.

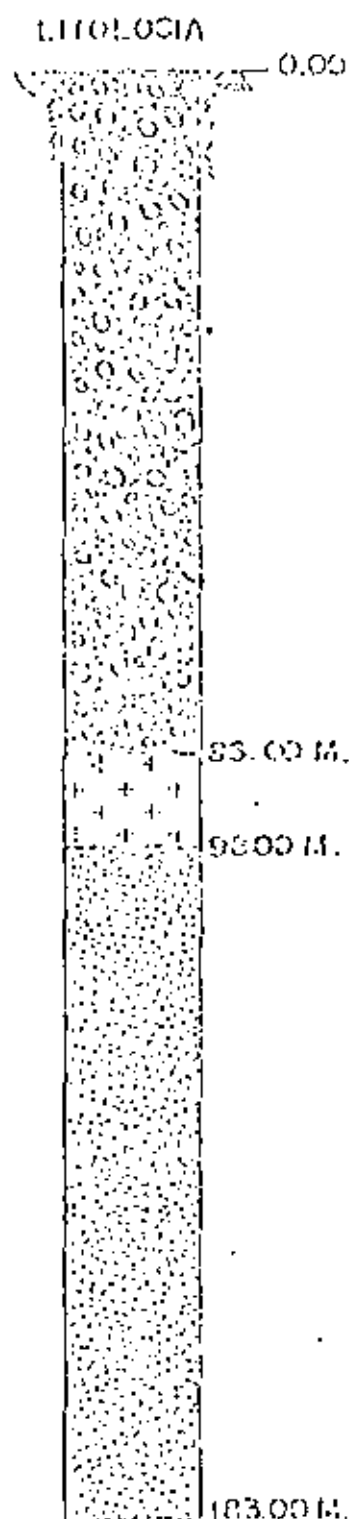
TERMALISMO. -

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.

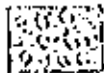
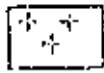

Este termalismo tiene algunas características especiales:

- 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 Km² 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.



SITIOLOGÍA

-  CONGLOMERADO
-  TOBA RIOLÍTICA
-  GRAVA Y ARENA.

NIVEL ESTÁTICO ----- 15.13 M.

NIVEL DINÁMICO ----- 25.33 M.

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

AGUA TERMAL.

POSIBILIDADES ACUIFERAS EN SEDIMENTOS
CONTINENTALES TERCIARIOS DE LA
REPÚBLICA 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 Noroeste 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 riolíticas, 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.

ING. JORGE A. TRUJILLO CANDELARIA.

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 Geología y de Zonas Áridas de la S. A. R. H., han demostrado

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 IXMIQUILPAN, TULA, HGO.	FORMACION ATOTONILCO	PLIOCENO MEDIO.
5	KM. 8.5 CARRETERA HUICHIAPAN-TEOZAUTLA, HGO.	FORMACION TARANGO.	PLIOCENO SUPERIOR
9	JOCOTEPEC, JAL.	FORMACION CHAPALA	PLIOCENO MED-SUP
12	POBLADO LA PLAYA MANUEL DOBLADO, GTO.	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MED-SUP
15	JALPA, ZAC.	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MEDIO.
16	ALISOLOYA DE ALQUISIRAS, EDO. DE MEX.	FORMACION CUERNAVACA	PLIOCENO SUPERIOR
20	LOMA LARGA VILLA DE REYES, S.L.P.	FORMACION STO. DOMINGO	PLIOCENO SUPERIOR.

ANALISIS FRECUADOS POR J. JIMENEZ B. 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° I.

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.

En seguida se presenta una relación de formaciones

consideradas de ésta edad.

- FORMACION TARANGO (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 CHILPANCINCO. (Ordoñez-Rose 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 Cuernavaca, 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 Área 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 inclusive, frecuentemente se les ha confundido

En los Conglomerados Rojos, como el Tronco de Riocanita de La Imagen en Acahuzotla, Gro., 25 kms., al Sur de Chijpaucingo, el cual intrusión al Grupo Balsas. A éste cuerpo se le determinó por métodos radiométricos una edad de 39 ± 5 millones de años antes del presente, (Z. de Cserna 1974), lo que equivale a Eoceno Superior;

En el Estado de Morelos, el Tronco de Granodiorita de Tlaica, 10 kms., al Sureste de Cuautla intrusión al Grupo Balsas y se le determinó, por el mismo método que al anterior, una Edad de 30 ± 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 Tizapotala (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 Circón y resultó 25 ± 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.

ROCAS INTRUSIVAS (Eoceno-Oligoceno). -

AFLORAMIENTOS DE SEDIMENTOS
CONTINENTALES DEL EOCENO-
OLIGOCENO

- 1.- HUAMPAN DE LEÓN, QAN.
- 2.- ZACATEPEC, ZAC.
- 3.- TAHO, ORO.
- 4.- MEALTEPEC, ARRI.
- 5.- ZIMAPAN, ORO.
- 6.- TOLIMÁN, ORO.
- 7.- EL CERRILLO, GRO.
- 8.- PRESA LAS LAJAS, CHIH.
- 9.- APDOLAYA, ZAC.
- 10.- AGRICOLA, COAH.
- 11.- VILLA DE RAMOS, S.L.P.
- 12.- PRESA LAS PIEDRAS, EL CERRILLO, JAL.
- 13.- GUANAJUATO, GTO.
- 14.- CUENCAME, DGO.
- 15.- TUMBACÁN, IGE.
- 16.- LA CAJA, COL.
- 17.- SAN FRANCISCO DE LOS ROMOS, AGS.

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.

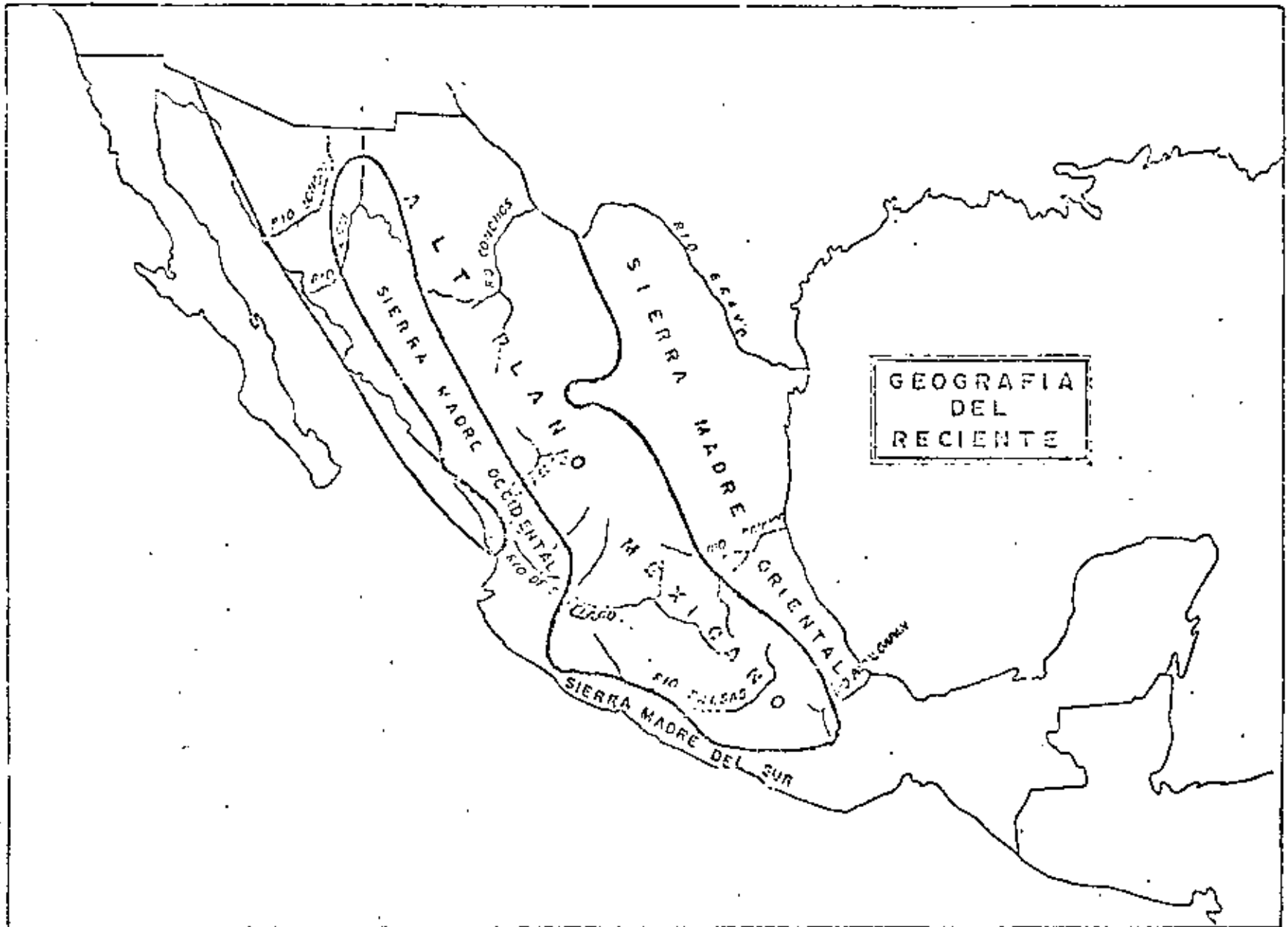
Conglomerados Rojos, (Eoceno-Oligoceno). -

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 echados fuertes, afectados por fallas y fracturas, siendo por lo contrario muy raros los pliegues.

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



GEOGRAFIA
DEL
RECIENTE

FIG. 6

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 volcánoclasticas de composición compleja.

La gran cuenca, que al principio del Terciario debió presentar un relieve demasiado abrupto, al final del mismo presentaba 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 y 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.

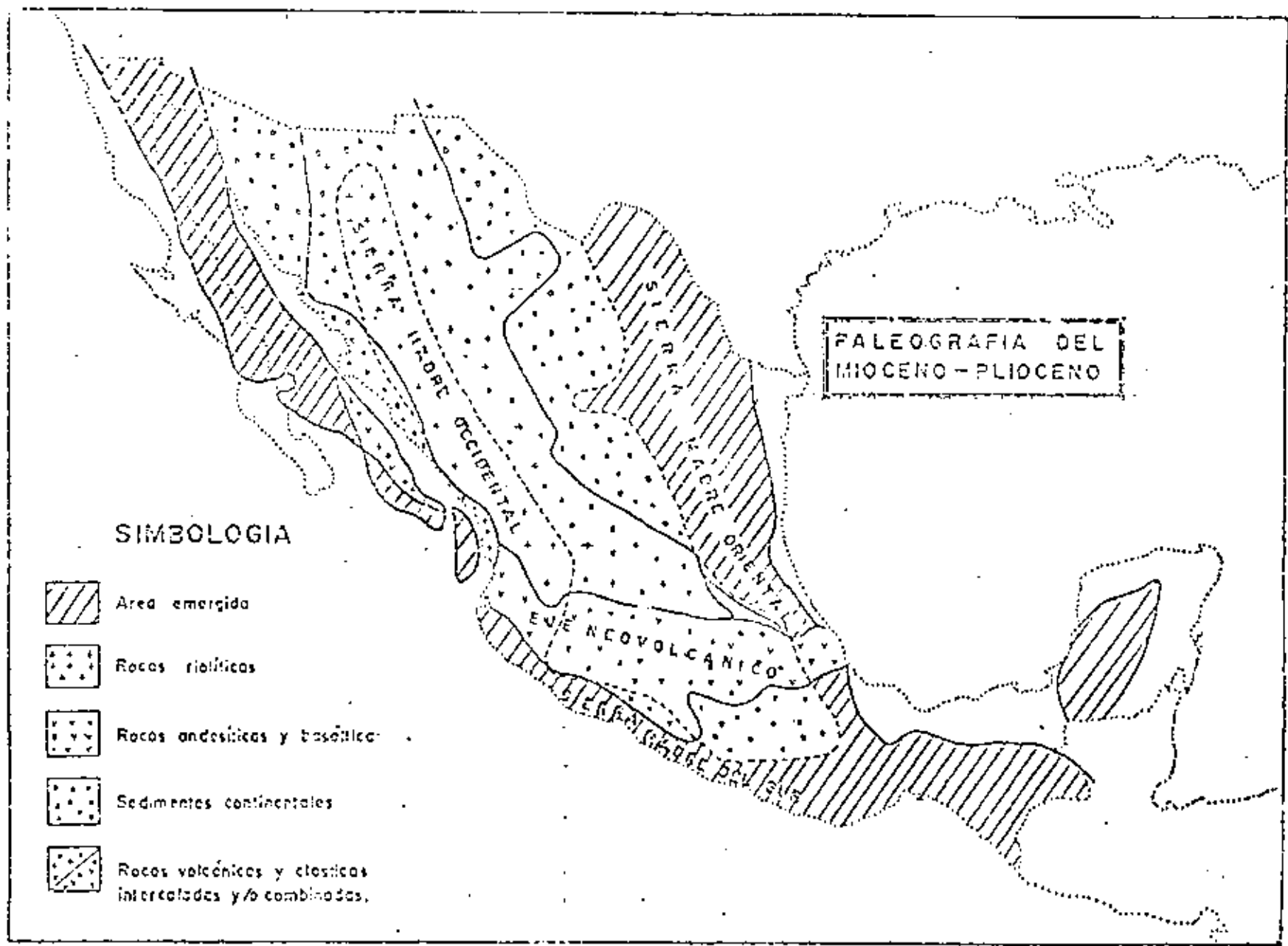


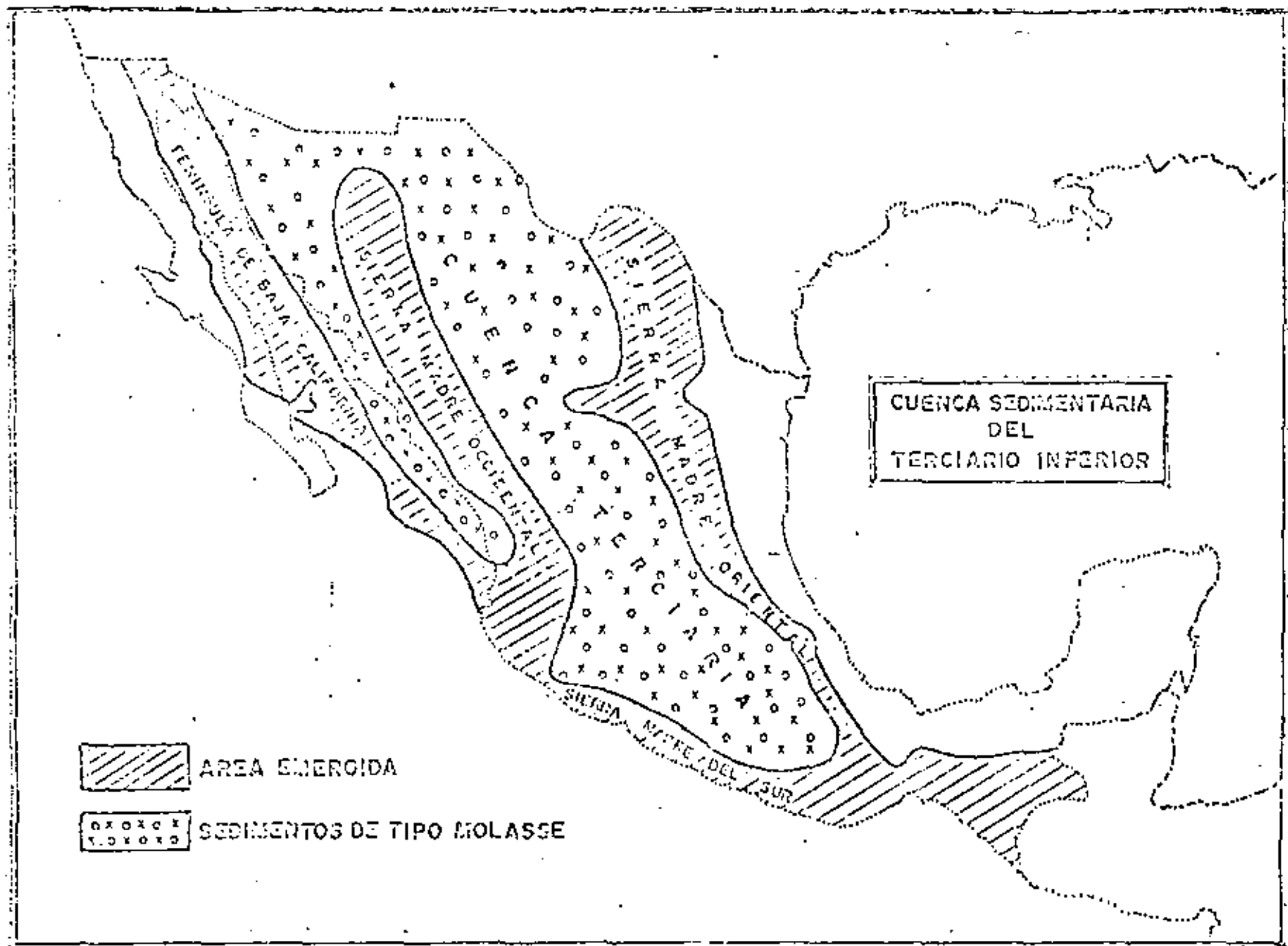
Fig. 5

ula 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 vio afectada por un movimiento de placas tectónicas el cual dió lugar a la formación de profundos grabens 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 los 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.



CUENCA SEDIMENTARIA
DEL
TERCIARIO INFERIOR

AREA EMERGIDA
SEDIMENTOS DE TIPO MOLASSE

FIG. 4

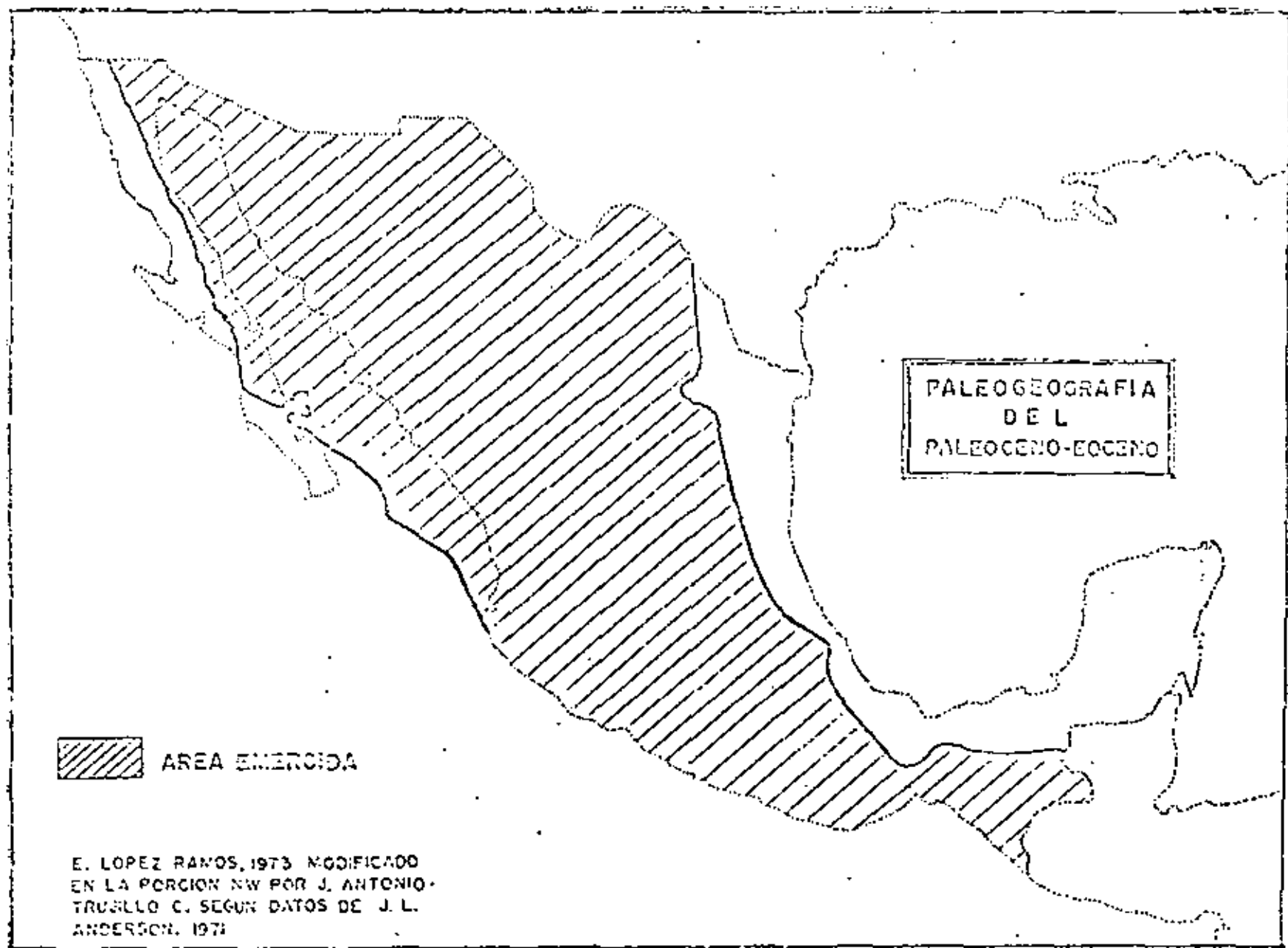


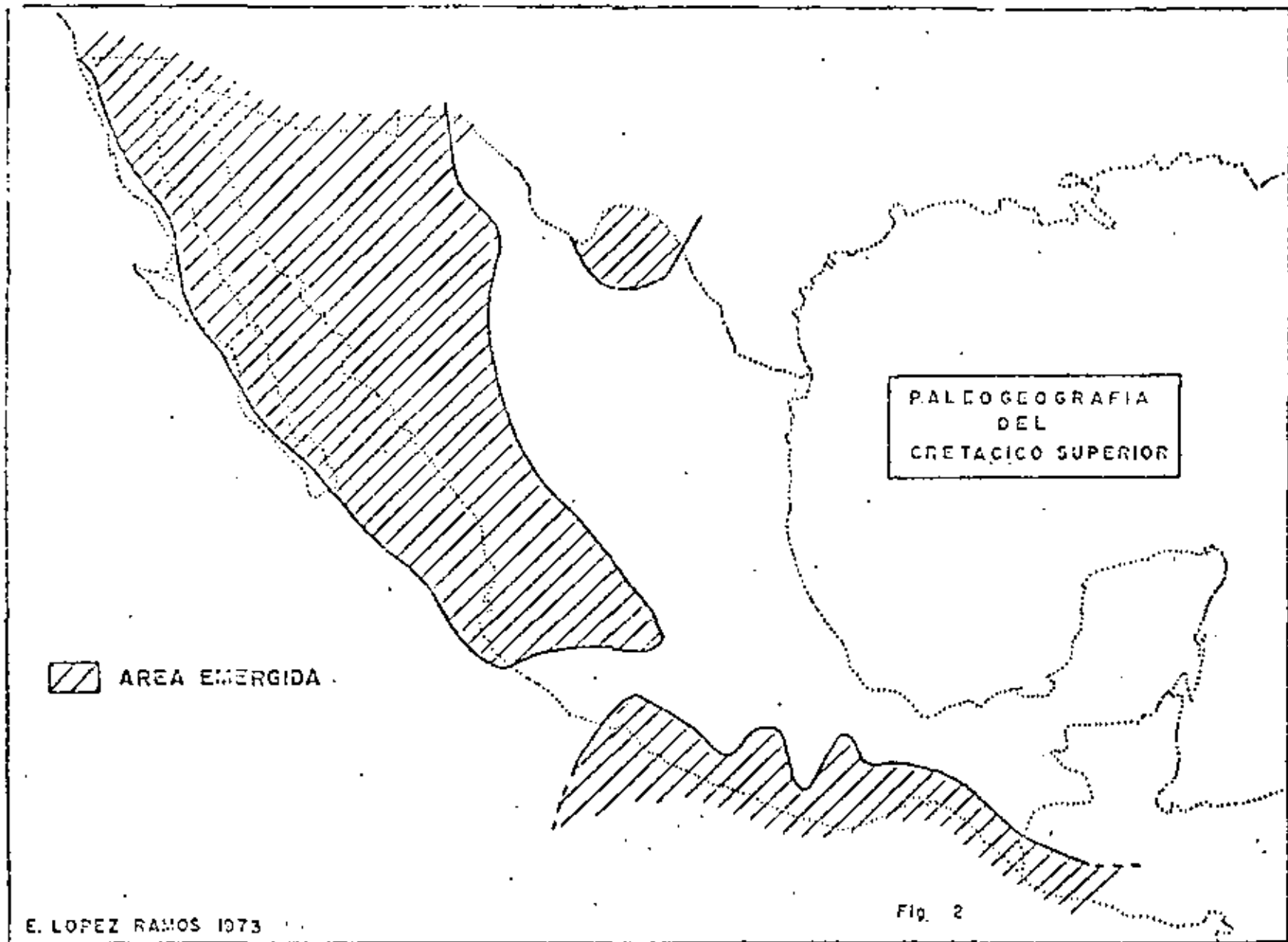
Fig. 3

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 Penín-



PALEOGEOGRAFIA
DEL
CRETACICO SUPERIOR

AREA EMERGIDA

E. LOPEZ RAMOS 1973

Fig. 2

5

ESCALA DEL TIEMPO GEOLOGICO

ERA	PERIODO	EPOCA	MILLONES DE AÑOS ANTES DEL PRESENTE
CENOZOICA	CUATERNARIO	RECIENTE	
		PLEISTOCENO	1
	TERCIARIO	PLIOCENO	10
		MIOCENO	25
		OLIGOCENO	40
		EOCENO	60
PALEOCENO	70		
MESOZOICA	CRETACICO	SUPERIOR	
		INFERIOR	130
	JURASICO	SUPERIOR	
		MEDIO	
		INFERIOR	180
	TRIASICO	SUPERIOR	
		MEDIO	
INFERIOR		230	

TOMADA DE GEOLOGICAL TIME TABLE, COMPILADO POR E. W. B. VAN EYSINGA, MODIFICADO

Fig. 1.

GEOLOGIA HISTORICA. -

Período Cretácico. -

El Período Cretácico, tuvo una duración de 60 millones de años, (Fig. 1), durante ese tiempo, gran parte de lo que ahora es territorio mexicano, estuvo ocupado por mares, permaneciendo emergidas parcialmente algunas áreas que en la actualidad forman la Sierra Madre Occidental, la Península de Baja California, en aquel tiempo unida longitudinalmente al Continente y la Sierra Madre del Sur. (Fig. 2). El resto del País se encontraba sumergido en mares de diferentes profundidades, en los que se depositaron sedimentos predominantemente calcáreos, que alcanzaron espesores de miles de metros.

Cerca del final del Cretácico, grandes movimientos de la corteza terrestre de la Orogenia Laramide, provocaron que los fondos marinos se plegaran iniciándose la formación de la Sierra Madre Oriental.

Período Terciario. -

Terminado el Período Cretácico, hace unos 70 millones de años, se inició el Período Terciario, el cual se divide en cinco épocas que son de más antigua a más joven; Paleoceno (10), Eoceno (20), Oligoceno (15), Mioceno (15), Plioceno (9). Los números entre paréntesis indican su duración en millones de años.

que la mayor parte de las unidades litológicas clásticas del Altiplano y del Noroeste del País, son en realidad de edad terciaria, depositados en cuencas lacustres y aluviales, en épocas de gran actividad volcánica y tectónica.

Para dar una idea de la formación de las cuencas en que se depositaron los clásticos continentales durante el Período Terciario, enseguida se presenta una interpretación sintetizada de la Geología Histórica de México desde el Cretácico hasta nuestros días.

- Wey John F. 1972. - Placas Tectónicas, Deriva Continental y Tectónica de Placas. Selecciones de Scientific American.
- Maltick R. E. 1967 A Seismic and Gravitational Profile Across The Hucco Bolson, - Texas U.S. G.S. Prof. Paper 575-D. Bibliografía citada por Tom Clift 1969.
- Tom Clift 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. F. 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.
- Carmen 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 Vintegra. 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. Lahee, 1955. - Geología Fráctica. Editorial Omega.

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

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

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.

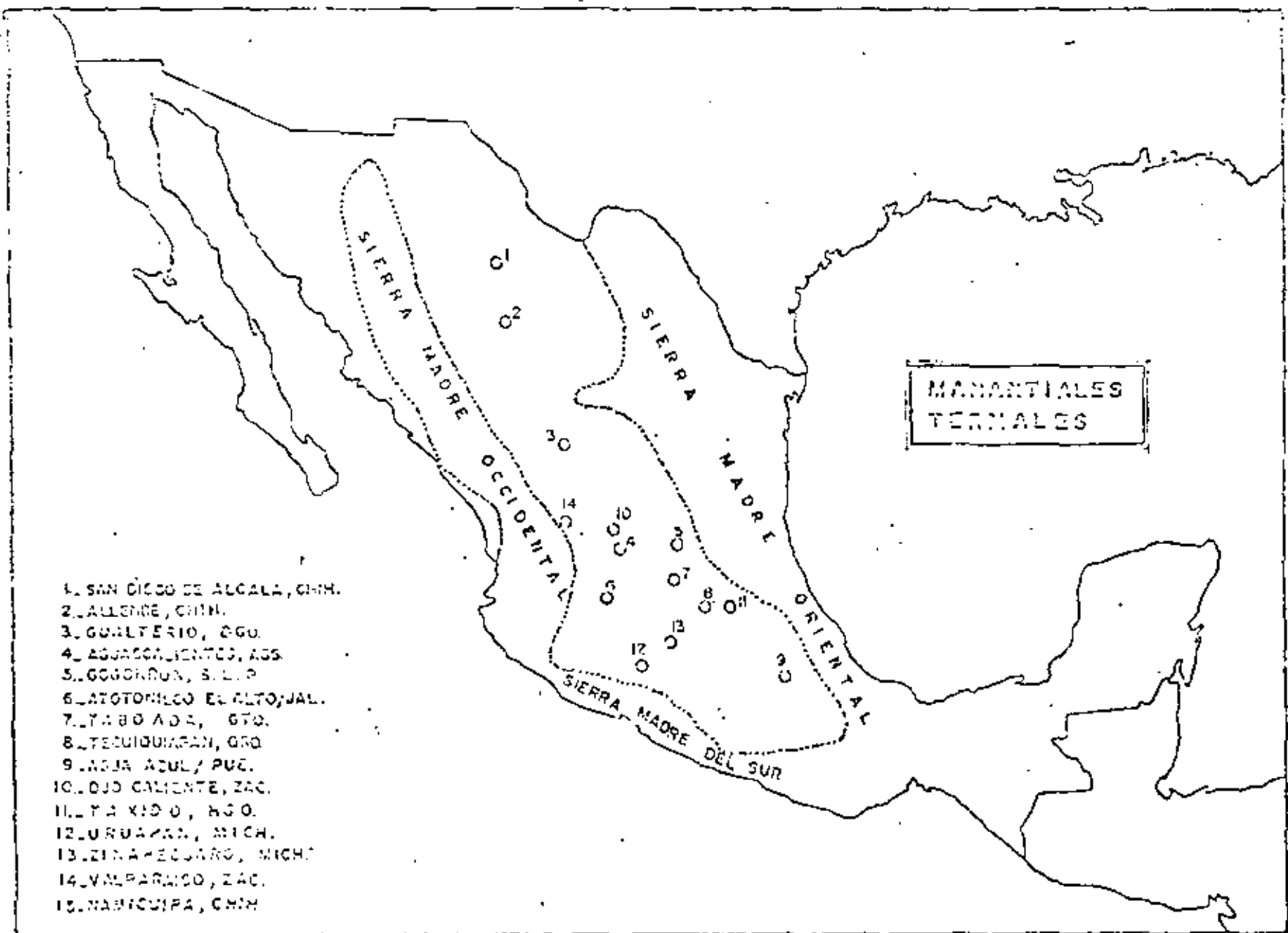


FIG. II

BIBLIOGRAFIA

- 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^o. 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^o 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^o 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. Folleto Técnico N^o 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.
- Ordóñez, 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. Selección de Scientific American.

3). - Es factible obtener buena producción acuifera 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 acuifera extensas áreas del País, antes desechadas por estar ocultas 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. Heber Lasser Jones, Director de Geol. y Zonas Áridas, de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos habiéndolo 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 CANDELARIA.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

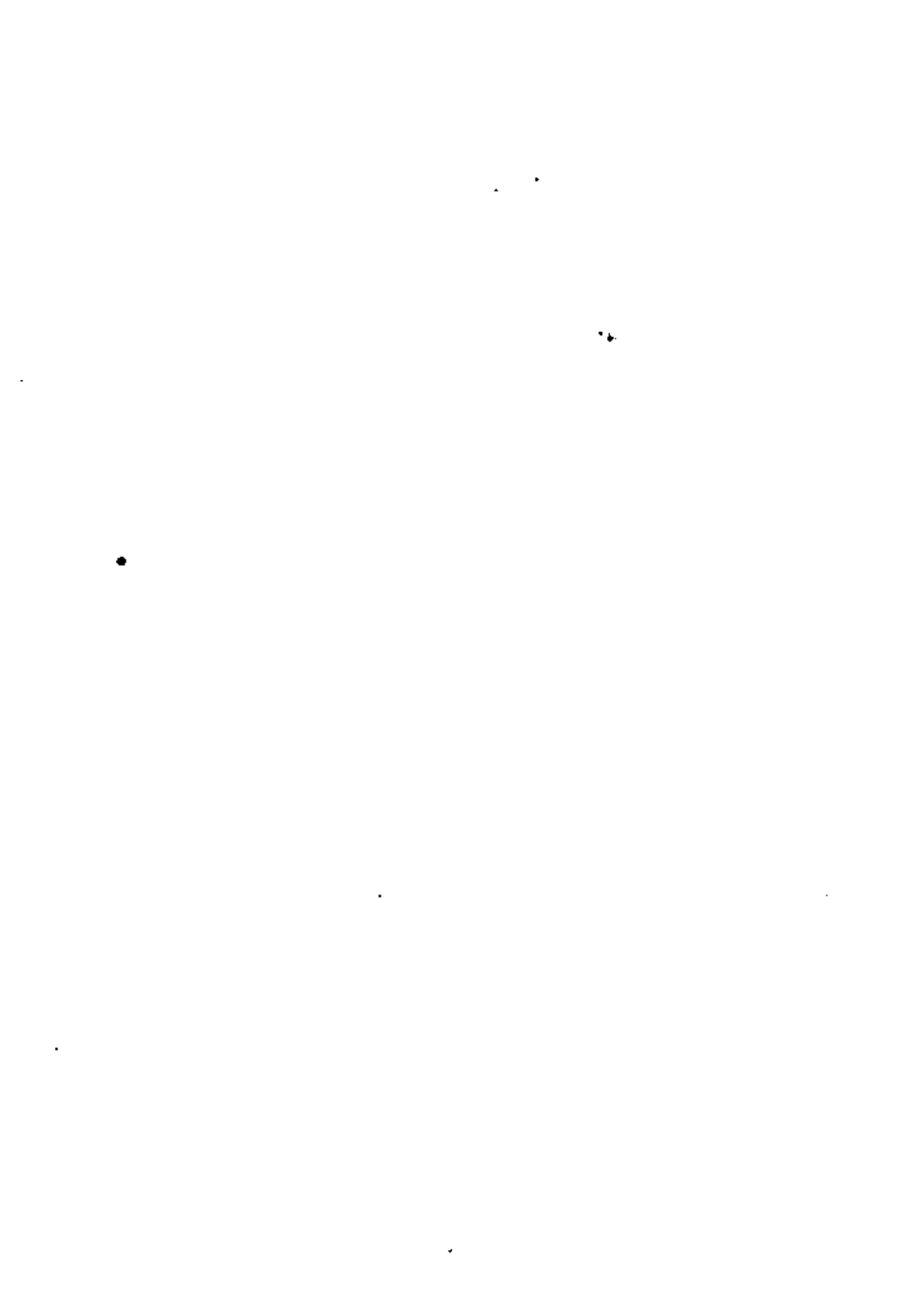


PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

GEOLOGIA Y GEORIDROLOGIA

ING. HEINZ LESSER JONES

JUNIO, 1979



CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA.

TEMA 1.1.- GEOLOGIA Y GEOHIDROLOGIA

25 de junio de 1979.

Por el Ing. Heinz Lesser Jones.

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; - - - - - evaluación de su potencial productor; análisis, revisión y empleo adecuado - de los dispositivos mecánicos, equipos, procedimientos y elementos, con los cua - les 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 ineludiblemente técnico, de aplicación, de diversos principios de la Ingeniería, conectados esen - cialmente con la Geología, la Hidrología y la Electromecánica.

La Geología y la Hidrología, conforman los fundamentos bá - sicos, 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 aprecia - ción, 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 ^{en dicha rama} 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:

Confirmar 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 determinen 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 algunas 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 todo estudio geohidrológico.

Sondeos y pozos exploratorios:

Como finalidad de un estudio geohidrológico 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 geohidrológo 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 las 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 compacidad 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, sujetos a cargas hidroestáticas que, en ocasiones, pueden producir artesianismo 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 esta 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

incrementar su desarrollo.

Esta regionalización comprende los siguientes tipos de acuíferos que pueden ser zonificados de acuerdo a las principales unidades fisiográficas y geológicas que presenta el plano geológico de la República en un examen de gran visión.

Acuíferos en Aluviones Recientes y Cuaternarios.

Acuíferos en Formaciones de Edad Terciaria.

Acuíferos en Formaciones Volcánicas.

Acuíferos en Formaciones volcánicas de la faja central del país denominada Eje Neovolcánico.

Acuíferos en las calizas sedimentarias marinas del Cretácico.

Acuíferos en las Calizas Terciarias de la Península de Yucatán.

Para no extender el tiempo fijado para esta exposición ~~en~~ ~~el~~ ~~curso~~ y permitir la aclaración y consideración de algunos conceptos incluidos o no en ella, sobre los cuales los asistentes tengan preguntas específicas de su interés, me permita informarles que el tema sobre regionalización de acuíferos será puesto por escrito a disposición de la Coordinación del presente curso, para que, si lo consideran pertinente, forme parte de los apuntes que serán integrados a los participantes.

Evaluación del Potencial Acuífero:

El segundo gran objetivo de la Geohidrología o de la Hidrogeología, es el de cuantificar, en zonas ya probadas como acuíferas, las disponibilidades de los potenciales productores renovables de aguas recuperables en los almacenamientos subterráneos. Para lograrlo, es necesario determinar inicial

mente las magnitudes de las recargas que reciben dichos almacenamientos. También es recomendable condicionar las profundidades, amplitud, situación y distanciamiento en un patrón preliminar, de 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.

Balace Hidrológico:

Las primeras etapas de análisis en la evaluación de la magnitud de las 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, ^{la determinación de este último término} ~~presenta las mayores dificultades de determinación~~ ^{pues} ~~es necesario~~ para su valoración ^{es necesario} tomar en cuenta muchas 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 hecho 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 manto o mantos acuíferos existentes y de su capacidad almacenadora, realizando, si es necesario, sondeos o perforaciones de exploración, para delimitar sus espesores medios y las variaciones que pueden presentarse en sus extensiones y configuraciones verticales y laterales.

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

características hidrológicas que ésta presenta en los potenciales de recarga que pueden alimentar y hacer variar en incrementos o descansos las capacidades de almacenamiento de sus mantos acuíferos como respuesta a su funcionamiento -- recargas-extracciones, el complemento de un estudio de cuantificación en sus siguientes etapas de avance y perfección, incluye como actividades necesarias la ejecución de programas de observación y registro.

Registros y observaciones de niveles. Planos de configuración piezométrica
 ----- Estos registros serán periódicos, estacionales, tomando en cuenta las temporadas: lluvias-estiajes y los programas de aprovechamiento y extracciones de los acuíferos. Deben distribuirse y realizarse en lapsos definidos de corto tiempo en campañas sistemáticas de observación, que abarquen el ciclo de un año o preferentemente de varios años, pues están encaminadas a servir de base para elaborar planos de las áreas bajo explotación donde existan pozos, que representen las configuraciones de los niveles estáticos y de bombeo que se registren y sus variaciones relativas en cada ciclo, con el objeto de realizar mediciones comparativas entre los aumentos o disminuciones que ocurren en el almacenamiento subterráneo para evaluar su potencial renovable productivo deducible de dicho comportamiento.

Tales planos de configuración de niveles son también indispensables para delinear los denominados canales o tendencias de flujo demostrativos de las zonificaciones que pueden representar las áreas de entradas de recargas y alimentación a los acuíferos y sus trayectorias de concurrencia hacia las porciones de la zona explotada que presentan la mayor intensidad extractiva. Además

y de acuerdo a la separación y gradientes que tienen entre sí, las curvas equipotenciales piezométricas, se delimitan zonas de mayor o menor permeabilidad y transmisibilidad del medio acuífero contenedor y conductor del agua subterránea, información que constituye otro de los elementos que intervienen en el proceso de cuantificación de la capacidad productiva de una cuenca acuífera.

Hidrología de Aguas Subterráneas:

En conexión con las etapas consecutivas de estudio antes expuestas, se llevan a cabo las denominadas pruebas de bombeo bajo las normas de registro y tiempos de desarrollo que otros profesores pondrán del conocimiento de los participantes. Estas se realizan en pozos seleccionados de una cuenca acuífera. Los registros obtenidos de dichas pruebas son básicos para los procesos de cálculo que la Hidrología de Aguas Subterráneas ha implementado, como el adelanto actual más sobresaliente de la Geohidrología y como el procedimiento más confiable y de mayor precisión, para los propósitos de cuantificación de su potencial productor, siempre con el apoyo del conocimiento e informaciones derivadas de las actividades antes descritas. Con dichas pruebas se obtienen factores y parámetros hidráulicos de flujo en los medios acuíferos, determinando volúmenes y tiempos de trayectoria en canales definidos por la configuración piezométrica de una cuenca, mediante la determinación matemática de propiedades tan significativas, de un medio permeable, contenedor de agua, como son la transmisibilidad y sus coeficientes de almacenaje.

Modelos:

El conocimiento de estos términos es indispensable para culminar un estudio con modelos matemáticos y de simulación representativos del funcionamiento de una cuenca acuífera geohidrológica.

Este tema será motivo de disertación por otros profesores especialistas que participaran 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 los acuíferos a tiempos previsibles 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.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

LOCALIZACION DE SITIOS PARA PERFORACION

ING. ROBISSEL CHIÑAS LALO

JUNIO, 1979.



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

TEMA I: LOCALIZACION DE SITIOS PARA PERFORACION

- 1.1. - Introducción
- 1.2. - Geología del Agua Subterránea
- 1.3. - Hidrogeología
- 1.4. - Búsqueda de los Acuíferos

ING. ROBISSEL CHIÑAS LALO
Marzo 1978

IV.2.5.- Correlación de Medidas con Datos Geológicos

La interpretación de medidas resistivas por sí sola, únicamente permite obtener resultados en cuanto a las características eléctricas del terreno, por lo que es necesario calibrar y correlacionar dichas medidas con información geológica de la superficie y del subsuelo obtenida durante el reconocimiento de campo.

En el caso de manejar información de superficie, la correlación de las primeras medidas de los sondeos obviamente se hará con los materiales que afloran, sea cobertura intemperizada, rellenos aluviales superficiales u otro tipo de roca, mientras que los valores más profundos deberán ser relacionados con materiales que de acuerdo con los procesos geológicos se espera existan en el subsuelo, considerando las condiciones de sedimentación, de estructura, de geomorfología, o procesos tectónicos de deformación o roturas de las rocas. Estas características geológicas permiten establecer algunas ideas sobre el comportamiento geohidrológico de la zona de estudio.

La información del subsuelo se tiene cuando en la zona de trabajo existen pozos, debiendo hacerse sondeos cercanos a dichos pozos, de manera que los cortes geológicos y registros eléctricos se puedan correlacionar con los valores de la resistividad medida y propagar hacia otros sitios que presenten condiciones eléctricas similares o análogas, con lo que estará en posibilidad de definir con más precisión los diferentes cuerpos acuíferos.

Podría también extrapolarse otro tipo de información geohidrológica obtenida de los pozos existentes, aunque esto está fuera de la geofísica eléctrica, en lo que se refiere a caudales, piezometría, transmisibilidad y calidad de agua, factores todos que intervienen en un trabajo integral de geohidrología.

Cuando no se tienen perforaciones, entonces se recomienda que se hagan en aquellos sitios donde la interpretación geofísica indique que ellos puedan proporcionar mejores resultados.

México, D. F. Marzo de 1978

1.- INTRODUCCION

1.1.- El Agua Subterránea y la Geología

El presente curso de perforación de pozos para agua, que está realizando el Centro de Educación Continua de la Universidad Nacional Autónoma de México, en colaboración con la Sociedad Geológica Mexicana, A. C., incluye dentro del temario un renglón que se refiere a la localización de sitios para perforar.

Esto resulta muy interesante si se considera que para el aprovechamiento óptimo de las aguas subterráneas se requiere de la participación de diferentes disciplinas y tecnologías relacionadas con la exploración, perforación, explotación, aprovechamiento y suso de los acuíferos subterráneos.

En el caso de la perforación de pozos para agua, una de las cuestiones que se plantean es el de fijar o el de elegir el sitio para perforar y la profundidad que éstas deben tener, a fin de no encontrarse con eventualidades y gastos innecesarios que eleven los costos de un proyecto relacionado al aprovechamiento de las aguas subterráneas. Para poder decidir sobre estos puntos tan importantes conviene recordar lo que es el agua subterránea y su relación con las ciencias geológicas.

El agua subterránea es uno de los recursos indispensables para la vida de una comunidad, porque su aprovechamiento como agua potable o para fines agropecuarios o industriales, así como su conocimiento en potencialidad permite planear el desarrollo social y económico de una región o de un país. Pero también es necesario advertir que el agua subterránea no es un recurso ilimitado, por lo que su preservación y uso óptimo debe ser controlado de la misma manera que ocurre con otros recursos naturales.

En un país como el nuestro que tiene predominio árido y semi-árido y donde el agua superficial es escasa, el subsuelo constituye la única fuente que puede proporcionar agua en forma permanente, de aquí que sea un recurso básico para el desarrollo del territorio nacional.

El agua subterránea también reviste gran importancia, no sólo en zonas áridas y semiáridas, sino en aquellas regiones que tienen una precipitación alta y donde se generan grandes ríos. Caso particular el sureste de México y algunas zonas costeras del país.

En efecto el aprovechamiento de estos ríos requieren de grandes inversiones para ejecutar obras de almacenamiento y una infraestructura hidráulica muy costosa para la conducción de los recursos hidráulicos, en cambio, el aprovechamiento del agua subterránea ofrece la ventaja de diferir la inversión inicial requerida para conseguir el suministro necesario, es decir, con pocos recursos poner, prácticamente de inmediato, en marcha la producción de una zona.

El agua subterránea también tiene la ventaja de su permanencia en los almacenamientos subterráneos, mayor distribución espacial y menor exposición a la contaminación, por lo que se le prefiere en los usos doméstico e industrial, además de que se puede utilizar en forma combinada con el agua superficial cuando ésta no alcanza para irrigar una mayor superficie de terreno.

Pero así como el agua subterránea ofrece muchas ventajas, en contraposición resulta que los almacenamientos subterráneos no son ilimitados y la renovación del agua que contienen ocurre en forma lenta por lo que su explotación debe ser controlada a efecto de no crear un déficit entre el volumen renovable y el volumen requerido y producir desequilibrios ocasionados por la sobreexplotación.

Aunque a veces se justifica una explotación a costa del almacenamiento de los acuíferos es necesario conocer sus características y su potencialidad para no causar daños irreparables tales como: incremento de los costos de bombeo, disminución del rendimiento de las captaciones, hundimientos de terrenos, formación de grietas, intrusión salina que cuando el agua es utilizada para riego, trae la consiguiente contaminación de suelos y el abandono de instalaciones productivas.

Estos problemas de sobreexplotación y otros ocasionados por la concentración de las explotaciones, o la contaminación que ocurre en terrenos altamente permeables, o de aquéllos de naturaleza arcillosa que tienen agua con niveles someros que propician inundaciones y terrenos de escasa potencialidad y con niveles profundos son derivados de condiciones climáticas, pero principalmente de las características que presentan las diferentes provincias geológicas. De ahí la enorme importancia que tiene el conocer las condiciones geohidrológicas de una región en donde se pretende explotar agua subterránea e incluso de aquéllas que ya se encuentran en explotación.

Lo que se busca entonces es determinar las características de la calidad y estructura del subsuelo y la distribución espacial en las diferentes formaciones geológicas, en forma tridimensional por donde se recarga, circula y acumula el agua de los almacenamientos subterráneos.

1.2.- Geología e Hidrogeología

La Geología como ciencia de la tierra se ha desarrollado siempre como el estudio cualitativo de los procesos que ocurren en la corteza terrestre; por ser una ciencia natural que se ocupa de las transformaciones de todo lo que ocurre en y sobre la superficie terrestre no puede estar desprovista de importancia práctica en cuanto a sus aplicaciones con relación al desarrollo de la humanidad.

De este modo se han desarrollado, en base a la geología diversas aplicaciones prácticas en relación con la exploración de recursos naturales, así como a la obtención de datos geológicos para la planeación y proyectos de obras de infraestructura. Ello ha permitido en la práctica de la geología la implantación de diversas disciplinas que se conocen como: Geología Petrolera, Geología Minera, Geotermia, Hidrogeología e Ingeniería Geológica.

Las necesidades de conocer y aprovechar mejor nuestros recursos naturales, así como el desarrollo que han tenido los procedimientos para las investigaciones de estas áreas, han creado verdaderas especialidades y en el caso del agua del subsuelo, que es atendida por la geohidrología, constituye la disciplina que estudia las leyes relativas a la existencia y movimiento de las aguas subterráneas.

Para su estudio la geohidrología se basa principalmente de la Geología porque presupone que son los factores geológicos los que condicionan su existencia, y también se auxilia de la hidráulica, matemáticas, geoquímica, geofísica, mecánica de suelos, probabilidad y estadística, hidrología superficial y subterránea, técnicas isotópicas y perforación de pozos.

Es de uso común utilizar el término Geohidrología para señalar aspectos más amplios del agua subterránea y la Hidrogeología como el estudio del agua subterránea con mayor atención énfasis en los aspectos geológicos, químicos y de circulación.

11.- GEOLOGIA DEL AGUA SUBTERRANEA

La Geología que se aplica en la hidrogeología no es una disciplina pura y abstracta, sino que es una geología que tiene -- que ver con las características de la calidad de las formaciones y la estructura del subsuelo por donde se alimentan, circulan y acumulan las aguas de los almacenamientos subterráneos y por ese hecho es del dominio común llamar a esta disciplina como Geología del Agua Subterránea.

La Geología del Agua Subterránea tiene por objeto esencialmente establecer el marco o modelo conceptual hidrogeológico que sirve de base para la interpretación de otras tecnologías que intervienen en las distintas etapas de los estudios geohidrológicos como son: La prospección, la evaluación, y el manejo del agua subterránea.

Como la mayoría de los terrenos no son homogéneos, sino que -- por distintas causas presentan variaciones laterales y en profundidad, ello determina que la circulación y acumulación de agua ocurra bajo diferentes condiciones según la distribución espacial que presentan los materiales en la superficie y en el subsuelo.

Para comprender esto, es necesario analizar los procesos geológicos que han intervenido en la genesis de las rocas y los suelos, los cuales han dado lugar a las diferentes formas de terreno que se conocen.

11.1.- Procesos Geológicos

Los procesos geológicos son un conjunto de agentes de tipo físico y químico que determinan y modifican la forma superficial de la tierra mediante una dinámica interna y externa cuya energía proviene tanto del interior de la tierra (energía radioactiva) como del exterior (energía solar).

La geodinámica interna incluye procesos de tipo plutónico, volcánico, orgánico y epeirogénico que dan lugar a los relieves del terreno como macizos intrusivos, montañas y mesetas volcánicas y formación de montañas de bloques o plegadas.

La geodinámica externa interviene en los procesos de intemperismo remoción por gravedad erosión acumulación y deposición de sedimentos, acompañados de procesos diagenéticos. -- Estos procesos son los mas notables porque ocurren sobre la superficie terrestre y además porque la mayoría de los paisajes actuales, como la formación de redes hidrográficas, valles y llanuras son resultados de procesos geológicos evidentes, incluso en períodos cortos de tiempo.

Aunque en los trabajos de búsqueda de agua subterránea en general se engloban todos los conocimientos sobre los procesos geológicos esencialmente interesa analizar la geomorfología, la calidad de los materiales y estructura geológica.

11.2.- Geomorfología.

En el análisis de la geomorfología se trata de interpretar -- las formas del terreno, variaciones de las pendientes del relieve y las características del drenaje superficial.

Existe una gran variedad de formas del terreno que es conveniente agruparlas de acuerdo con su origen y estructura, integrándolas en provincias geológicas para facilitar su estudio, ya que es muy frecuente observar cierta relación de las formas montañosas con las divisiones climáticas, incluso de un continente a otro. Las variaciones del relieve en montañas lomeríos y llanuras determinan la presencia o ausencia de cobertura intemperizada y ésta a su vez es un factor muy importante en el escurrimiento superficial o en la retención del agua de lluvia.

Un factor que determina la configuración de las formas del terreno, es el drenaje superficial, cuyos arreglos y densidad permiten definir zonas que ofrecen escurrimiento o infiltración, además de aquellas zonas que ocupadas por ríos, lagos, pantanos y manantiales nos indican de la influencia que tienen en la recarga de los acuíferos.

Existen muchos arreglos del drenaje que indican características que tiene relación con las condiciones geohidrológicas por ejemplo: Los drenajes de textura abierta se relacionan con materiales permeables, mas 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.

La uniformidad del drenaje manifiesta también cierta homogeneidad en la constitución de los terrenos y susceptibilidad a erosionarse, en cambio las zonas no integradas o con ausencia de drenaje puede deberse a la presencia de aluviones granulares o de rocas permeables por fracturación o por cavidades de disolución.

Siempre conviene agrupar las características similares de los terrenos formando modelos que ayuden a establecer criterios que por analogías permitan estudiar zonas que carecen de información. Una clasificación útil y práctica de las formas de los terrenos es la de Von Engel, porque permite sistema-

tizar una variedad de formas en relación a la calidad y estructura de los terrenos agrupándolas en cinco clases y 19 unidades estructurales.

CLASIFICACION GEOMORFOLOGICA DE VON ENGELN

I.- CLASES DE ESTRUCTURAS SIMPLES.

- A.- Unidades geomórficas de materiales no consolidados o debilmente 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 calcárea con una estructura simple debido a la homogeneidad del material.
- 12.- Carst.
 - 13.- Isla o barrera de coral.

II.- 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.
- E.- Unidades geomórficas constituídas 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.

De esta clasificación son las tres primeras o sea las que están relacionadas con clases de estructuras simples, las que normalmente tienen interés acuífero, justamente por que se acercan mas a la homogeneidad y porque o son materiales no consolidados o materiales rígidos pero fracturados.

11.3.- Calidad de los materiales.

Por definición los materiales que componen la corteza terrestre son rocas. Las rocas comprenden las formaciones geológicas que componen el suelo y el subsuelo, igualmente comprenden los fluidos que impregnan a estas formaciones (agua, gas, petróleo). Existe una variedad muy grande de materiales rocosos que se clasifican en base a su origen, textura, composición mineralógica y modo de ocurrencia y materiales sueltos que se clasifican tomando en consideración su granulometría, plasticidad y contenido de agua.

En geohidrología las variaciones en la calidad de los materiales influyen en la permeabilidad y en su porosidad y consecuentemente influyen en el flujo y almacenamiento del agua subterránea.

Desde el punto de vista del origen las rocas se clasifican en ígneas, sedimentarias y metamórficas: En la tabla se señala esta clasificación subdividiéndose en varios grupos. En la tabla 2 se presenta la clasificación de las rocas ígneas intrusivas y extrusivas con su composición mineralógica, así como la naturaleza de los piroclásticos y vidrios volcánicos. En la tabla 3 se han reunido a todas las rocas sedimentarias en función de su origen mecánico, químico y orgánico y en la tabla 4 se registra una clasificación de rocas metamórficas.

Los materiales que constituyen la corteza terrestre para fines de clasificación en las perforaciones, se muestran de tres maneras diferentes: suelo, fragmento de roca y roca.

El término suelo se aplica a todas aquéllas partículas de material menores de 7.6 cm (3"). Fragmento de Roca se aplica a todas aquéllas mayores de 7.6 cm. pero que no forman un macizo rocoso sino que los elementos sólidos están ligados entre sí por material suelto (suelo). El término roca se usa para cuando se tienen formaciones rocosas rígidas o altamente cohesivas.

TABLA 1

CLASIFICACION DE ROCAS

DIVISIONES	SUB-DIVISIONES	GRUPO	SIMBOLO
ROCAS	IGNEAS	EXTRUSIVAS	R_{ie}
		INTRUSIVAS	R_{ii}
	SEDIMENTARIAS	CLASTICAS	R_{sc}
		QUIMICAS	R_{sq}
		ORGANICAS	R_{so}
	METAMORFICAS	NO FOLIADAS	R_{mn}
		FOLIADAS	R_{mf}

TABLA 2

COMPOSICION Y CLASIFICACION DE ROCAS IGNEAS		
ROCAS	PRINCIPALES MINERALES QUE FORMAN LAS ROCAS	ROCAS
EXTRUSIVAS (Grano fino o porfirítica)		INTRUSIVAS (Grano grueso)
RIOLITA	CUARZO SiO_2	GRANITO
TRAQUITA		SIENITA
ANDESITA	FELDESPATO POTASICO (Ortoclasa) $KAlSi_3O_8$	DIORITA
DACITA		GRANODIORITA
BASALTO	FELDESPATO SODICO-CALCICO (Plagioclasas) $CaAl_2Si_2O_8$ $NaAlSi_3O_8$	GABRO
AUGITITA		PIROXENITA
LIMBURGITA	Silicatos Ferromagnesianos Micas M.B. Hornblenda Piroxeno Olivino	PERIDOTITA

ROCAS CLARAS

ROCAS OSCURAS **

ORIGEN	NATURALEZA	R O C A		
ERUPCIONES TRANQUILAS	VITREA	OBSIDIANA		
		PERLITA		
		PIEDRA POMEZ*		
		RETINITA (Piedra Pez)		
ERUPCIONES EXPLOSIVAS	PIROCLASTICA (FRAGMENTOS)	PIEDRA POMEZ		
		BLOQUES		
		BOMBAS		
		Sueltas	Consolidados	} AGLOMERADO
		GRAVAS	BRECHAS	
		LAPILLI	TOBAS	
		ARENAS	ARENISCAS	
CENIZAS	TOBAS			
POLVOS	TOBAS			

* Includida aqui solo por ser vitrea
 ** Rocas básicas

11
TABLA 3

ROCAS SEDIMENTARIAS			
ORIGEN	AGENTE TRANSPORTADOR	SEDIMENTO SUELTOS	SEDIMENTO CONSOLIDADO
MECANICO	AGUA	GRAVA (ARISTAS REDONDEADAS) GRAVA (ARISTAS AGUDAS) ARENA LIMO ARCILLA	CONGLOMERADO BRECHA ARENISCA LIMOLITA ARGILITA
	VIENTO	MEDANOS LOESS	ARENISCA
	HIELO	GRAVAS ANGULOSAS ARENA LIMO ARCILLA	TILITA
	GRAVEDAD	GRAVA ANGULOSA	BRECHA DE TALUD

ORIGEN	NATURALEZA	SEDIMENTO CONSOLIDADO
QUIMICO	CALCAREA	CALIZA DOLOMITA ARAGONITA TRAVERTINO MARCA
	CALCAREA ARCILLOSA	
	SILICOSA	PEDERNAL GEYSERITA
ORGANICO	SALINA	EVAPORITAS SAL GEMA YESO BORAX TEQUESQUITE CRISTALILLO
	CALCAREA	CALIZA CORAL COQUINA CRETA (SASCAB)
	SILICOSA	DIATOMITA (TIZAR)
	CARBONOSA	TURBA LIGNITO HULLA ANTRACITA

TABLA 4

ROCAS METAMORFICAS	
ROCA ORIGINAL	PRODUCTO METAMORFICO
ARENISCA	CUARCITA
CALIZA	MARMOL
LUTITA	PIZARRA
BASICAS	ESQUISTOS, SERPENTINA, ETC.
GRANITO, DIORITA Y CONGLOMERADO	GNEISS

Las propiedades de las rocas cambian lateralmente y en profundidad así en profundidad las rocas tienden a ser más compactas y una roca en superficie que se sustrae de la compresión puede constituirse en una roca que cambia sus características originales, sin embargo, como no siempre se tienen macisos -- homogéneos, principalmente en las rocas sedimentarias, se hace necesario conocer la superposición de las diferentes formaciones a través de la estratigrafía para definir su distribución geográfica y correlación.

En México se han determinado las secuencias estratigráficas - en diferentes provincias geológicas; ello ha permitido conocer la posición que tienen algunos acuíferos principalmente en -- rocas calcáreas. En la Tabla 5 se muestra la tabla estratigráfica del estado de Nuevo León, donde formaciones del cretácico: Cuesta del Cura, Aurora y Cupido han sido detectadas con acuíferos importantes.

II.4.- Estructura Geológica.

El análisis de la estructura geológica se hace fundamentalmente para definir el grado de fracturación, posición, estratificación y potencia de las formaciones, características que permiten conocer el comportamiento geohidrológico de los terrenos.

Las provincias geológicas presentan una variedad muy grande de estructuras que a veces se observan en la superficie con rasgos morfológicos determinados y otras veces están enmarcadas o poco definidas por una cobertura intemperizada o por efecto de la erosión. Las estructuras más comunes que se presentan son:

Rocas estratificadas:	Sedimentos y rocas volcánicas
Rocas solubles:	Calizas y yesos
Rocas alteradas:	Por fracturación, metamórfico e intemperismo.
Rocas plegadas:	Sedimentarias.
Rocas foliadas:	Metamórficas.
Rocas Masivas:	Macizos rocosos

Las rocas estratificadas tienen una estructura bastante compleja no solo porque están falladas, plegadas y fracturadas, sino porque algunas tienen una disposición de asociaciones -- alternantes o con cambios de facies laterales de materiales -- de diferente permeabilidad.

TABLA ESTRATIGRAFICA DEL ESTADO DE NUEVO LEON

ERA	PERIODO	EPÓCA	E D A D	FORMACIONES	
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEIST.	CUATERNARIO	LISSIE y ALUVIONES	
		PLIOC.		GOLIAD	
	TERCIARIO	MIOCENO	PONTIANO		FLEMING
			BURDIGALIANO		OAKVILLE
			AQUITANIANO		
		OLIGOCENO	CHATIANO		ANAHUAC
					F R I O <small>CONDOL. NORMA</small> <small>CATAHOULA</small>
			RUPELIANO		VICKSBURG
			EOCENO	PRIABONIANO		JACKSON
					YEGUA
		LUTECIANO		CLAIBORNE	COOK-MONTAIN
		YPRESIANO			MT. SELMAN <small>CLAYTON</small> <small>WYATT</small> <small>WYATT</small> <small>WYATT</small>
	PALEOCENO	MONTIANO		WILCOX-INDIO	
		DANIANO		MIDWAY VELASCO	
	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRICHTIANO		DIFUNTA MENDEZ
			CAMPANIANO		
			SANTONIANO		PARRAS SAN FELIPE
			CONIACIANO		INDIDURA AGUA NUEVA
			TURONIANO		CUESTA DEL CURA
		INFERIOR	CENOMANIANO		AURORA TAMPS. SUP.
ALBIANO				LA PERA <small>SYTES</small>	
APTIANO				TAMAULIPAS INFERIOR	
BARREMIANO				CUPIDO	
HAUTERIVIANO				TARAISES	
JURASICO	SUPERIOR (HILL)	VALANGINIANO		TAMAULIPAS INFERIOR	
		BERRIASIANO			
		TITONIANO		LA CASITA PIMIENTA	
		BONONIANO		OLVIDO TAMAN	
		HAVRIANO			
	INFERIOR (BASSLET)	SEQUANIANO		ZULOAGA	
		ARGOVIANO		LA JOYA (CAPAS ROJAS)	
		DIVESIANO		MINAS VIEJAS	
		CALOVIANO		SAL *	
		BATONIANO			
TRIASICO	INFERIOR	BAJOCIANO			
		LIASICO			
				CAPAS ROJAS (HUIZACHAL ?)	
Pz				ESQUISTOS y ROCAS VERDES (Reg. Aramberrí)	
Pc				GNEISSES ?	

* INCLUYE CALIZAS Y ANHIDRITAS

TABLA 5

Esto mismo sucede con algunos materiales volcánicos de diferente emisión y composición (lavas y tobas) cuyas características de permeabilidad resultan diferentes.

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 problemas en su determinación.

Son muchos los casos en que las rocas presentan condiciones estructurales complicadas aún en las rocas foliadas y masivas. En la práctica las estructuras simples y homogéneas son poco frecuentes, salvo en algunas regiones que no han sido afectadas por procesos tectónicos o que están constituidas por materiales recientes.

III.- HIDROGEOLOGIA. Tomado de Hidrogeología de Davis y Weist 1971.

III.1.- Ciclo Hidrológico

Aunque la hidrogeología se refiere exclusivamente al estudio del agua subterránea, un buen hidrogeólogo debe tener sin embargo una cierta formación en todos los aspectos del ciclo hidrológico del agua, al menos en sus términos más generales, ya que en el fondo las aguas subterráneas no representan más que una parte del ciclo hidrológico total del agua.

Los océanos son los inmensos depósitos de los cuales procede toda el agua del ciclo hidrológico y a los cuales retorna. - Esta definición es naturalmente un tanto simplista, pues no todas las partículas de agua recorren el ciclo hidrológico de una manera completa; éste sería por ejemplo, el caso de las partículas de agua que se evaporan sobre la superficie de la tierra y vuelven a la tierra en forma de lluvia, desde donde se evaporan de nuevo, y así indefinidamente, sin llegar nunca a alcanzar el océano. En el caso más completo del ciclo hidrológico del agua, ésta se evapora desde el océano, forma nubes, las cuales son transportadas hacia los continentes donde se condensan y caen en forma de precipitaciones, las cuales, a su vez, son conducidas por medio de los ríos y del flujo subterráneo hasta el océano. Existe una pequeña aportación de agua al ciclo hidrológico que procede de los procesos magmáticos y metamórficos, que no ha sido tenida en cuenta en este esquema; pero existe también en contraposición, una sustracción constante de agua al ciclo hidrológico que pasa a incorporarse a la estructura de los minerales y de los depósitos sedimentarios. Fig. 1

III.1.1.- La precipitación

El vapor de agua contenido en la atmósfera procede de la evaporación sobre la superficie de los continentes y océanos se condensa y precipita por causa, fundamentalmente, de tres fenómenos meteorológicos: 1) La mayor cantidad de agua se precipita a lo largo de los frentes de las masas de aire cálido y húmedo que se desplazan sobre las regiones de masas de aire frío. Este desplazamiento suele aparecer generalmente asociado a los grandes movimientos ciclónicos, que recorren enormes distancias. 2) Durante la estación cálida del año, el aire que se calienta en contacto con la superficie de la tierra tiende a ascender en grandes masas hacia las zonas altas donde existen masas de aire más frío. Este movimiento ascendente de convección puede ser provocado simplemente por la inestabilidad de una masa de aire ligera y cá-

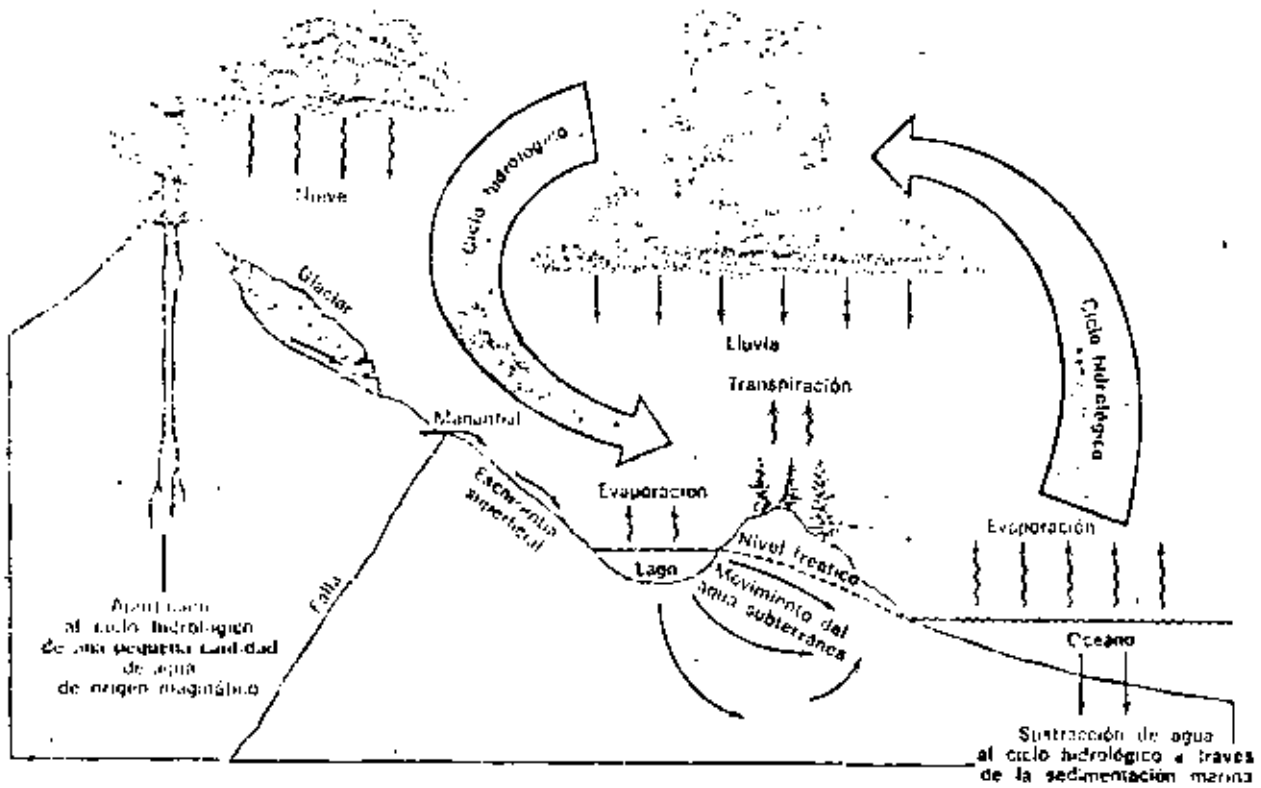


Fig. 1

Fig. 2 — Dibujo esquemático del ciclo de la escorrentía

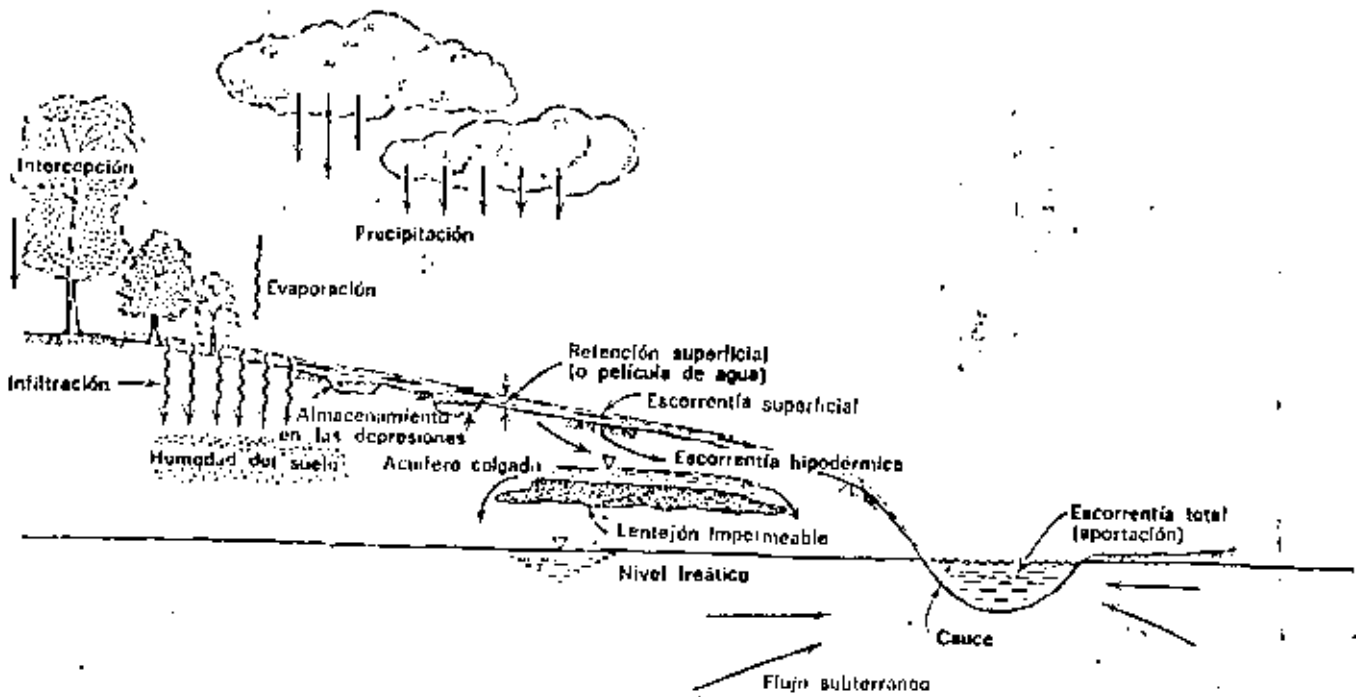


Fig. 2

lida situada por debajo de otra masa de aire más densa y fría aunque también puede ser producido por las corrientes de aire que ascienden sobre las barreras montañosas. 3) El tercer tipo de fenómeno es de carácter puramente orográfico; la precipitación, en este caso, se origina por el enfriamiento adiabático de las masas de aire a medida que éstas se desplazan sobre las elevadas barreras montañosas.

III.1.2.- La evapotranspiración

Una gran parte del agua que se precipita sobre la superficie de la tierra vuelve a la atmósfera en forma de vapor a través de la acción combinada de la evaporación, la transpiración y la sublimación, las cuales son, en esencia, tres variantes de un único proceso debido a la acción de la energía solar, que es la que mantiene el ciclo hidrológico en marcha.

La evaporación es el proceso mediante el cual las moléculas de agua de una superficie libre o de un suelo humedecido -- adquieren, mediante la radiación solar, la energía suficiente para escapar del estado líquido y pasar al estado gaseoso. La sublimación difiere del fenómeno de la evaporación solamente en que las moléculas de agua pasan directamente del estado sólido (nieve o hielo) al estado de vapor, sin pasar -- por el estado líquido. La transpiración es el proceso mediante el cual las plantas ceden agua a la atmósfera.

En muchas regiones, el volumen total de la evaporación real no puede ser considerado independientemente de la transpiración, de ahí que ambos efectos suelen ser considerados en -- conjunto bajo el concepto más amplio de evapotranspiración. Los pulmones de los animales también exhalan al aire cierta cantidad de vapor, pero se trata de una cantidad completamente insignificante en comparación con los efectos totales de la evapotranspiración.

III.1.3.- El Escurrimiento.

El término Escurrimiento es generalmente considerado como un sinónimo de aportación de un río; en este sentido representa la suma del escurrimiento superficial y del flujo subterráneo captado por los cauces de los ríos.

La expresión escurrimiento superficial suele referirse al volumen del conjunto de las precipitaciones que caen sobre una cuenca, menos la retención superficial y menos la infiltración (es decir el agua que llega a atravesar la superficie --

del suelo). Hay que distinguir claramente entre el significado de infiltración y el de flujo subterráneo. Para la comprensión de la relación que existe entre precipitaciones y escurrimientos de vital importancia en muchos proyectos hidráulicos puede ser particularmente expresiva la representación gráfica del ciclo del escurrimiento.

El escurrimiento superficial es función de la intensidad de la precipitación, de la permeabilidad de la superficie del suelo, de la duración de la precipitación, del tipo de vegetación, de la extensión de la cuenca hidrográfica considerada, de la profundidad del nivel freático y de la pendiente de la superficie del suelo. A pesar de esta complejidad del fenómeno, los hidrólogos tienen unos procedimientos que les permiten realizar una serie de análisis muy significativos sobre la forma de los hidrogramas y, en muchas zonas, pueden incluso llegar a hacer predicciones suficientemente precisas sobre el valor del escurrimiento superficial que se producirá como consecuencia de una gran precipitación de características determinadas.

La aportación de una cuenca se representa comúnmente en forma de hidrograma. El hidrograma es una curva que representa las oscilaciones -en función del tiempo- del nivel del agua de un río en una sección dada del mismo. En el caso de un río que posea un tiempo de descarga muy largo, los caudales que por él circulan al cabo de un tiempo son el resultado de la acumulación del escurrimiento superficial con la aportación subterránea.

El estudio de los escurrimientos de los ríos como parte del ciclo hidrológico incluye el de la distribución del agua y el de su trayectoria desde que ésta se precipita sobre la tierra hasta que alcanza la red hidrográfica o vuelve directamente a la atmósfera a través de la evapotranspiración. La proporción correspondiente a cada una de las partes entre las que puede distribuirse el volumen total de agua caída durante una precipitación dada, depende tanto de las características y condiciones físicas -naturales o artificiales- de la cuenca como de las características de la propia precipitación.

Al comienzo de una fuerte precipitación, una gran cantidad de agua es interceptada por la vegetación; el agua así almacenada sobre la superficie de la capa vegetal se encuentra muy expuesta al viento y ofrece una enorme área de evaporación, de tal forma que las precipitaciones de corta du

ración y poca intensidad pueden llegar a ser completamente consumidas por la intercepción, por la pequeña cantidad de agua que se infiltra a través del suelo y por el agua que llena los charcos y las pequeñas depresiones de la superficie del suelo.

Para que el agua llegue a infiltrarse, la superficie del suelo debe presentar una serie de condiciones adecuadas. Cuando a lo largo de una precipitación, el poder de intercepción y de almacenamiento en la superficie del suelo han sido ya agotados, y cuando la precipitación es tal que su intensidad excede la capacidad de infiltración del suelo, comienza ya el escurrimiento superficial propiamente dicha (fig. 2). La superficie del suelo se cubre en ese momento con una fina película de agua llamada película de retención superficial. Una vez que el agua que corre sobre la superficie del suelo y alcanza los cauces de la red hidrográfica, comienza a aparecer el escurrimiento superficial en los cauces.

Parte el agua que se infiltra en el suelo continúa fluyendo lateralmente como un flujo hipodérmico, que tiene lugar a pequeñas profundidades debido a la presencia de horizontes relativamente impermeables situados muy cerca de la superficie del suelo, alcanzando de este modo los cauces de la red sin haber sufrido una percolación profunda. Otra parte de esta agua infiltrada percola hacia la zona de saturación de las aguas subterráneas y, eventualmente, alcanza la red hidrográfica para suministrar el caudal de base de los ríos. Existe todavía otra porción del agua infiltrada que no llega a alcanzar el nivel de saturación de las aguas subterráneas y queda retenida en la zona situada por encima del nivel freático de las aguas subterráneas, llamada también zona de saturación incompleta.

III.2.- Movimiento del agua subterránea

III.2.1.- Zona de humedad

La parte subterránea del ciclo hidrológico constituye el principal centro de interés del hidrogeólogo. En el subsuelo, el agua se puede encontrar bajo una amplia gama de condiciones que se extienden desde el agua que circula libremente hasta el agua que se encuentra firmemente fijada en el interior de las estructuras cristalinas. La mayoría de las discusiones clásicas acerca de las aguas subterráneas tienden a hacer fuerte hincapié en la existencia de diversos tipos de agua subterránea, más o menos bien definidos. En la figura 3 mos-

CLASIFICACION DEL AGUA DEL SUBSUELO

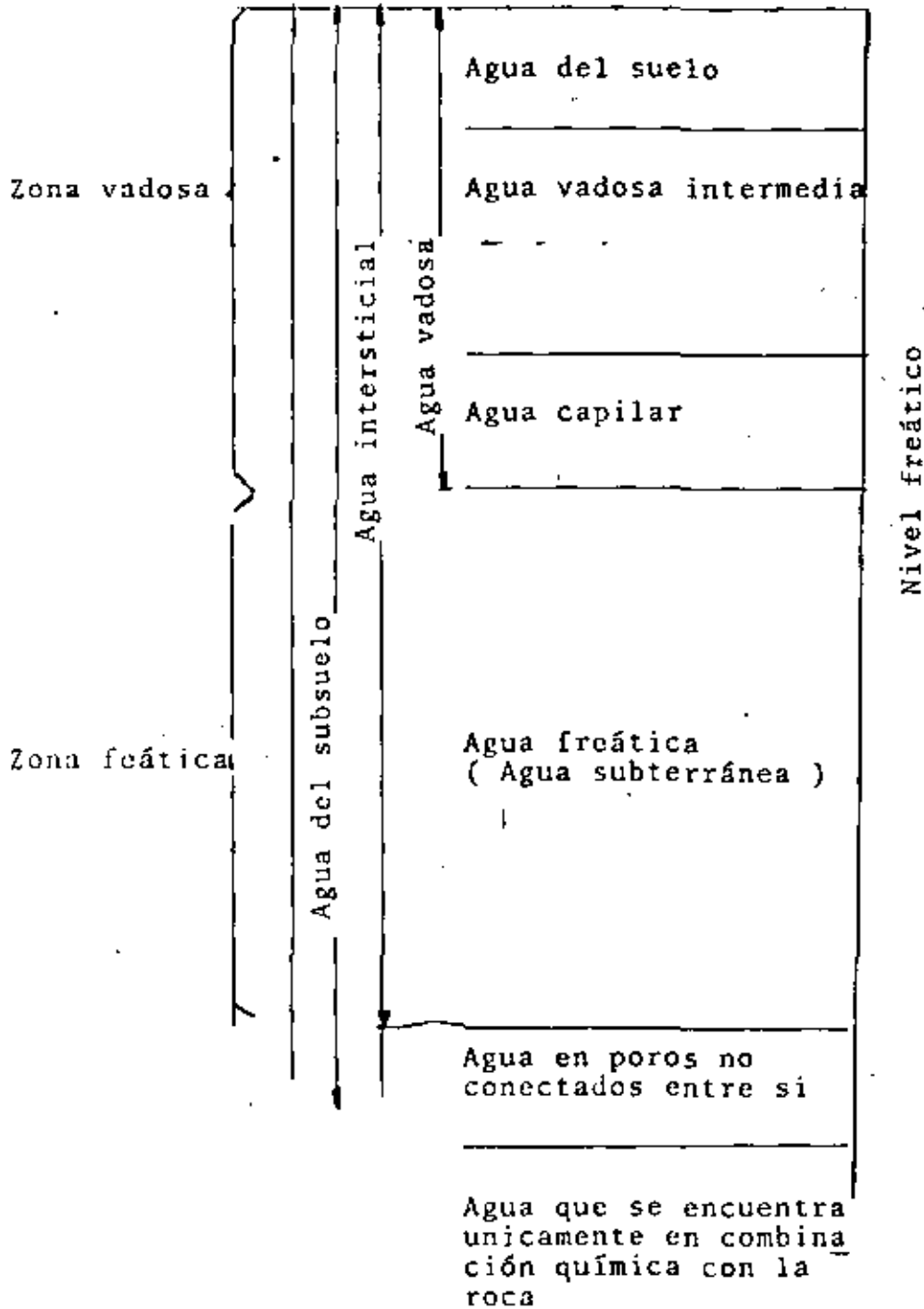


Fig. 3

tramos la clasificación de las aguas subterráneas. No existen, sin embargo, límites tajantes entre cada uno de los tipos de agua de estas dos clasificaciones; así por ejemplo, el agua del suelo está diferenciada del agua de las zonas más profundas.

Las fluctuaciones de humedad producidas por el efecto evapotranspirante de las plantas disminuye gradualmente en profundidad; de hecho, en las zonas de bosque normal, sólo algunas raíces llegan a alcanzar profundidades superiores a los diez metros. En las zonas más altas del suelo, hasta una profundidad de unos pocos centímetros, el contenido de humedad varía en función de las fluctuaciones de la temperatura y de la tensión del vapor, causadas por las variaciones de la temperatura del aire y del suelo. En las noches en las que el suelo pierde gran cantidad de calor por efecto de una fuerte radiación, tiene lugar, como consecuencia, una gran condensación de vapor de agua de la atmósfera sobre la superficie del suelo en forma de rocío; este fenómeno puede llegar a humedecer muy considerablemente los tres primeros centímetros del suelo. Durante los días cálidos, el agua es transportada hasta la superficie del suelo por la acción de las fuerzas capilares, desde donde puede ser evaporada a la atmósfera.

III.2.2.- Zona Intermedia

Generalmente existe una zona intermedia que separa la superficie superior de la zona de saturación de la zona de humedad del suelo. Al agua del suelo y a la de la zona intermedia se la suele denominar agua suspendida, o vadosa; esta agua se desplaza únicamente bajo la acción de la fuerza de la gravedad, por lo que también ha sido denominada por algunos autores con el calificativo de agua gravífica o gravitacional. En este libro no se utiliza este término por considerar que casi todos los desplazamientos del agua libre del suelo y del subsuelo están condicionados por la acción de la fuerza de la gravedad.

La zona intermedia puede llegar a no existir en el caso de medios muy húmedos o, por el contrario, puede poseer un espesor superior a los 300 m en el caso de las regiones áridas. Si el material de esta zona es isótropo y existe además una importante recarga de agua, su contenido de humedad estará generalmente comprendido entre un punto próximo a la saturación y un punto próximo al índice de retención específica del material en cuestión. Sin embargo, el terreno natural no suele ser homogéneo, con lo que la recarga se verifica de manera --

desigual, no uniforme, de unas zonas a otras. Esto se da particularmente en las regiones áridas, donde las precipitaciones son pocas veces suficientes como para satisfacer la capacidad de almacenamiento del suelo. En estas regiones, la principal recarga tiene lugar a través del lecho de los cauces de los ríos, donde se concentra el escurrimiento directo y donde los depósitos permeables de arenas y gravas suelen ser más abundantes. En muchas regiones, es probable que la zona intermedia nunca haya llegado a estar siquiera mojada.

III.2.3.- Franja Capilar

La zona intermedia, en su parte inferior, acaba donde comienza la llamada franja capilar. La transición entre ambas es más bien frusca en el caso de sedimentos de grano grueso, pero, por el contrario, puede llegar a ser prácticamente imperceptible en los limos y en las arcillas. En el caso de suelos de grano fino, si la recarga es activa, la diferencia del contenido de humedad entre la zona intermedia y la franja capilar puede llegar a ser muy pequeña. La superficie de la franja capilar, vista a gran escala, es irregular y su posición varía constantemente al variar el nivel freático y el caudal de la recarga. La parte superior de la franja capilar contiene numerosas bolsas de aire que pueden constituir un freno al movimiento descendente del agua. En la parte inferior de la franja capilar, el terreno alcanza justamente el punto de saturación total. Las fuerzas físicas que gobiernan el flujo del agua de la parte inferior de la franja capilar son prácticamente idénticas a las fuerzas que rigen el movimiento del agua subterránea en la zona de saturación.

III.2.4.- Superficie Freática.

La zona de aguas subterráneas, o aguas freáticas, está separada de la franja capilar por la superficie freática. La superficie freática es una superficie teórica que viene determinada de manera muy aproximada por el nivel de la superficie del agua en el interior de los pozos que justamente penetran en el interior de la zona de saturación. Si el flujo del agua subterránea es horizontal, los niveles del agua en el interior de los pozos corresponden exactamente a la superficie freática. Sin embargo la presencia de pozos de bombeo distorsiona la forma natural de las superficies equipotenciales y, con ello, el nivel del agua en el interior de los pozos.

Y

Las definiciones más generalizadas de la superficie freática la consideran como la superficie que separa la franja capilar de la zona de saturación, o bien como la superficie definida por los niveles de agua en los pozos que alcanzan un terreno saturado en condiciones de no confinamiento. Una definición más exacta diría que la superficie freática es la superficie saturada de un terreno no confinado sobre la cual la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica.

III.2.5.- Zona de Saturación

El agua situada por debajo de la superficie freática es generalmente denominada agua subterránea, y la zona situada por debajo de esta superficie es llamada zona de saturación. Ambos términos suelen ser un tanto confusos a causa de su frecuente interpretación no científica. Frecuentemente el término no agua subterránea suele hacer referencia a todo tipo de agua situada por debajo de la superficie del suelo, y el término zona de saturación suelo referirse a todo tipo de material saturado de agua. Por esta razón, proponemos la utilización del término "agua subterránea" como medio muy general de expresar toda el agua situada por debajo de la superficie del suelo. El término "zona de saturación" no es un término tampoco muy exacto, ya que la parte inferior de la franja capilar está también saturada. Teniendo en cuenta que el agua de la parte inferior de la franja capilar emigra casi con la misma velocidad que el agua situada justo por debajo de la superficie freática, no nos parece justificada esta definición de zona de saturación. Un término más aceptable para definir esta zona sería el de zona de agua freática, puesto que con este término se acostumbra designar el agua que puede entrar libremente en los pozos. El agua de la franja capilar no fluye a los pozos que la atraviesan, a no ser que se trate de un pozo de captación que penetre por debajo de la superficie freática y la capte indirectamente.

La zona de agua freática limita en su parte inferior con una zona donde la compacidad del terreno hace que éste contenga muy pocos poros, no conectados entre sí, con lo que el agua no puede emigrar en profundidad.

III.2.6.- Los Acuíferos

Solamente una reducida minoría de zonas freáticas puede suministrar caudales significativos de agua a los pozos que las atraviesan. Las zonas que poseen agua de llaman acuíferos.

Una roca que ni almacena ni transmite agua se llama acuífugo -término que contrasta, pues con el de acuífero, que se refiere a las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua a los pozos gracias a los espacios porosos que existen en su interior, y con el de acuícludo, que se refiere a las formaciones geológicas que solamente almacenan agua, pero que no la transmiten en cantidades significativas-. El término acuitardo es también utilizado por algunos autores para describir las formaciones geológicas que, aunque almacenan agua y la transmiten en cantidades significativas a escala regional, no son suficientes para abastecer por sí instantáneamente a los pozos.

Los términos precedentes carecen todos de definiciones precisas en lo que respecta a las propiedades físicas mensurables de los terrenos acuíferos; de hecho, se ha dicho con frecuencia que un acuífero de una región deéctica que pudiese suministrar a un pozo un caudal de 500 litros/día sería clasificado como acuitardo, o incluso como acuícludo, si ese mismo terreno estuviera situado en un valle aluvial colmatado por gravas, las cuales son capaces de suministrar volúmenes de varios miles de metros cúbicos al día. Por esta razón, algunos hidrogeólogos prefieren definir los acuíferos como zonas naturales situadas por debajo de la superficie del suelo que son capaces de suministrar agua en cantidades suficientemente grandes como para ser económicamente explotables.

Los acuíferos pueden estar constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados, por rocas plutónicas masivas fracturadas, por estratos de areniscas porosas, por bancos de calizas carstificadas y por otros muchos contextos geológicos diferentes. Aunque se pueden hacer cálculos sumamente útiles partiendo de la hipótesis simplificadora de que los acuíferos son uniformes en su composición, horizontales y tabulares, el hidrogeólogo debe tener siempre presente que existe, sin embargo, una variedad casi infinita de formas y condiciones hidrogeológicas posibles. En los capítulos siguientes se analizan muchas de las posibles condiciones acuíferas que pueden presentar los terrenos geológicos en la naturaleza.

III.- 2.7.- Agua Confinada y no Confinada

El agua de un acuífero que se encuentra en contacto directo con la atmósfera a través de los espacios huecos de un terreno permeable se la denomina agua no confinada. El agua confinada está separada de la atmósfera por un terreno impermeable. La división entre aguas confinadas y no confinadas no tiene solución de continuidad. El término semiconfinado se utiliza para las condiciones intermedias. En muchas zonas, la primera

agua no confinada que se suele encontrar está frecuentemente por encima de la zona general de las aguas freáticas, constituyendo un volumen de agua más o menos aislado cuya posición está impuesta por la estructura y la estratigrafía del terreno; al agua que se encuentra bajo estas condiciones se la denomina agua colgada; su superficie freática recibe el nombre de superficie freática colgada. La distinción tajante entre agua confinada, semiconfinada, no confinada y colgada es generalmente muy difícil de establecer en la naturaleza.

Al agua confinada se le suele denominar también agua artesiiana. Esta expresión, sin embargo, fue aplicada al principio exclusivamente para las aguas subterráneas sometidas a una presión hidráulica suficiente como para dar lugar a pozos surgentes. En los últimos años, el término artesiiano se ha venido utilizando más o menos como sinónimo de confinado.

III.2.8.- Elementos de un Sistema Artesiano.

El concepto primitivo de flujo artesiiano estaba basado en una concepción análoga a la de un depósito estanco alimentado por una fuente de agua con una carga hidrostática situada a una cota superior a la del punto de descarga. La mayoría de los ejemplos de los libros de texto muestran, todavía hoy día, una estructura geológica sinclinal con una fuente de recarga situada por encima del nivel piezométrico del agua en un pozo de descarga, como ejemplo de un sistema acuífero artesiiano.

En estos libros se suele ver cómo el nivel piezométrico del acuífero se obtiene uniendo con una línea recta la posición del nivel del agua en la zona de recarga con la posición alcanzada por el nivel del agua en un pozo surgente. En estos ejemplos. El acuífero suele estar confinado por una formación porosa prácticamente impermeable, llamada acuicludo, o por formaciones ligeramente permeables, llamadas acuitardos. Esta imagen estructural clásica, si bien es cierta para una gran parte de los grandes sistemas artesianos, en la naturaleza, sin embargo, las variedades de condiciones hidráulicas de artesiianismo son infinitas.

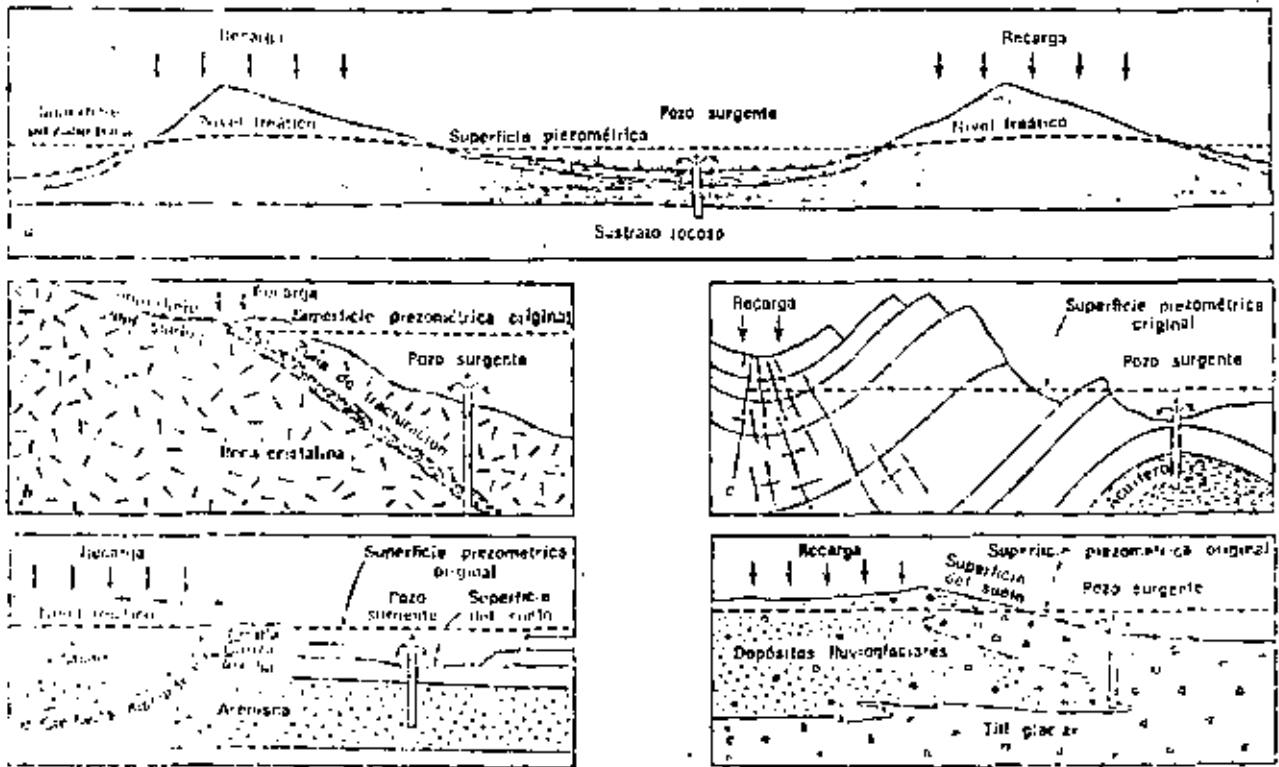
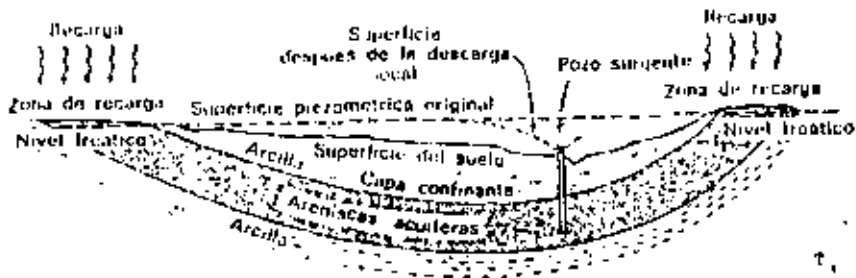
III.2.9.- Origen de la Presión Hidráulica en los Acuíferos Artesianos.

El solo hecho de que la cota del agua sea más elevada en la

zona de recarga que en un punto de descarga de un pozo explica ya que éste pueda llegar a ser surgente. Esta explicación tan simplista sólo puede ser rigurosamente exacta en los casos de acuíferos de extensión local, en rocas consolidadas. Los acuíferos de gran extensión pueden presentar una complejidad notablemente mayor, siendo necesario recurrir a modelos gráficos más complicados para poder explicar satisfactoriamente el conjunto de fenómenos observados en la mayor parte de los grandes sistemas artesianos. fig. 4

Si un sistema artesiano fuera perfectamente rígido y estuviera saturado de un fluido ideal que no tuviera ninguna viscosidad y fuera incomprensible, los efectos de la descarga de un pozo serían observados a través de una caída instantánea del nivel del agua en todos los pozos del acuífero así como en la zona de recarga del sistema. Este fenómeno, sin embargo, no suele observarse en los sistemas artesianos, donde, por lo general, los efectos que producen los bombeos de los pozos son de un orden de magnitud tal que prácticamente quedan limitados a una zona próxima a los pozos bombeados que normalmente no suele ser superior a unos 15 km.

Meinzer fué uno de los primeros geólogos que siguió esta línea de razonamiento hasta llegar a una conclusión lógica. Meinzer observó que el nivel del agua en los pozos del gran sistema artesiano de Dakota, en los Estados Unidos, respondía solamente a los efectos de los bombeos locales; observó también que el volumen del cono de depresión creado por los bombeos era notablemente inferior al del agua bombeada. Los cálculos posteriores de Meinzer pusieron de manifiesto que el agua bombeada en los sistemas acuíferos confinados y semiconfinados proviene simultáneamente de tres fuentes principales: 1) Del agua que se desplaza dentro de la formación acuífera hacia la zona de descarga. 2) Del agua que sería expulsada al exterior, a través del pozo, por la compactación del terreno acuífero descargado. 3) De la expansión del volumen de agua comprimida en el acuífero. Concluyó que de estas tres fuentes, la segunda -el agua expulsada al exterior por la compactación del acuífero- era la más importante.



-- Pozos artesianos (surgentes) en dunas estabilizadas (a), en rocas cristalinas (b), en rocas sedimentarias complejamente plegadas y fracturadas (c), en rocas sedimentarias horizontales (d) y en depósitos glaciares (e).

Fig. 4

IV.1.- FOTOINTERPRETACION GEOHIDROLOGICA

En nuestro país existen muchas áreas con escasa información geohidrológica, es necesario iniciar los estudios prácticamente desde la prospección o búsqueda del agua subterránea, fijando los sitios para las exploraciones geofísicas o para las perforaciones y posteriormente, en otras etapas, de la investigación de los recursos hidráulicos subterráneos se requiere el establecimiento de 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.

Mucha de la información necesaria para los estudios geohidrológicos puede ser obtenida con rapidez y bajo costo, mediante la interpretación de fotografías aéreas, ya que ellas 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; la utilización de fotografías aéreas resulta favorable incluso 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. Los criterios de interpretación pueden ser válidos tanto para fotografías aéreas verticales obtenidas con cámaras comerciales como para fotografías espaciales.

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 fotointérprete y del tipo de material fotográfico utilizado.

La técnica de fotointerpretación proporciona información eminentemente de tipo cualitativo mediante el análisis y clasificación de los rasgos que presentan los objetos fotografiados. Con este análisis se trata de establecer todos los tipos de interrelación que existe entre los rasgos y formas que han intervenido en su formación; de esta manera se establecerán diferencias y discontinuidades de los terrenos que luego es necesario rectificar o ratificar en el campo; es por eso que esta actividad de ninguna manera desecha los trabajos de campo, aunque 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).- Características de la fotografía aérea
- b).- La imagen estereoscópica
- c).- Característica de la fotointerpretación

Fotografías Aéreas. - Las fotografías aéreas de eje vertical es una proyección central que registra todos los objetos visibles en la superficie terrestre. Sus características geométricas resultan incorrectas debido al desplazamiento causado por el relieve y por la distorsión de la cámara fotográfica. Existen numerosas características de las fotografías aéreas 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; comúnmente 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, deben tenerse presente dos factores que incluyen 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 o espaciales, ya que en una sola fotografía pueden aparecer estructuras geológicas de conjunto, que a una escala mayor, serían registrados sólo parcialmente, por lo que estas estructuras pudieran pasar desapercibidas.

Estereoscopia.-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 sólo 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 estereoscopios o anaglifos. Comúnmente en los trabajos de fotointerpretación se utilizan estereocopios de lentes, prismas y espejos.

Características de la fotointerpretación.- La parte más importante de los trabajos de fotointerpretación la constituye el elemento humano ya que en la mayoría de los casos, la calidad depende fundamentalmente de la experiencia y formación profesional del intérprete; esto y los objetivos que persigue la fotointerpretación determinan el nivel y el alcance del trabajo.

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, hidrológicos y de uso del suelo; para poder --conceptuar a través de fotografías todos los factores que tienen relación con el agua subterránea.

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 geomorfológicas de las zonas fotografiadas.

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

IV. RESISTIVIDAD ELECTRICA

En la explotación del agua subterránea con frecuencia se plantea la necesidad de ubicar adecuadamente las perforaciones y la profundidad de ellas; esto se puede lograr si se conoce tridimensionalmente la estructura geohidrológica y las discontinuidades que presentan los terrenos.

Investigar la estructura del subsuelo en base a perforaciones resulta demasiado costoso y hacer exploraciones aisladas, sea por sondeos mecánicos o geofísicos, pueden proporcionar información falsa sobre las condiciones del subsuelo, ya que generalmente los terrenos no son homogéneos y presentan variaciones o discontinuidades tanto laterales como en profundidad.

Aunque hay varios procedimientos geofísicos para investigar el subsuelo, tratándose del agua subterránea, el que mayores ventajas tiene es el método de resistividad eléctrica, porque el recíproco de ésta o sea la conductividad eléctrica, esta íntimamente ligada a la naturaleza de los elementos sólidos (conductividad electrónica) y al contenido y calidad del agua que están en los intersticios de las rocas y los suelos (conductividad iónica).

En la práctica, numerosas experiencias han permitido señalar la bondad del método resistivo, aclarando que las medidas resistivas no determinan ni la presencia de agua ni la cantidad de agua disponible, sino que un conjunto de medidas terminan como es la distribución de la corriente eléctrica en el subsuelo, lo que indudablemente está relacionado con su estructura geohidrológica. La interpretación y calibración posterior de las medidas resistivas con datos de perforaciones permite ver hasta entonces cual es el horizonte o cuerpo que tiene interés acuífero.

La ventaja del método resistivo, calibrado con perforaciones, estriba en que no se tiene una información puntual sino una información tridimensional de toda una cuenca geohidrológica.

Es por eso que la práctica aconseja que se obtenga una cantidad suficiente de medidas para poder registrar con seguridad las variaciones que muestran los terrenos, aún tratándose de definir la ubicación de una perforación, pues un sólo sondeo geofísico puede estar afectado por influencias laterales que distorsionan la realidad.

IV.2.1.- Fundamentos

Existen varios métodos de investigación geofísica -- que se fundan en el estudio de la circulación de la corriente eléctrica a fin de establecer una relación entre la propagación de la corriente y las características físicas del subsuelo.

Esta circulación se produce en forma natural mediante corrientes telúricas o en forma artificial cuando se introduce una cantidad de corriente conocida, pues todos los materiales facilitan en mayor o menor grado el flujo de la corriente, ya sea a través de los elementos sólidos (conductividad electrónica) o por medio de los iones del agua que ocupa los intersticios de las rocas y los suelos (conductividad iónica).

Una circulación artificial de la corriente es la que se lleva a cabo por el método de resistividad eléctrica, que consiste en crear un campo de potencial al introducir una corriente continua de intensidad conocida y medir los efectos -- que dicha corriente provoca, es decir medir el valor del potencial o de alguna otra cantidad asociada con este flujo de electrones.

La medición del campo eléctrico se logra mediante -- instrumentos y dispositivos de medidas tetrapolares (2 electrodos de corriente y dos de potencial), haciendo sondeos eléctricos verticales o secciones cuya ubicación y arreglo, permite -- obtener información sobre la distribución y anomalías de la corriente eléctrica en el subsuelo y por tanto de su estructura.

Para los estudios geohidrológicos este método resulta de gran valor porque la conductividad iónica está relacionada con el volumen de los poros y con la disposición y el volumen de los poros reemplazados por agua, lo que significa que -- si un terreno es compacto, presentará una elevada resistencia al paso de la corriente eléctrica; en caso contrario, si son -- porosos, tendrán baja resistencia la cual disminuye más si los poros contienen agua.

La oposición que muestran los materiales al paso de la corriente es una resistividad aparente que resulta ser una función de la resistencia específica real de los terrenos que afectan la circulación de la corriente; entonces al hacer una investigación por el método de resistividad eléctrica, la base fundamental de ésta es determinar y analizar las resistividades aparentes.

La determinación del valor de la resistividad aparente se obtiene mediante la medida de la diferencia de potencial entre dos puntos del terreno, con relación a la intensidad de la corriente introducida al subsuelo y a un arreglo geométrico de los electrodos de emisión (AB) y recepción (MN) de la corriente eléctrica (Figura 5).

La fórmula base se determina de la manera siguiente:

Considerando un medio homogéneo e isótropo como el de la figura 6 que tiene una resistividad específica (ρ) en el que se coloca un electrodo en A y si se aplica una corriente de intensidad I y además se trazan dos espesores de radio r y $(r+dr)$ con centro en A se forma un cono de ángulo muy pequeño, la caída de potencial dV , originada por el paso de la corriente en el tronco de cono según la ley de Ohm se escribe:

$$-dV = \rho \frac{dr}{ds} I$$



Fig. 5

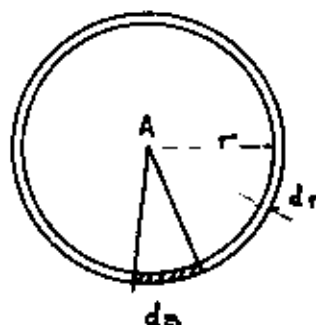


Fig. 6

Para la esfera total de radio r

$$-dV = \rho \frac{dr}{4\pi r^2} I$$

$$V = \frac{\rho I}{4\pi} \frac{1}{r} + cte$$

En el caso de una medición en el cual los electrodos estén situados en la superficie del terreno o sea en un semiespacio infinito entonces:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r}$$

En la práctica los métodos más utilizados emplean 4 electrodos. Si se aplica la fórmula anterior a un cuádrupolo cualquiera -- ABMN, en la que se tiene un circuito de emisión AB y otro de recepción MN (Fig. 7) los potenciales producidos se sumarán algebraicamente.

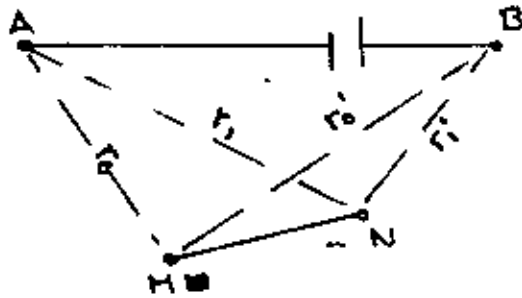


Fig. 7

En este caso el potencial en M y N será

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_0'} \right)$$

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1'} \right)$$

$$V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_0'} \right) - \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1'} \right)$$

$$V_M - V_N = \Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0'} + \frac{1}{r_1'} \right)$$

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \left(\frac{2\pi}{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0'} + \frac{1}{r_1'}} \right)$$

si llamamos

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0'} + \frac{1}{r_1'}}$$

entonces

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

que es la fórmula general de resistividad para cualquier dispositivo cuádrupolar.

En el caso de un terreno cualquiera no isótropo ρ resulta aparente y la fórmula se expresa:

$$\rho_a = K \frac{V}{I}$$

El concepto de este valor radica en el hecho de que proporciona una medida que es función de la caída de potencial de los terrenos homogéneos y las unidades están expresadas en las dimensiones de una resistencia multiplicada por su longitud o sea en ohmios-metro (Ω/m); los demás factores que intervienen están expresados: (ΔV) en milivoltios e (I) en ----- miliampers; el valor K es, de longitud_y_depnde del arreglo y separación de los electrodos.

1A.2.2.- Dispositivos de Medida

De manera general se puede decir que los métodos tradicionales de medida adoptan un arreglo cuadripolar con 2 electrodos de emisión y 2 de recepción, en las que las separaciones pueden variar o permanecer constantes según sea el tipo de investigación por efectuar.

Los dispositivos de uso común más importantes son el Schlumberger y el Wenner, de los que se ha derivado una serie de variantes y combinaciones para realizar los trabajos en forma más expedita.

El arreglo Schlumberger es el más ampliamente usado en prospección eléctrica. Para este arreglo los 4 electrodos se colocan a lo largo de una línea recta sobre la superficie del terreno (Fig. No. II.4a), en el mismo orden A, M, N y B, la distancia \overline{AB} suele ser mayor 5 veces a la separación \overline{MN} ($\overline{AB} = 5 \overline{MN}$), en este caso la constante K de un arreglo simétrico AMNB es:

$$K = \pi \left(\frac{\overline{OA}^2}{\overline{MN}} - \frac{\overline{MN}}{4} \right)$$

Por ejemplo, si se tiene un arreglo de $\overline{AB}=100$ y $\overline{MN}=20$, la constante valdrá:

$$K = 3.1416 \left(\frac{50^2}{20} - \frac{20}{4} \right)$$

$$K = 377.0$$

El arreglo Wenner también utiliza 4 electrodos equidistantes que se colocan en la superficie del terreno a lo largo de una línea recta (Fig.No.II.4b), así se tiene que:

$$\overline{AM} = \overline{MN} = \overline{NB} = a$$

y

$$K = 2\pi a$$

en este caso el valor de K depende directamente del valor que tenga a ; por ejemplo si $a=30$ m, entonces:

$$K = 2\pi \times 30$$

$$K = 2 \times 3.1416 \times 30$$

$$K = 188.5$$

Además de los arreglos electródicos antes mencionados existen una serie de variantes y combinaciones entre las que se cuenta la de Wenner-Lee, que utiliza un electrodo central, que permite comprobar la medición en ambos lados del dispositivo (Fig. No.II.4c); el valor de la resistividad aparente viene dado por la ecuación siguiente:

$$\rho_a = 4\pi a \Delta V_U^P = 4\pi a \frac{\Delta V^M}{I}$$

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

Los tres arreglos descritos son los más utilizados en la prospección eléctrica aplicada para geohidrología.

1A.2.3.- Trabajo de Campo

Los trabajos de campo consisten esencialmente en un reconocimiento del terreno para fijar los sitios de medición y la operación para obtener las medidas resistivas.

Reconocimiento del Terreno

En los estudios de resistividad eléctrica previamente se requiere realizar un reconocimiento de campo para ubicar adecuadamente los sondeos y los perfiles, mismos que estarán acordes con el objetivo y nivel de la investigación.

Durante este recorrido se debe tomar nota sobre la forma topográfica del terreno, las características de calidad y estructura geológica observable en la superficie, así como los escurrimientos y arreglo de la red hidrográfica. También es necesario obtener información sobre los aprovechamientos hidráulicos superficiales y subterráneos para que sea utilizada y tomada en cuenta tanto en la fijación de los sondeos como en el proceso de interpretación de medidas.

Una manera de auxiliarse en el reconocimiento de campo es mediante la interpretación de fotografías aéreas, porque en ellas se pueden delimitar las variaciones que tienen las rocas y los suelos y hacer un análisis de la estructura geomorfológica. Este procedimiento además de proporcionar una riqueza de información, es rápida y económica y dará una base objetiva para hacer posteriormente una correlación de resultados.

Al registrar todos los elementos que se identifiquen en la superficie del terreno, se estará en posibilidad de decidir sobre los dispositivos de medida, separación de los electrodos, y las diferentes profundidades a que deberá orientarse la investigación.

Operación de Campo

La ejecución de un programa de exploraciones en el campo es parte fundamental dentro del proceso de investigación, ya que de su buena realización depende el resultado final del estudio, por lo que las medidas deberán realizarse correctamente.

El proceso para realizar un programa de investigaciones debe incluir sistemáticamente los siguientes pasos:

- a) Preparación del dispositivo e instalación del equipo.
- b) Obtención de la medida
- c) Comprobación de las medidas y trazo de la curva del sondeo
- d) Observaciones durante la medición y tipo de registro.
- e) Sondeos de prueba y de correlación
- f) Separación de sondeos y promedio de medidas.

a).- Preparación del dispositivo e instalación del equipo.- Una vez seleccionado el punto por investigar, se coloca en dicho sitio una estaca con su número correspondiente, se señala el rumbo del dispositivo de acuerdo con el programa previsto o en su defecto hacia las zonas de mejor acceso para el dispositivo de medida, se proporciona al personal una cuerda de 100 m y se les dan instrucciones sobre las sucesivas posiciones del cuadripolo AMNB, la cual depende del dispositivo empleado. Las maniobras anteriores deberán realizarse simultáneamente con la instalación del equipo de medida.

b).- Obtención de la medida.- Una vez instalado el equipo y verificado la correcta posición de los electrodos se procede a verificar la calibración del instrumento de medida, este paso deberá realizarse antes de iniciar cada sondeo; posteriormente se efectúa la cancelación de las tensiones parásitas y se procede a realizar las medidas de V_e correspondientes a la primera estación; enseguida, los obreros desplazan los electrodos a las demás posiciones; en cada posición deberá compensarse la tensión entre los electrodos M y N y realizar la medición lo más rápidamente posible. Lo anterior se repetirá en cada estación hasta terminar con el sondeo.

La realización de las medidas depende mucho del equipo que se utilice. A continuación se describe una medida para arreglo Schlumberger utilizando un equipo constituido por un potenciómetro y un convertidor de corriente; la parte inicial del proceso es semejante a otros sondeos, se proporciona a los peones una cuerda en donde van marcadas las sucesivas posiciones de los electrodos A y B, ya que los electrodos M y N debe-

rán desplazarse con otra frecuencia, se realiza la instalación del equipo, se conectan los electrodos M y N a los carretes y estos a su vez al potenciómetro, los electrodos de emisión se conectan por medio de sus carretes a la fuente de energía en este caso al convertidor.

Se realiza el ajuste de cero del aparato y se procede a efectuar la compensación de las tensiones parásitas que se encuentran en los electrodos de potencial; tan pronto como se ha efectuado, se cierra el circuito de emisión y se procede a realizar las medidas de $V_e I$ de la primera estación, después de esto los obreros desplazan los electrodos A y B a las demás estaciones. En cada estación debe compensarse la tensión entre los electrodos M y N y realizar la medición lo más rápidamente posible; después de cada lectura deberán verificarse las tensiones parásitas, si éstas han variado notablemente, se deberá repetir la lectura, una vez que se haya compensado la polarización espontánea.

Cuando se está utilizando dispositivo Schlumberger, los valores de V disminuyen rápidamente de estación a estación, cuando el operador prevea que la siguiente lectura va a resultar difícil, se procede a la operación de empalme, es decir, el paso a un valor mayor de MN. Generalmente la distancia $4N \approx AB/5$.

c).- Comprobación de las medidas y trazo de la curva en el campo.- Se debe ir comprobando la calidad de los resultados por lo que se debe calcular y dibujar la curva de resistividades aparentes que las expresa, si la curva presenta saltos o irregularidades, se repiten las estaciones correspondientes procurando eliminar las causas de la irregularidad; esto es, realizar pruebas de fuga, compensación de tensiones parásitas, correcta colocación de los electrodos, buen estado de cables, calibración del instrumento de medida y tomar nota del material en que se hayan clavado los electrodos. La comprobación de las pruebas de fugas deberá realizarse periódicamente; en tiempo húmedo y terreno cubierto de barro se efectúa varias veces en cada sondeo.

d).- Observaciones durante la medición y tipo de registro.- La correcta anotación de las observaciones de campo es uno de los factores que más influyen en la calidad de los resultados finales. Las lecturas de los instrumentos deben ser registrados fielmente, es necesario que el operador anote todos los factores que puedan influir en la medición, como estado y anomalías del equipo, pruebas de fuga, estabilidad de la compensación, estado del tiempo, estado y naturaleza del suelo, accidentes topográficos, caminos, líneas eléctricas, --

etc., que hayan sido atravesadas por los electrodos de corriente. También son muy importantes los datos geológicos, tales como naturaleza del recubrimiento y acarrees, afloramientos próximos, etc.

Las Figuras Nos. 8 y 9 reproducen una hoja para registro de campo para dispositivo Schlumberger y Wenner respectivamente.

e).- Sondeos de prueba y correlación.- Cuando en una zona por investigar se desconocen por completo las resistividades, es conveniente realizar algunos sondeos de prueba, para conocer los rangos de variación de la resistividad así como el número de medidas a realizar por cada sondeo. Si en la zona de estudio o en áreas adyacentes existen perforaciones profundas, es conveniente efectuar en cada pozo sondeos en cruz, es decir investigar el mismo punto con los azimutes del cuadrípulo perpendiculares, lo anterior se realiza para calibración posterior de las medidas con los resultados de la perforación.

f).- Separación de sondeos y promedio de medidas.- Las separaciones más comunes entre centros de cada sondeo es de 400 a 500 m, pero esto depende del detalle que se desee obtener.

El promedio de medidas en la exploración geoelectrica es importante desde el punto de vista económico, pero depende de factores tan esenciales como la práctica y experiencia del personal y de las condiciones imperantes en la zona de estudio, sobre todo hacia las áreas donde se desplazarán los electrodos, ya que una zona poco accesible permite un avance lento del dispositivo AMNB. También depende de la longitud final de la línea AB y del desplazamiento entre los centros de cada sondeo.

El rendimiento diario promedio es de 4 sondeos con 22 estaciones cada uno, cuando la separación entre sondeos sea de 500 m y las longitudes de las líneas de emisión queden comprendidas entre 800 y 1,200 m, es decir se deberán realizar entre 80 y 100 medidas de resistividad diarias. Conforme se vaya adquiriendo destreza en la operación del equipo y experiencia deberá aumentar el promedio de medidas diarias.

11.2.4.- Interpretación

Después de obtener la información de campo y las medidas resistivas se lleva a cabo la interpretación de resultados tanto cualitativa como cuantitativamente; en el primer caso para determinar un esquema de la distribución de la corriente en

NOMBRE N°		AZIMUT N. M.		S. E.		
ESTUDIO						
LUGAR				J	M	A
FECHA				OBSERVACIONES		
05						
15						
2						
3	7	1.76				
5	7	4.77				
7	2	7.34				
10	2	15.55				
10	5	5.89				
15	5	12.75				
20	5	24.25				
20	5	54.2				
40	5	100.1				
50	5	154.7				
50	20	57.7				
70	5	307.5				
70	20	75.4				
100	20	193.5				
150	20	352				
200	20	627				
200	20	150.8				
300	20	1417				
300	80	247				
400	20	2510				
400	80	672				
500	20	8925				
500	80	925				

Fig. 8 Schulumberger

Proyecto _____

Perfil _____

SEV. N° _____

e	i (mA)	V (mV)	K	ρ_0
1			6.3	
2			12.5	
3			18.8	
4			25.5	
6			37.5	
8			50.0	
10			62.5	
12			75.0	
16			100.0	
20			125.5	
24			150.0	
32			200.0	
40			250.0	
48			300.0	
56			351.6	
64			402.0	
72			452.0	
80			500.0	
100			628.0	
120			754.0	

Observaciones. _____

Fig. 9 Wenner

el subsuelo y en el segundo caso para definir la posición, espesor y profundidad de aquellas zonas que presentan variaciones o anomalías resistivas.

La interpretación normalmente se hace en función de valores de resistividad pero si se tiene información geológica de superficie y del subsuelo, entonces estos datos ayudan a calibrar las medidas y correlacionar conjuntamente la información permitiendo obtener perfiles de resultados con sus características geofísicas y geológicas. A continuación se describen estos procedimientos.

Interpretación Cualitativa

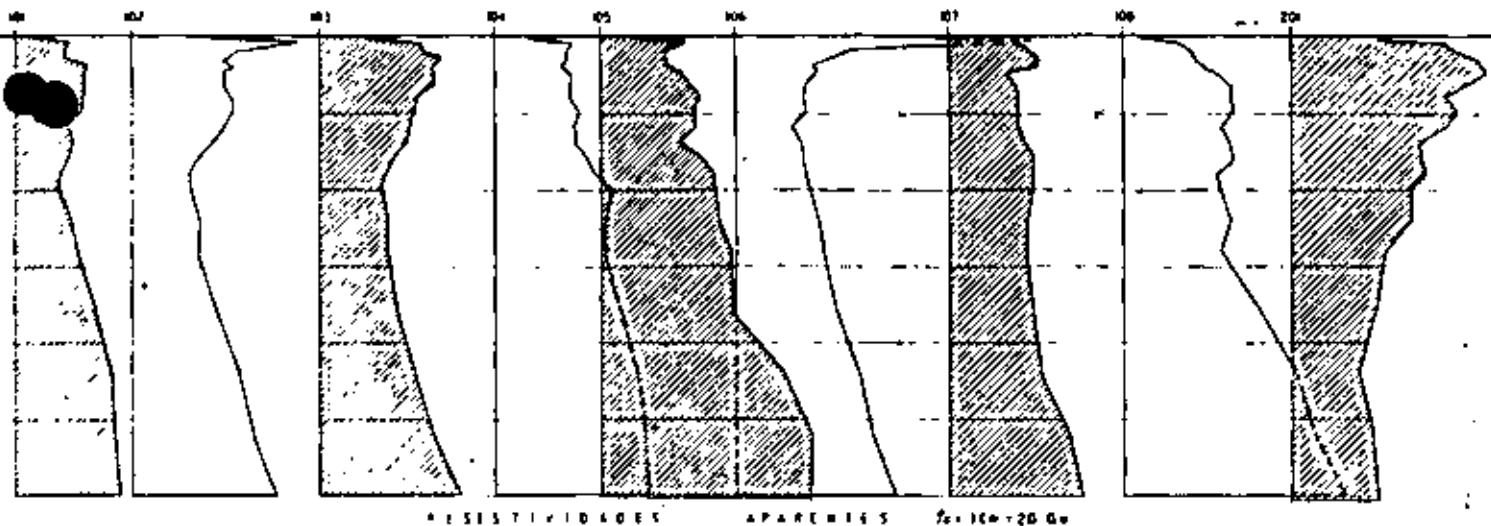
Este tipo de interpretación permite establecer conceptualmente las irregularidades del terreno en función de la distribución de la corriente en el subsuelo; para tal fin se lleva a cabo el procesamiento de los valores resistivos y elaboración de varios tipos de curvas. El procesamiento incluye:

- a).- Verificación de las resistividades aparentes.
- b).- Elaboración de curvas de resistividad aparente-distancia de emisión.
- c).- Elaboración del perfil de curvas de isorresistividad.
- d).- Elaboración del perfil de resistividad aparente-distancia de emisión constante.
- e).- Mapa de isorresistividad aparente con distancia de emisión constante.

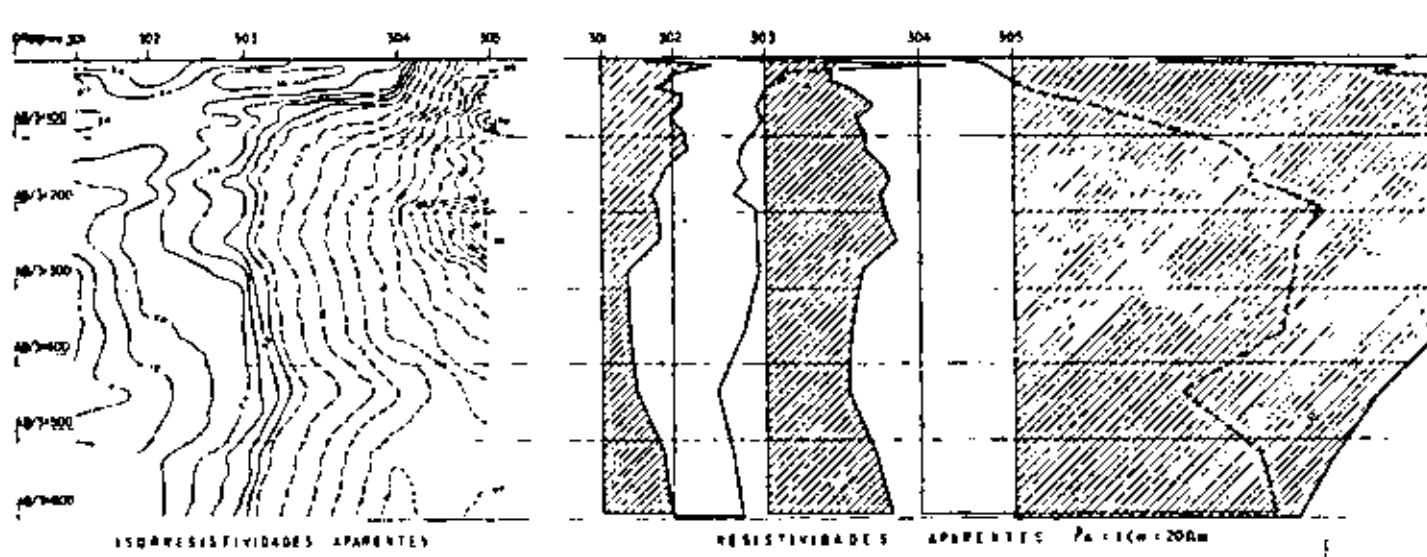
a).- Verificación de las resistividades aparentes.- Esta operación consiste en una verificación de los valores de resistividad calculados en el campo y la transferencia de dichos valores en una tabla para obtener un conjunto de todas las medidas según el número de sondeos y separación de los electrodos. Cuando se utilizan arreglos tipo Schlumberger es necesario además realizar correcciones de los valores en los puntos necesarios del sondeo hasta donde se encuentre otro empalme.

b).- Elaboración de curvas de resistividad aparente-distancia de emisión.- Estas curvas se trazan en coordenadas cartesianas en la cual las ordenadas corresponden a la distancia de emisión y las abscisas a la resistividad aparente. Cada una de estas curvas se ordenan o acomodan a escala bajo una alineación determinada, obteniéndose un esquema de conjunto que permite observar las variaciones de resistividad para cada distancia de emisión y consecuentemente definir la continuidad o discontinuidad de un horizonte. En la Figura No. 10 se

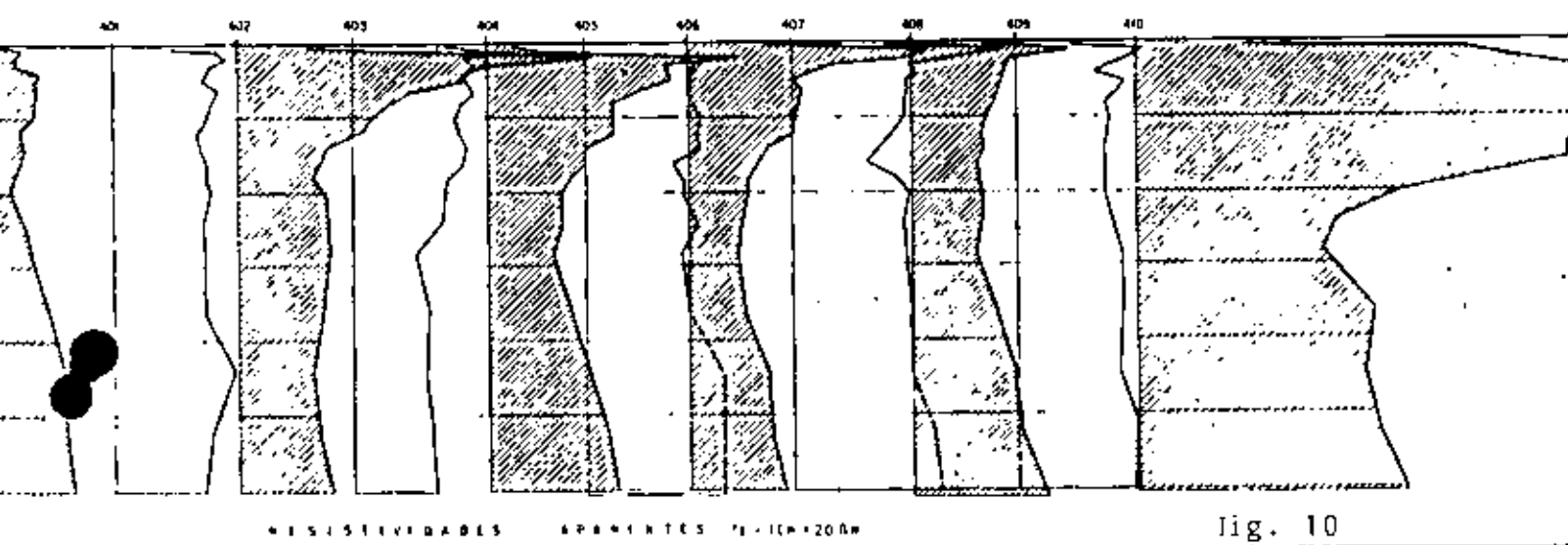
P E R F I L N° 1



P E R F I L



P E R F I L N° 4



muestra un ejemplo de esta curva, en la cual la escala vertical es de 1:4,000 y en la horizontal 1 cm corresponde a un valor de la resistividad equivalente a 40 Ω m.

c).- Elaboración del perfil de curvas de isorresistividad. Estas curvas se construyen debajo de un perfil del terreno donde quedan alojados varios sondeos alineados; en este perfil se marcan los valores de resistividades aparentes bajo cada punto de emisión para realizar una configuración de puntos de igual resistividad. Las curvas de isorresistividad permiten mostrar un esquema general de la distribución de la corriente en el subsuelo, proporcionando información sobre zonas con variaciones, discontinuidad o anomalías resistivas, o en su caso zonas homogéneas o continuas que dan una idea de las condiciones estructurales que prevalecen en el terreno investigado. La figura No. 11 a muestra un esquema de isorresistividad en la que se observa que se trata de un terreno no homogéneo.

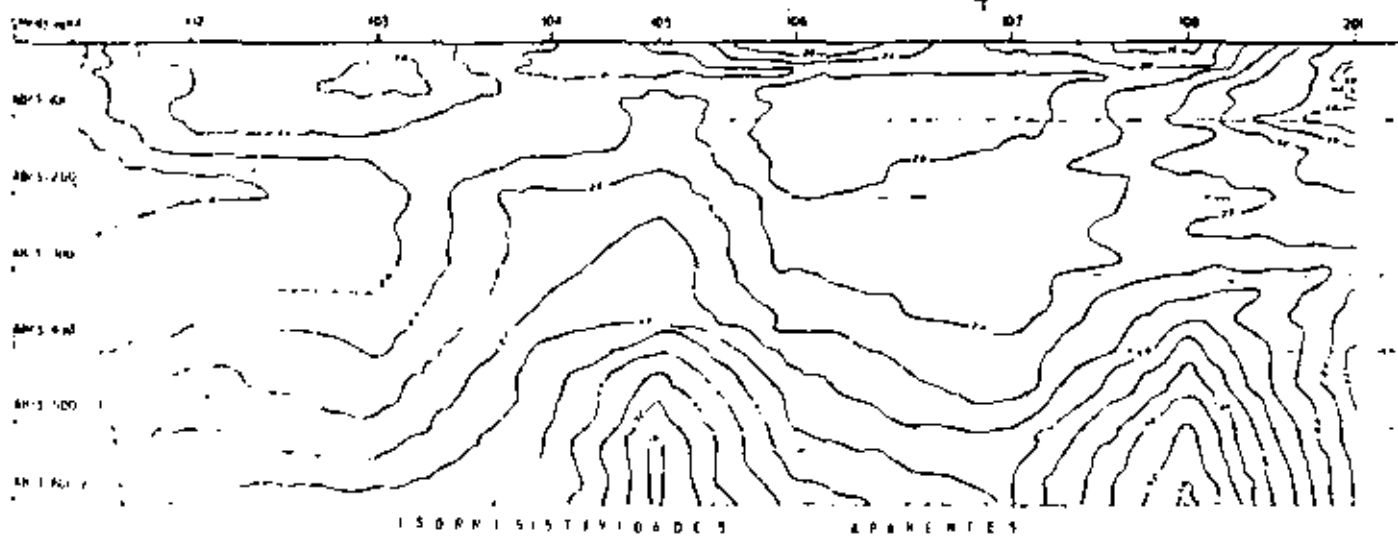
d).- Perfil de resistividad aparente-distancia de emisión constante.- Cuando se trata de definir la continuidad de un horizonte determinado en forma más detallada, se hacen lecturas a una distancia de emisión constante y los puntos de observación también a distancias constantes (Fig. 12).

Interpretación Cuantitativa

La interpretación cuantitativa tiene por objeto determinar las resistividades reales del terreno y la posición en el subsuelo de las zonas que muestren interés en el estudio geohidrológico, esto es zonas que presentan cambios de resistividad notables o presencia de anomalías; en zonas donde no existen diferencias notables en las resistividades, el método de resistividad pierde un poco de eficacia. El cálculo de las resistividades reales y la profundidad a la que se encuentran, se puede determinar analíticamente por ello representaría un trabajo muy laborioso, por lo que en la práctica lo más usual es utilizar tablas y curvas maestras previamente calculadas que facilitan la interpretación. El procesamiento en este caso incluye:

- a).- Elaboración de la curva resistividad aparente-distancia de emisión en --- coordenadas logarítmicas.
- b).- Clasificación de las curvas.
- c).- Ajuste de las curvas por medio de -- ábacos.
- d).- Elaboración de perfiles de resultados

a).- Elaboración de la curva resistividad aparente--- distancia de emisión en coordenada logarítmicas.- Esta curva se construye con los valores resistivos verificados, colocando -- las resistividades aparentes en las ordenadas y la distancia -



P E R F I L N° 2

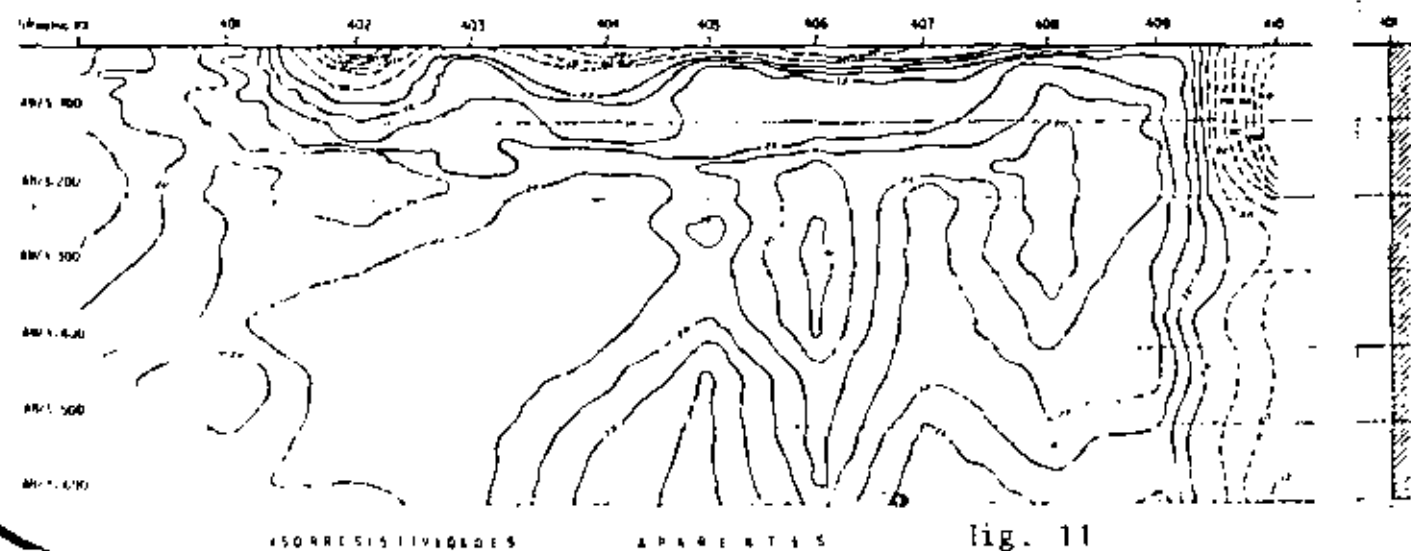
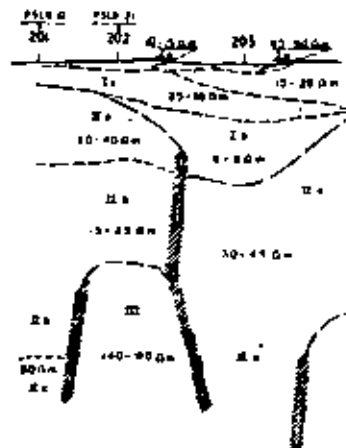
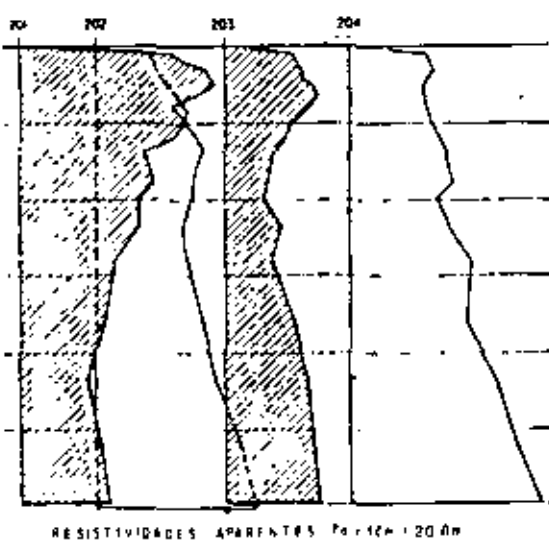
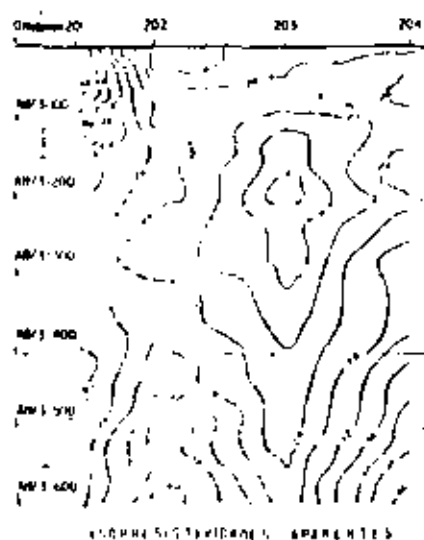
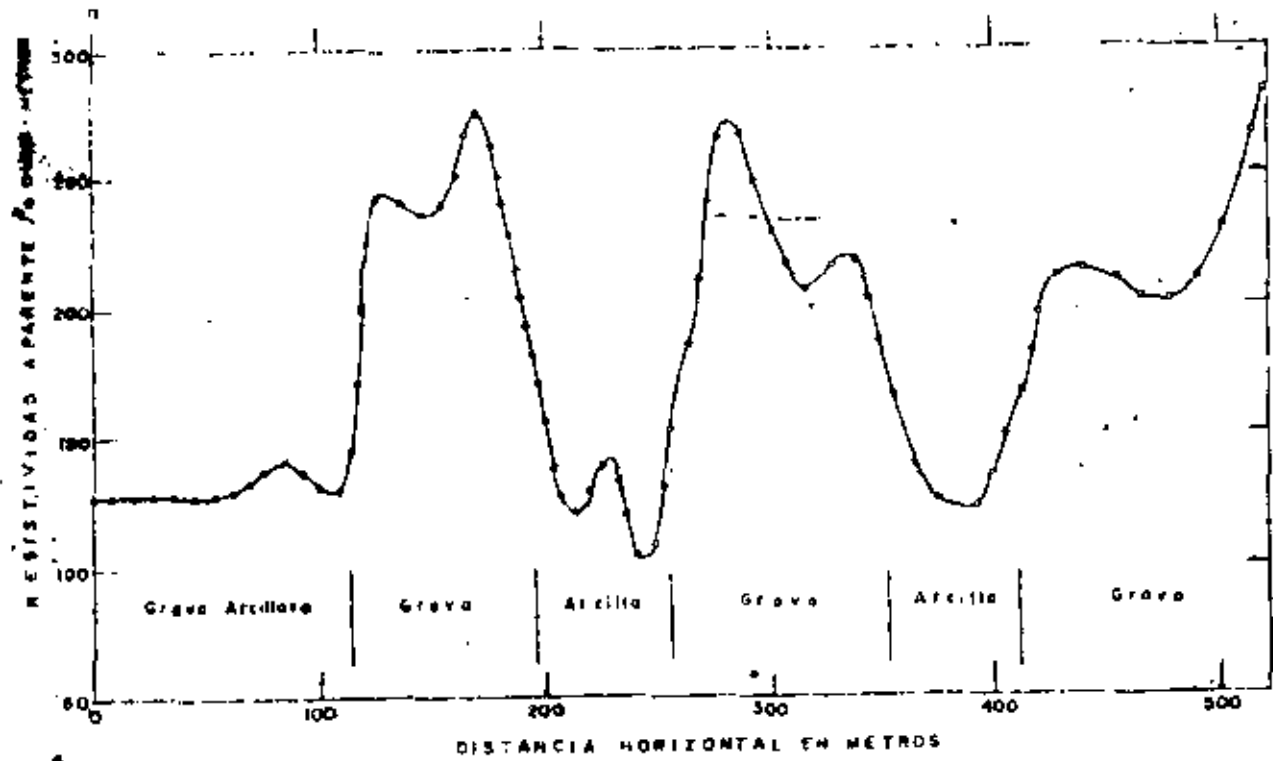


fig. 11



PERFIL HORIZONTAL E INTERPRETACION SOBRE UN DEPOSITO DE GRAVA USANDO ARREGLO WENNER $a = 9.15$ m

Fig. 12

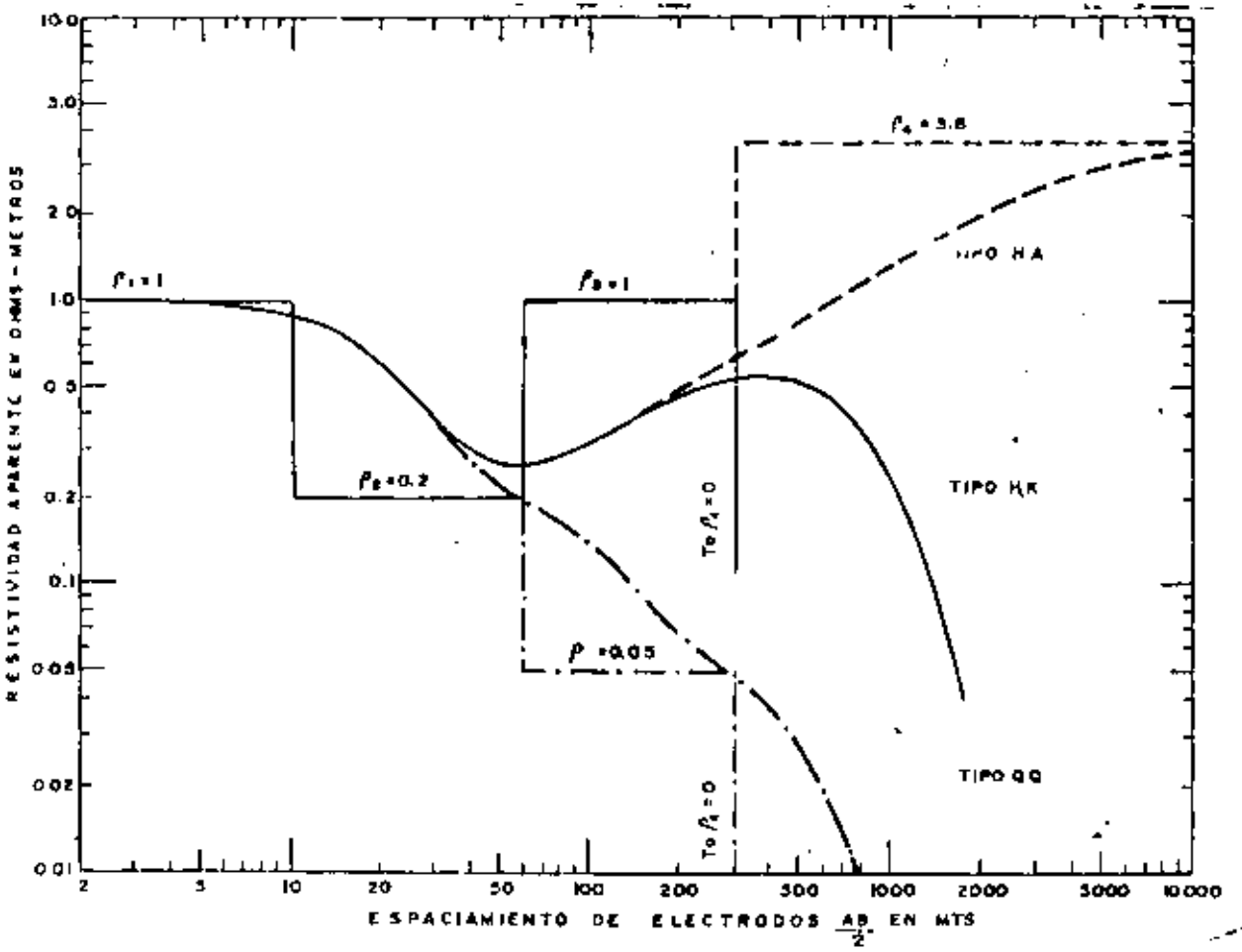
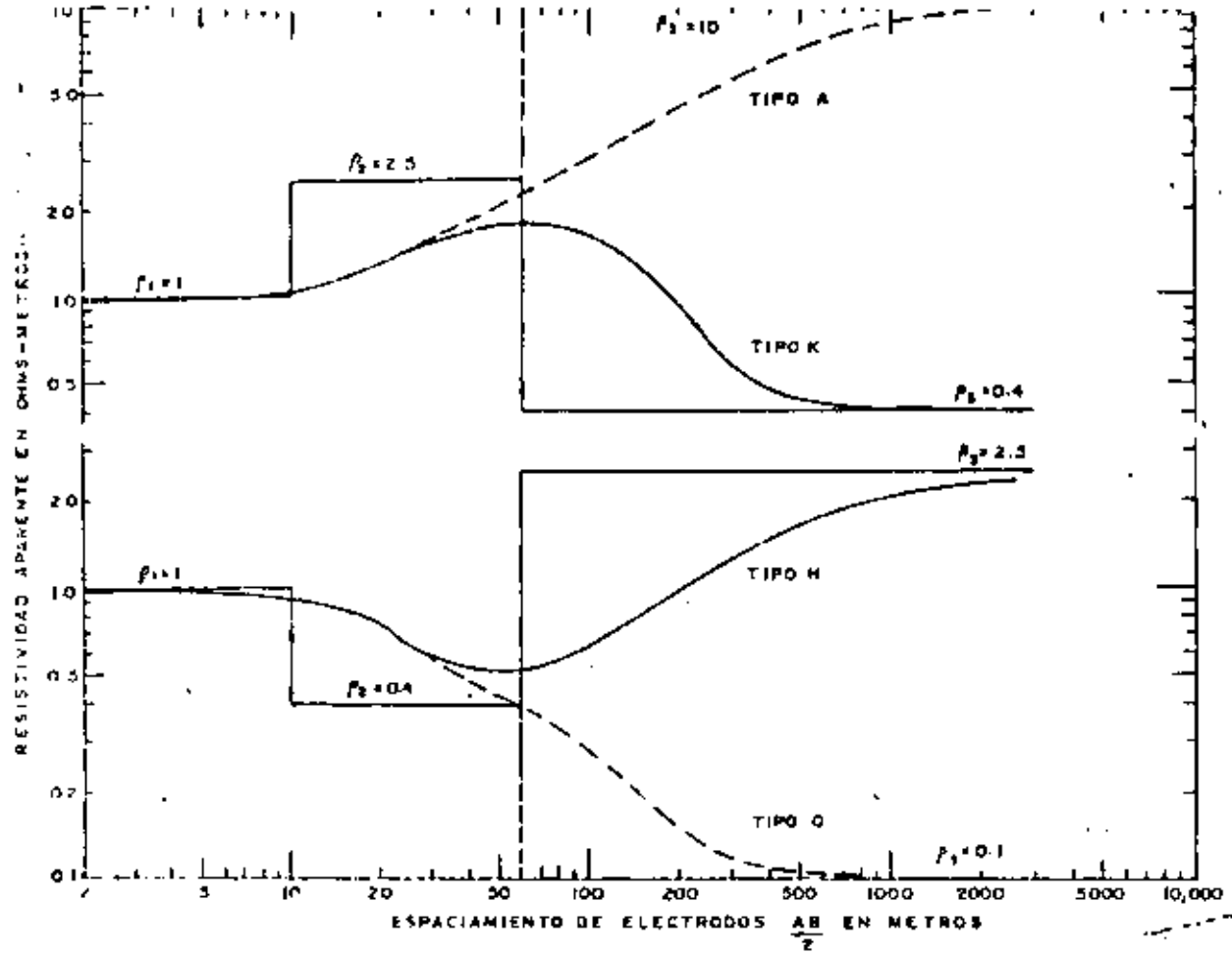


Fig. 13

de emisión AB/2 o AB/3, en las abscisas de un papel logarítmico cuyo formato, generalmente con módulos de 10 cm. debe ser igual al de las curvas maestras

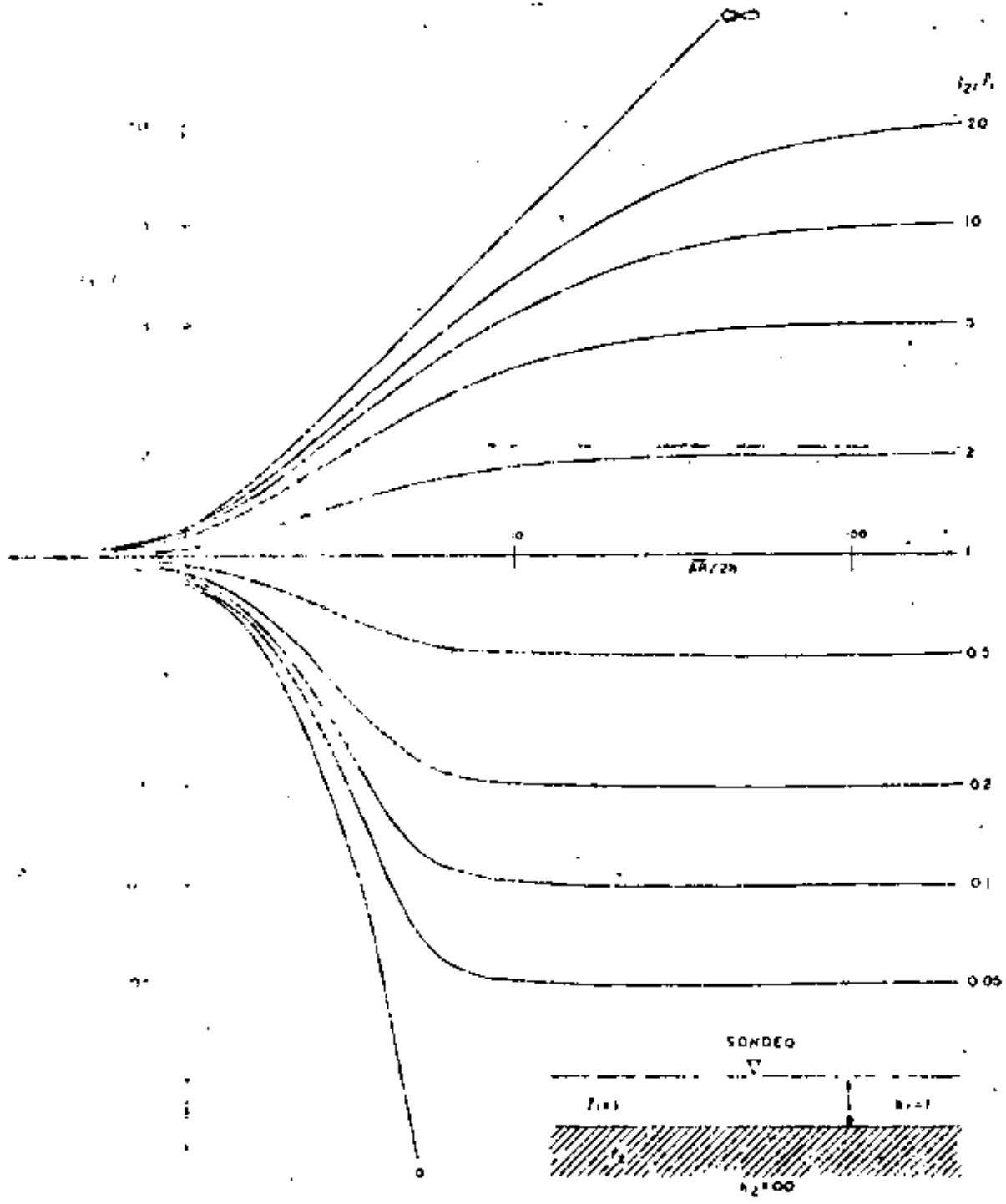
b).- Clasificación de las curvas.- Una vez trazadas todas las curvas de los sondeos, se hace la clasificación de ellas según su forma agrupándolas en familias de tal manera que faciliten su interpretación, identificándose con las curvas maestras.

Las curvas maestras son curvas que se han trazado con valores resistivos teóricos en condiciones ideales para cada tipo de estructura del terreno, aunque generalmente se refieren a medios horizontales estratificados. Existen catálogos de curvas según el tipo de dispositivos que se utilicen tanto para Wenner como para Schlumberger, o también se pueden construir para cualquier otro tipo de arreglo.

En la práctica las curvas se clasifican como H, A, K y Q. Según las relaciones que existan entre los diversos rangos de resistividades. Con esta clasificación se pueden hacer todas las combinaciones según la relación de resistividades. La figura No. 13 muestra una curva de cada tipo.

c).- Ajuste de las curvas por medio de ábacos.- Según el tipo de dispositivo utilizado, el ajuste de curvas por medio de ábacos se hace con el fin de obtener las resistividades reales y el cálculo de profundidad. Esto se hace por medio de superposición de la curva obtenida en el campo con la curva teórica del catálogo, utilizando el método del punto auxiliar o cualquier otro método. En las Figuras Nos. 14, 15 y 16 se muestra un conjunto de curvas de 2 capas para un arreglo eléctrico Schlumberger y los diagramas auxiliares tipo H, A, K, Q respectivamente.

d).- Elaboración de perfiles de resultados.- Una vez calculadas las resistividades reales y las profundidades a las que se encuentran, se construye el perfil de resultados, colocando bajo cada sondeo los contactos notables con sus resistividades reales correspondientes que han sido determinados durante el ajuste de curvas. Posteriormente se correlacionan estos valores según una sección determinada, uniendo los grupos de valores semejantes y determinando la continuidad de los horizontes. En caso de que los valores no sean correlacionables esto indicará que en el subsuelo existirá una discontinuidad que puede ser debida a cambios en la naturaleza del material, cambio en la estratigrafía o presencia de algún accidente de tipo tectónico. En todo caso el perfil de resultados presenta una imagen de la estructura del subsuelo basada únicamente en valores de resistividad. La figura No. 17 muestra un esquema de este tipo de información obtenida.



CONJUNTO DE CURVAS MAESTRAS PARA SONDEOS ELECTRICOS DE 2 CAPAS
 (Arreglo SCHLUMBERGER)

GRAFICO AUXILIAR (TIPO-A)

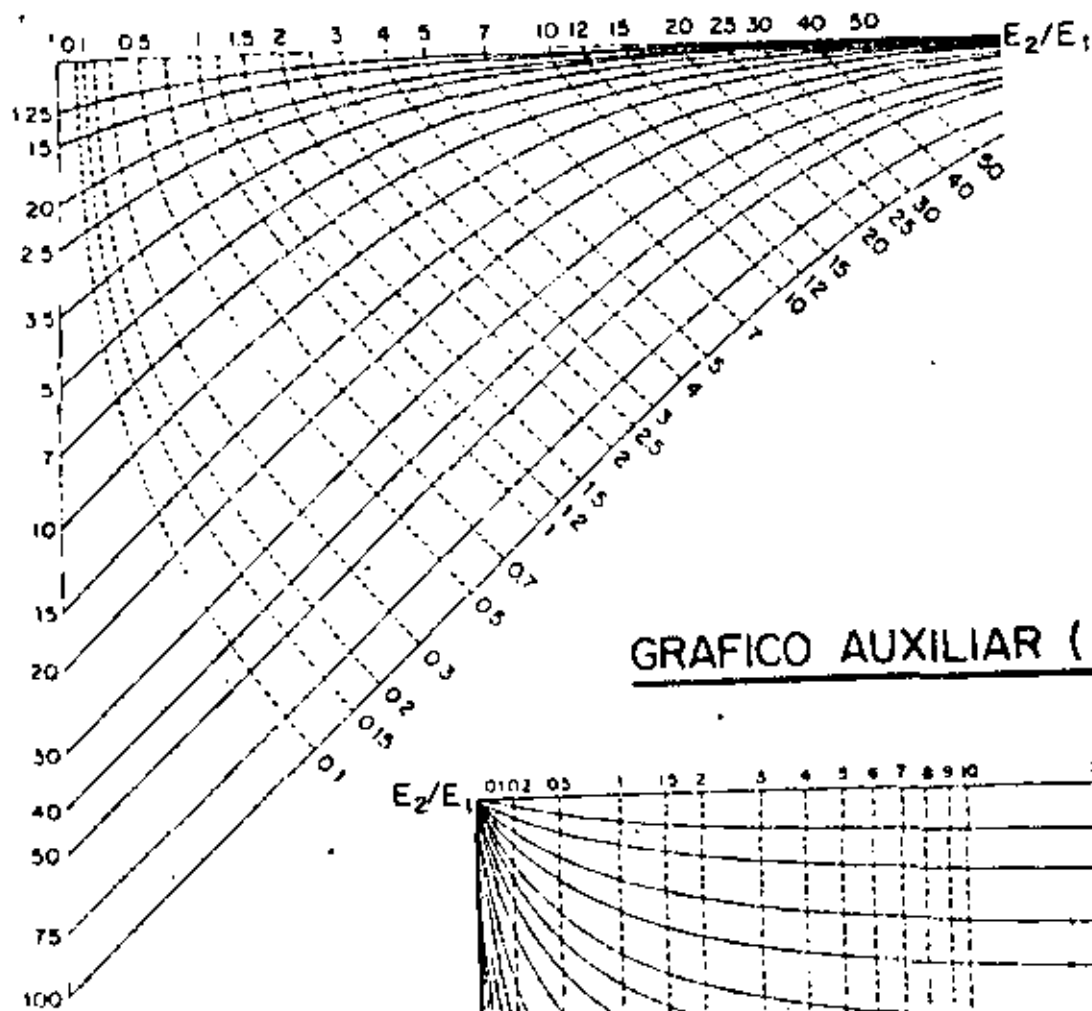


GRAFICO AUXILIAR (TIPO-H)

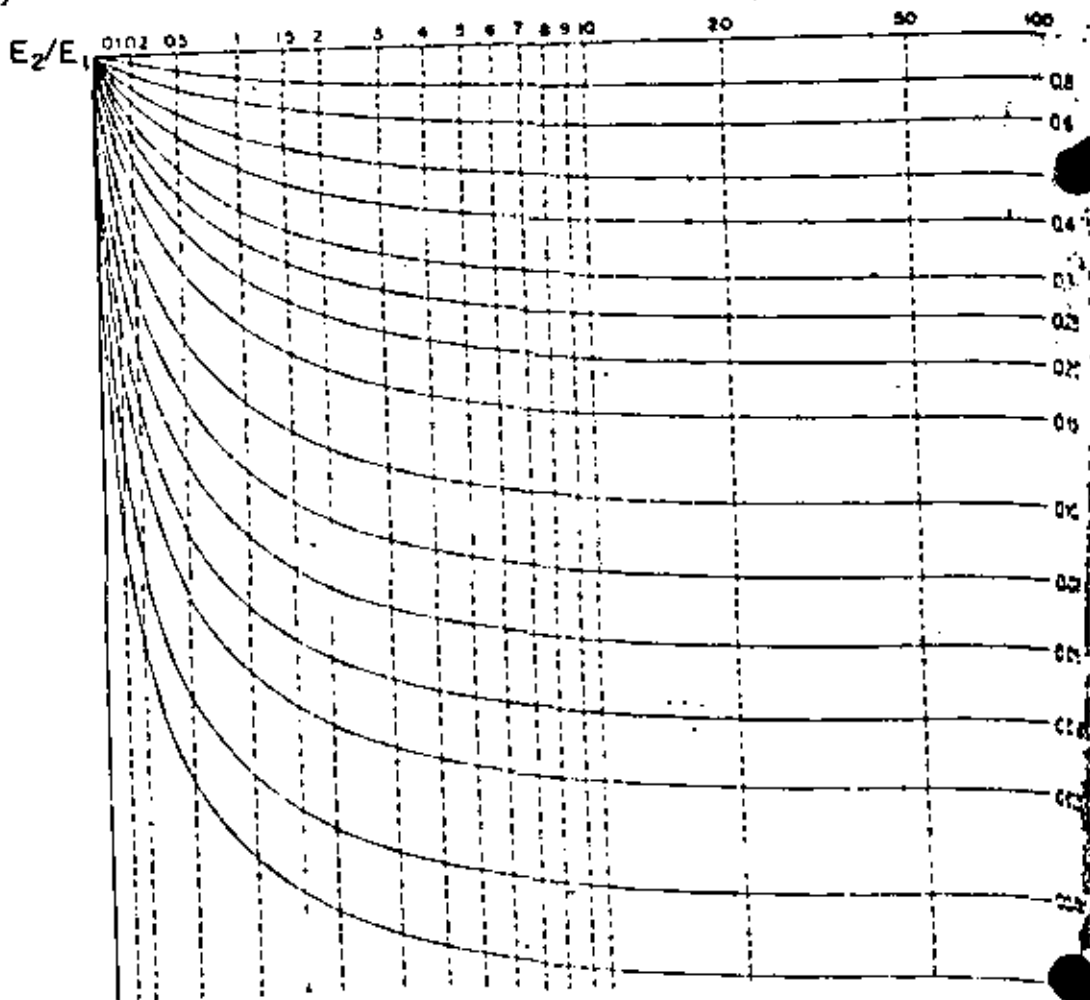


Fig. 15

GRAFICO AUXILIAR (TIPO-K)

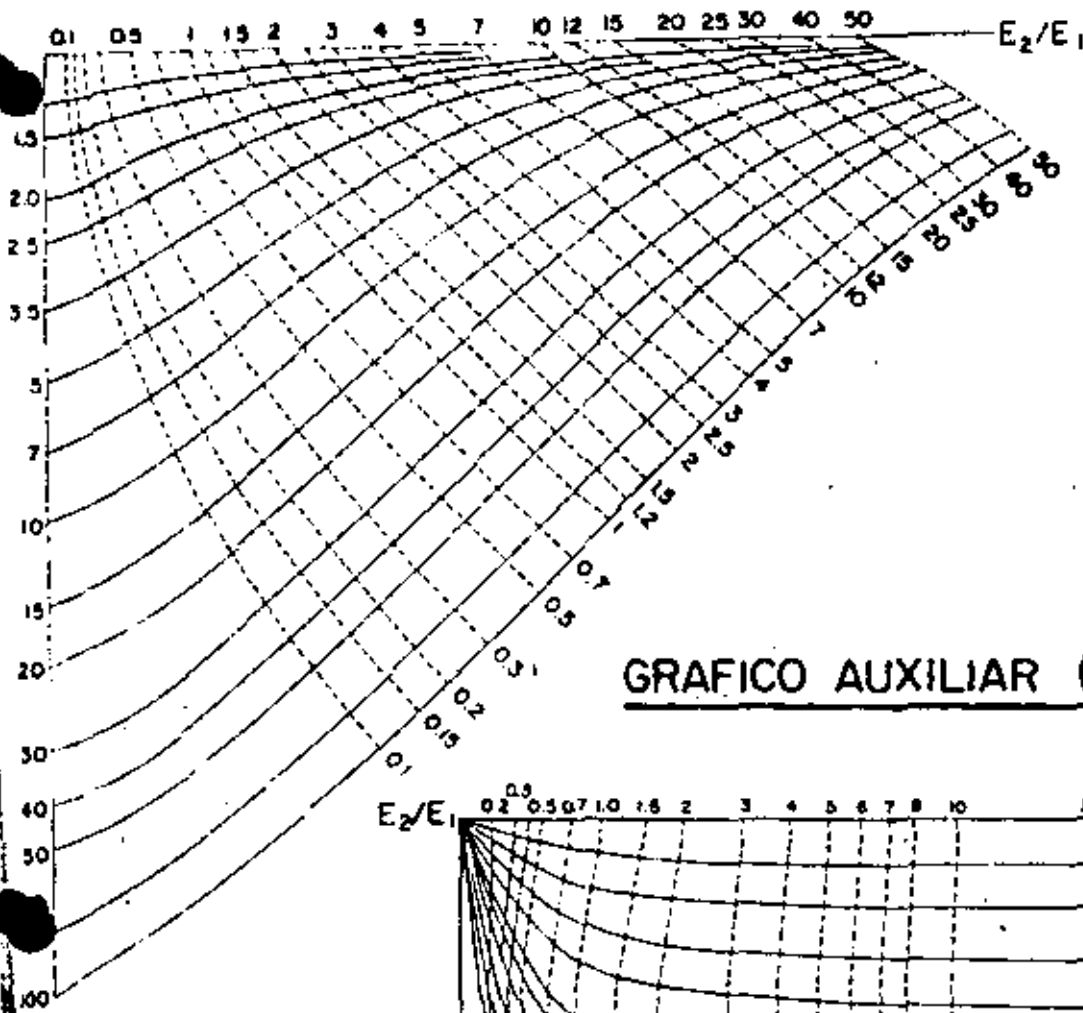


GRAFICO AUXILIAR (TIPO-Q)

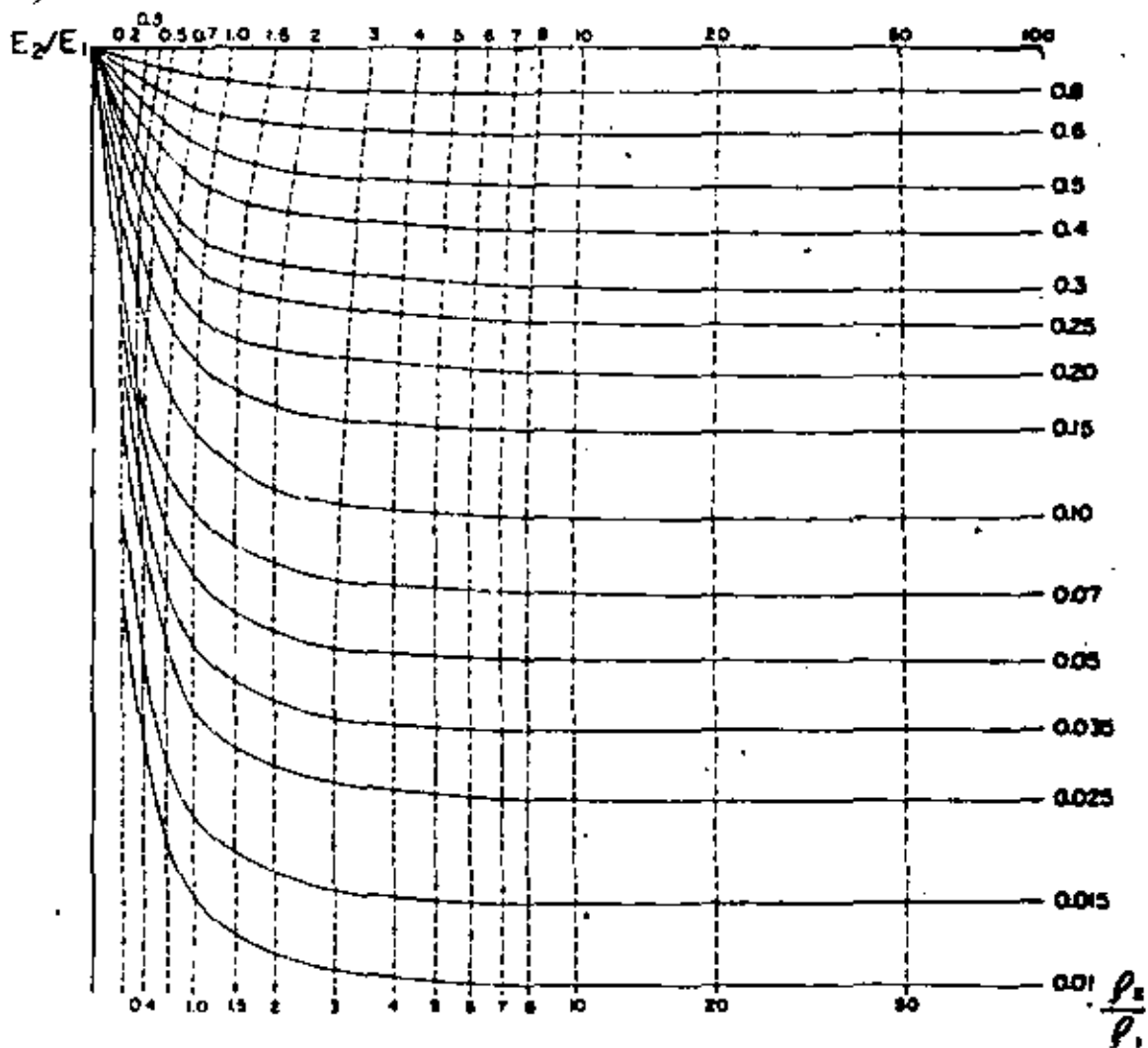
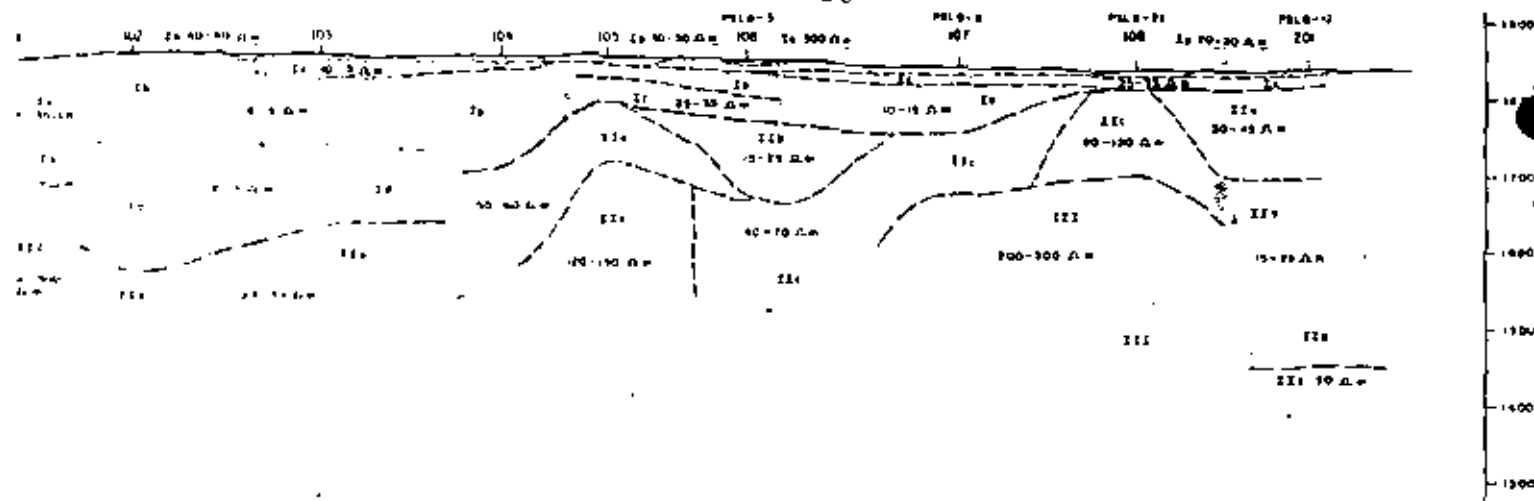
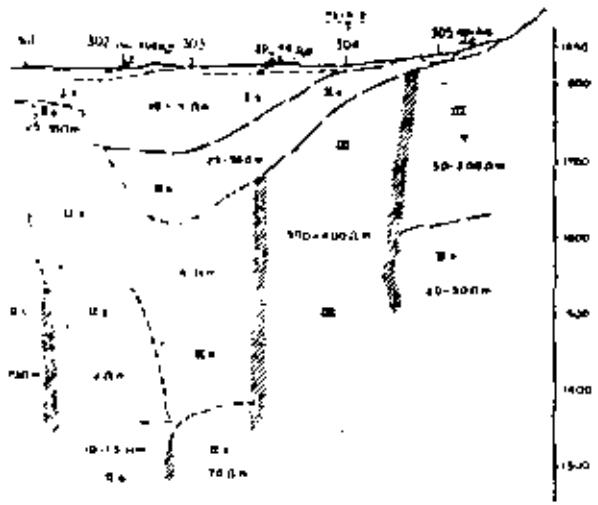


Fig. 16



1º 3



EXPLICACION

ZONA	UNIDAD	VALORES DE RESISTIVIDAD	CORRELACION PROBABLE
SUPERIOR	Ia	10-15, 20-30, 20-40, 30-50, 40-60, 60-80, 70-90, 80-100, 100-150, 150-200, 200-400, 400-700, 700-900 Δ	Concretos carbonatados de arena
	Ib	0-5, 10-15, 5-15, 10-25 Δ	Aluvión reciente de arena y arcillas
	Ic	10-15, 15-20 Δ	Aluvión intermedias gruesas y mas compactas
	Id	1-5, 4 Δ	Aluvión a arena carbonatadas con pedregales de arena
INTERMEDIA	IIa	25-35, 30-45, 30-50, 50-75 Δ	Fallas compactas, arenosas con fragmentos carbonatados
	IIb	2-5, 40-15, 15-25, 20-50 Δ	Fallas de arena con interdigitaciones de arena
	IIc	40-70, 50-100, 120-150 Δ	Aluviones de arena y calizas
INFERIOR	III	40-100, 150-200, 200-300, 300-400 Δ	arena carbonatada volcánica y fragmentaria

ESCALA HORIZONTAL 1:100,000
 ESCALA VERTICAL 1:10,000

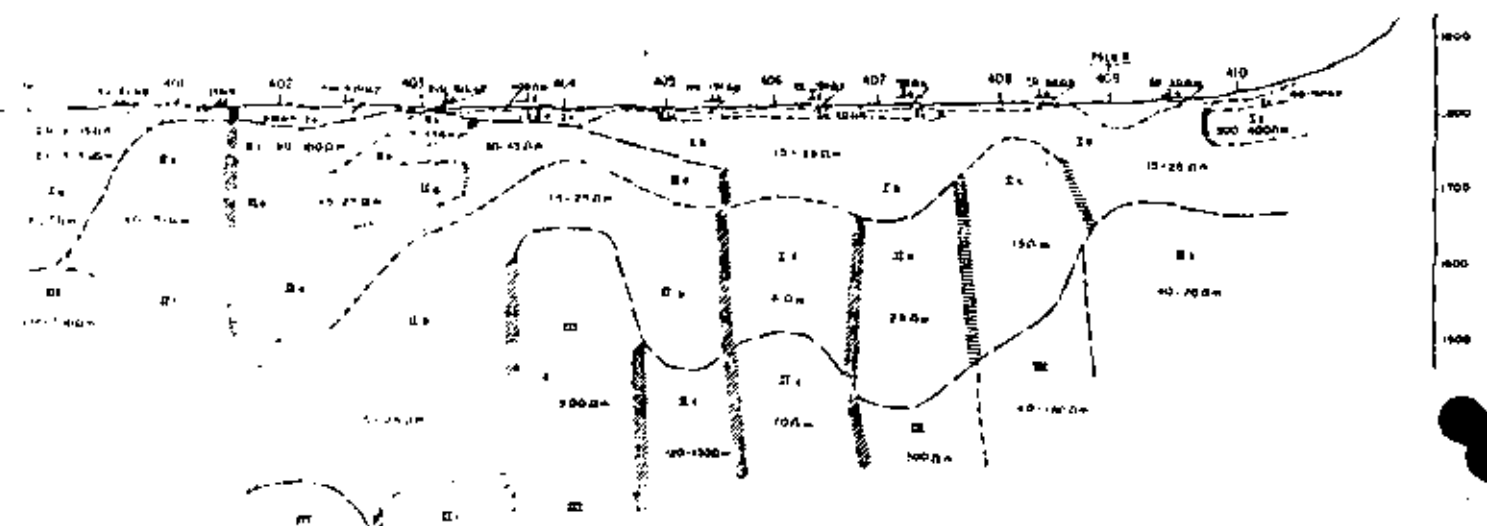


Fig. 17

POZOS DE AGUA.

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/o rutinario de los procedimientos de cálculo.

Las características ó propiedades físicas de las rocas, con 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 radioactivas 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 adame 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.

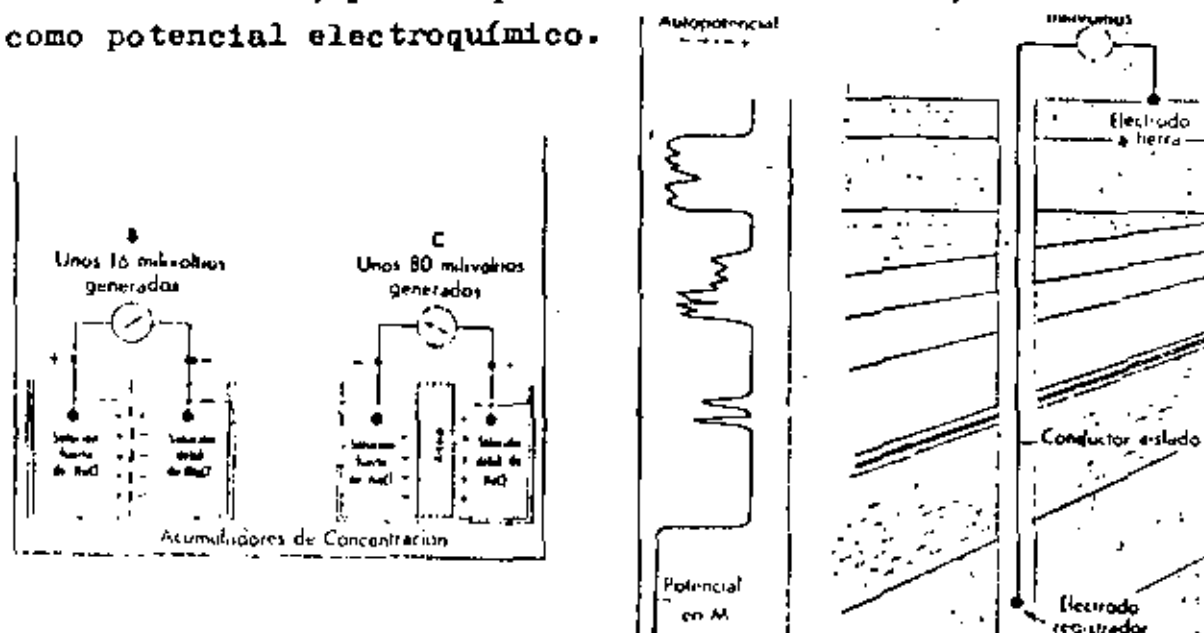
El potencial espontáneo es obtenido simultáneamente a otros registros. Las variaciones de la curva reflejan las diferencias de potencial entre puntos dentro del agujero frente a rocas porosas y puntos frente a cuerpos arcillosos. Cuando las rocas atravesadas están constituidas por capas de arcilla ó 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-

centración, 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 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 NaCl es igual a 71 á 25°C .

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

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

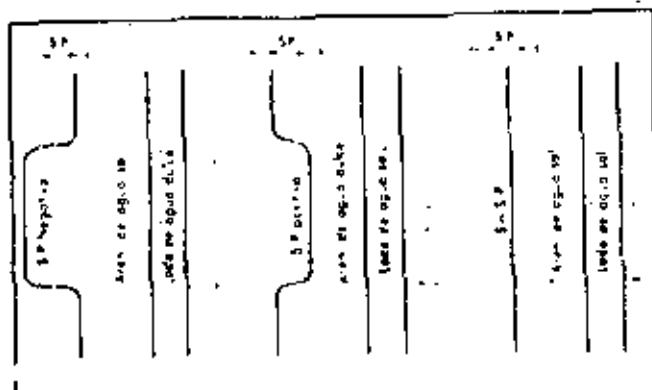
en donde:

- 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.

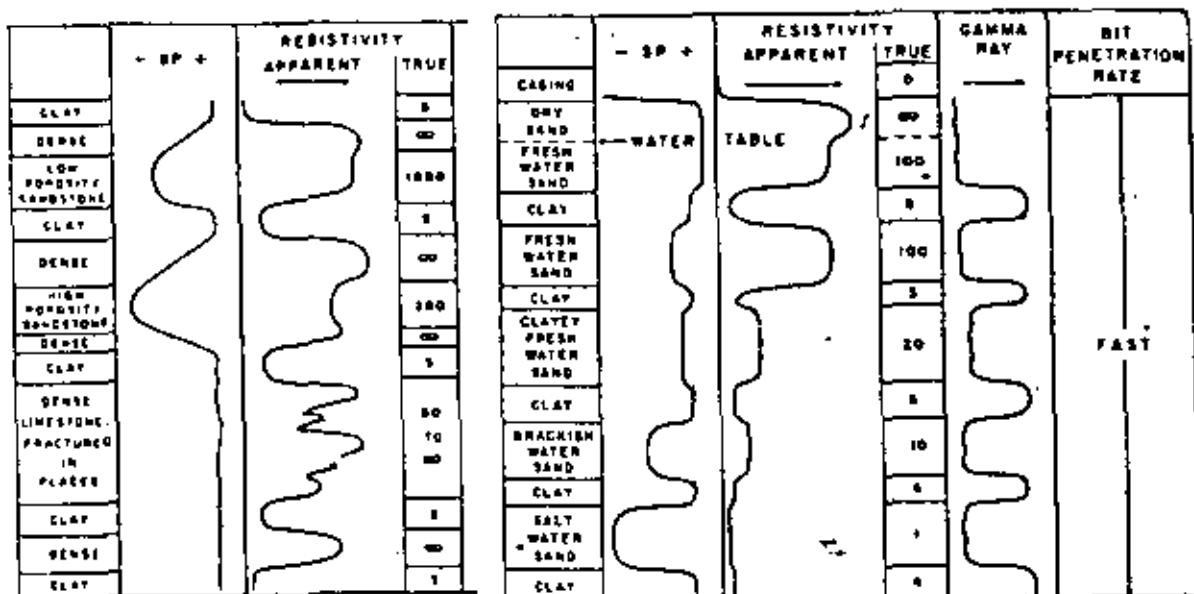
Tomando como referencia, la línea base de lutitas, el potencial espontáneo que es medido en milivolts, puede ser negativo si la deflexión es a la izquierda, positivo si la deflexión es a la derecha de la misma referencia ó bien nó dar ningún valor relativo.

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, empaquetados 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.

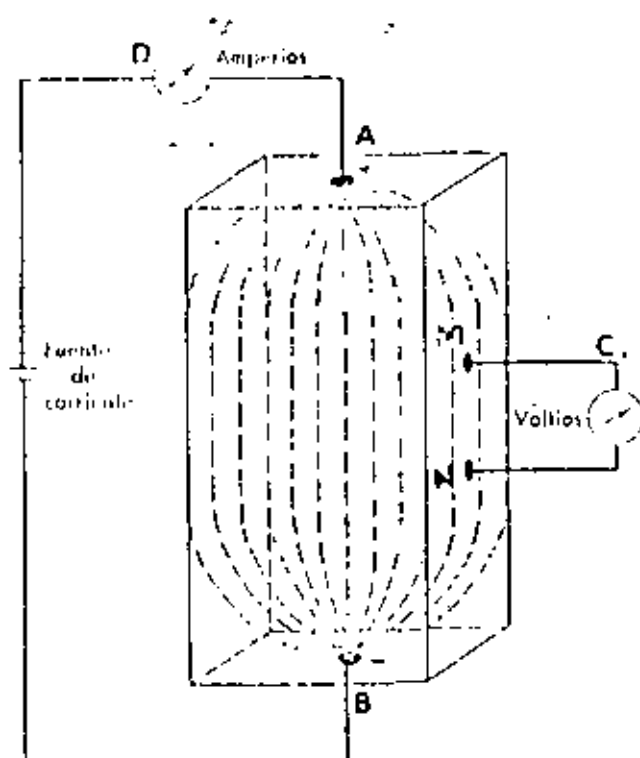
2.- En los intervalos en donde la amplitud del SP frente a los acuíferos potentes, permanece constante con respecto a la profundidad, todas las aguas de formación tienen aproximadamente la misma salinidad.

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.

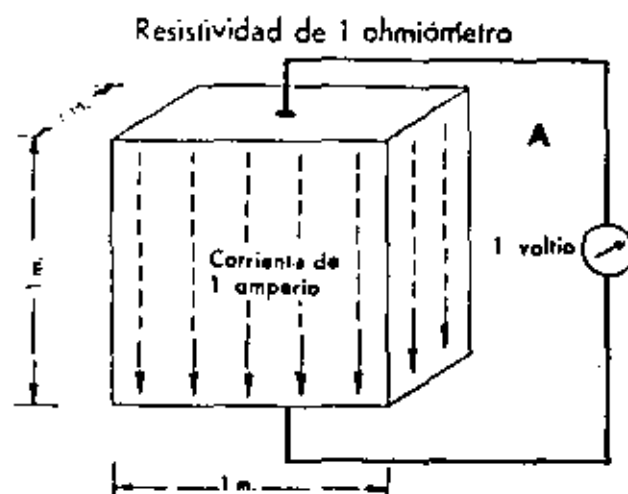
A = Area del conductor.

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.

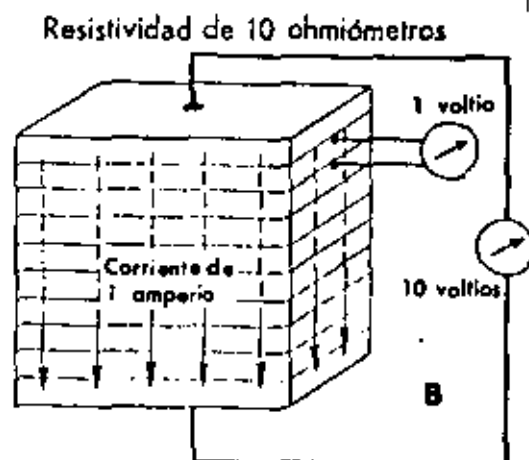
Para ilustrar el concepto, en la siguiente figura se tiene un cubo de un metro por lado de un determinado material,



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.

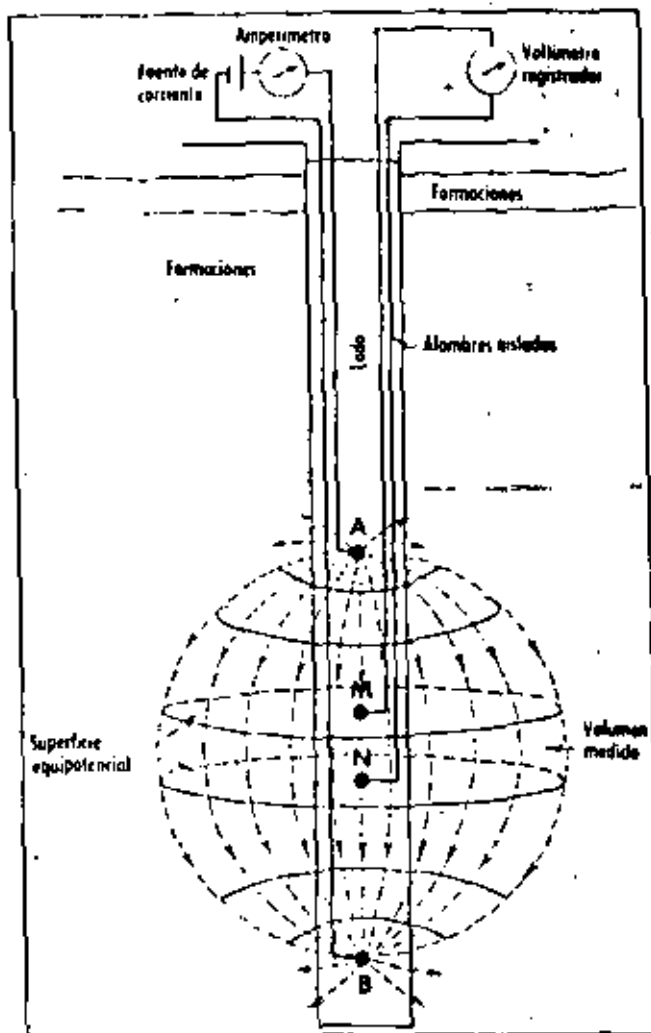
Si se tuviese el mismo volumen de roca y la misma corriente, pero una diferencia de potencial de 10 volts, la resistencia en tal caso será: $\frac{10 \text{ volts}}{1 \text{ ampere}} = 10 \text{ ohms}$ y la resistividad igual a: $10 \text{ ohms} \times \text{m}^2/\text{m}$, que puede expresarse más comúnmente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

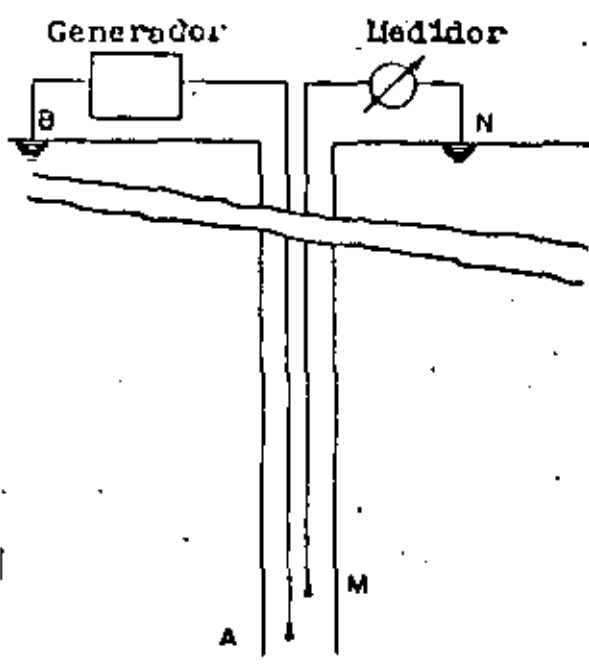


Los dispositivos usados para medir la resistividad, comúnmente llamados sondas, consisten fundamentalmente de un cable conductor múltiple que en el extremo que se introduce al pozo quedan dentro de un cilindro metálico, con orificios a ciertas distancias, en los cuales se localizan los electrodos. Con 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

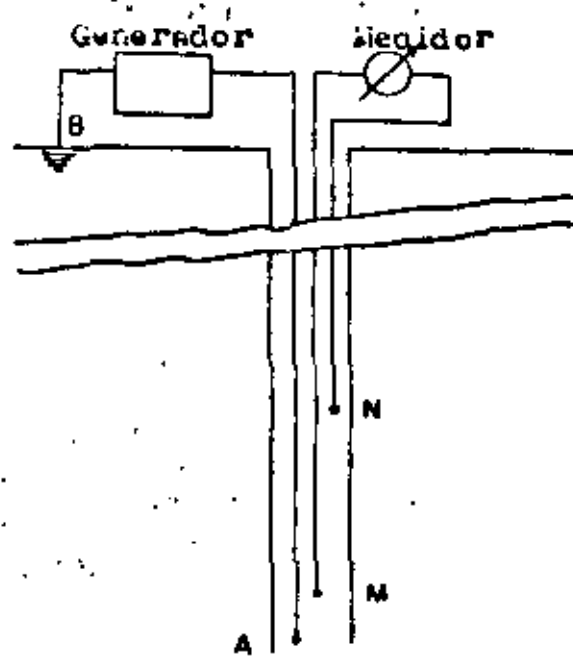
ciento de la caída total, se tiene que para algunos arreglos la penetración de investigación es el doble del espaciamento.

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 existe 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 sujeta 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 fué 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 espaciamento y al referirse a él se hará como AO.

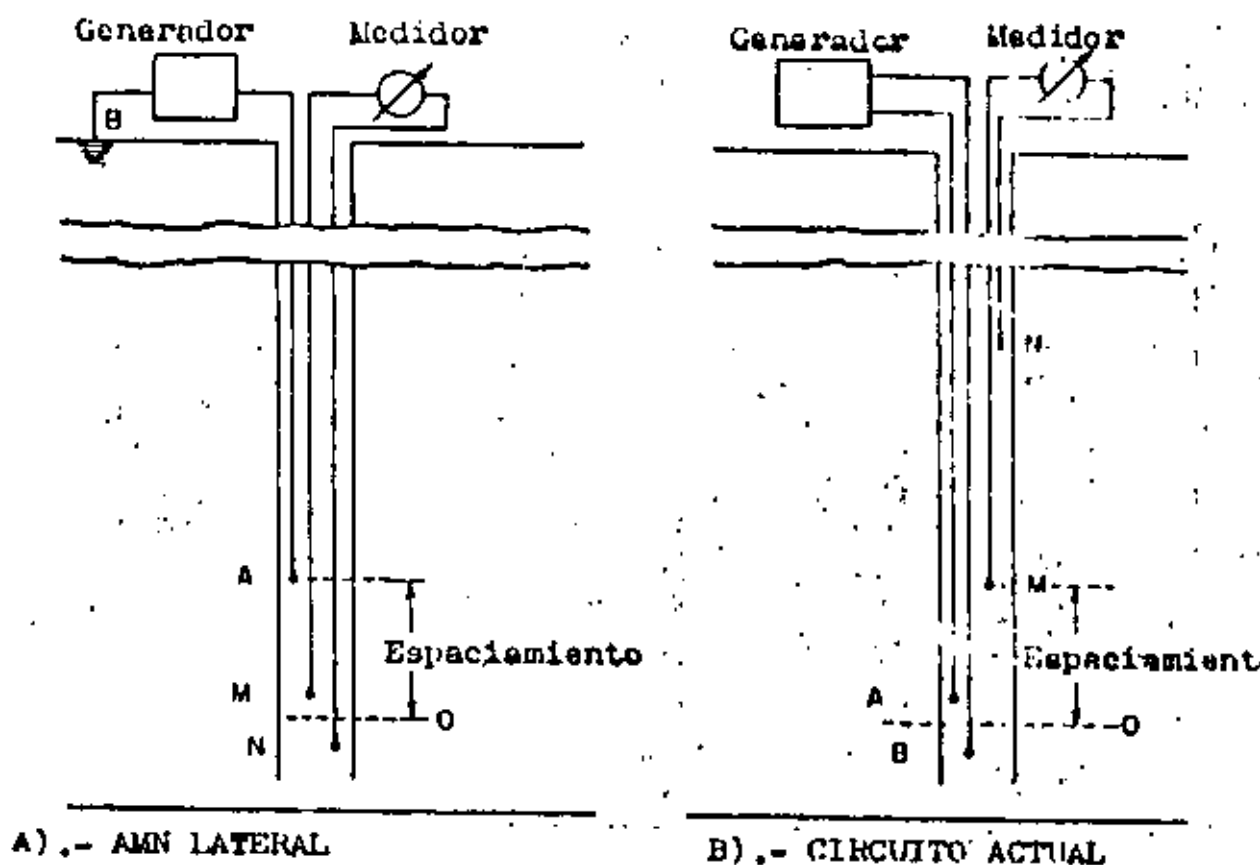


Figura 7

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 co necesario aplicarle 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 ventajosa.

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 volúmen 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 barrena 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.

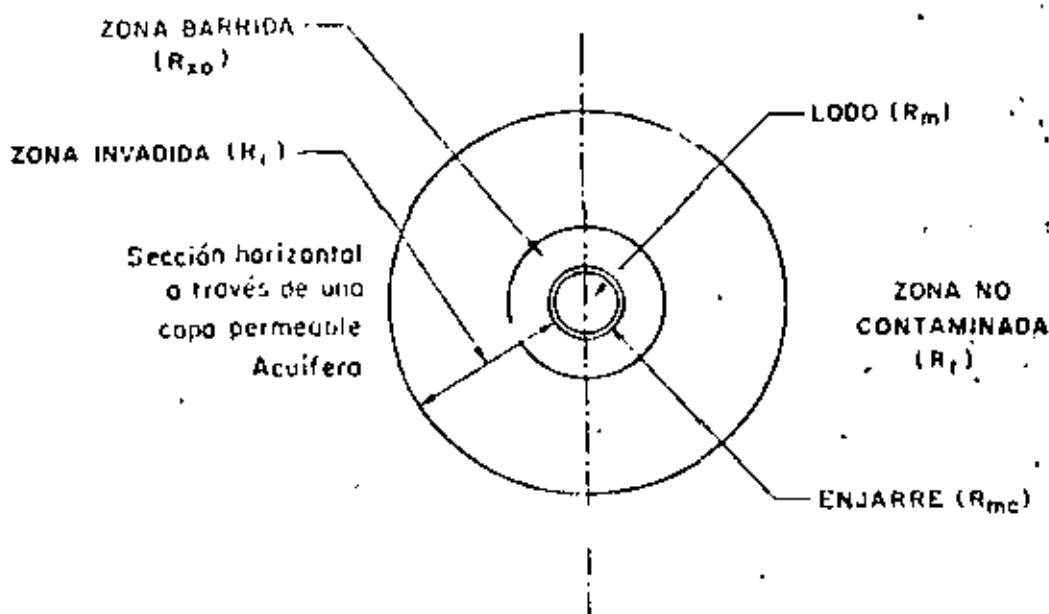
En los intervalos permeables atravesados, la presión del lodo hace que se forme una película con las partículas en suspensión y penetre en la roca agua constituyente del lodo, que recibe el nombre de filtrado del lodo. El agua ó filtrado del lodo que penetra en la formación permeable, puede ser de distinta 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.

Dévido a éste 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 reciben 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:

ϕ = 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°C .

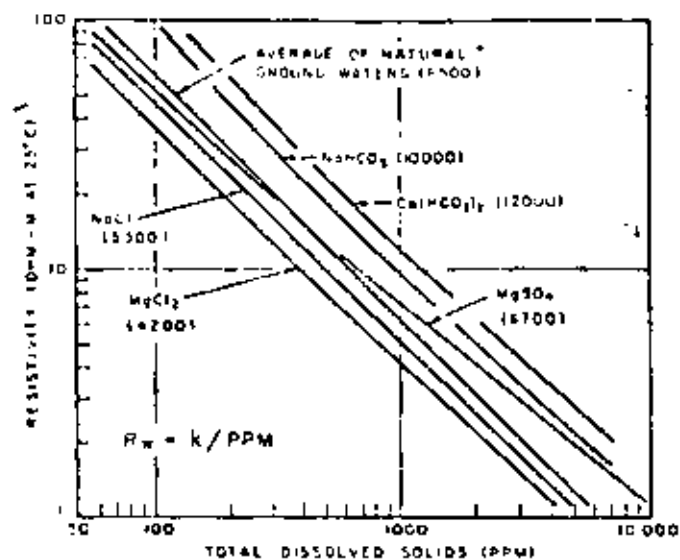


Fig. 1 - Solution resistivity vs. total dissolved solids at 25°C. Figures in parentheses are k values. (After Agriculture Handbook 60, USDA).

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.

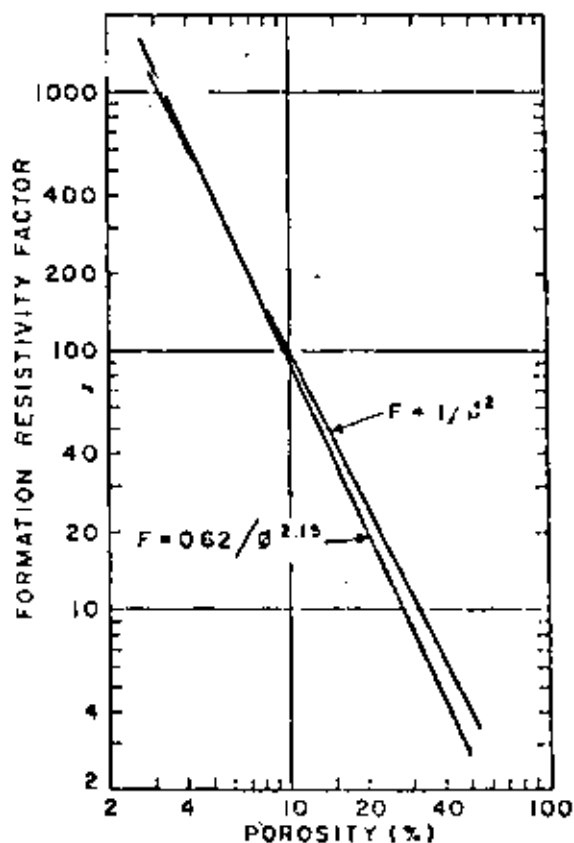


Fig. 2 - Approximate formation resistivity factor vs. porosity for granular aquifers.

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 por ciento del volumen total, utilizando unos cuantos valles 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.

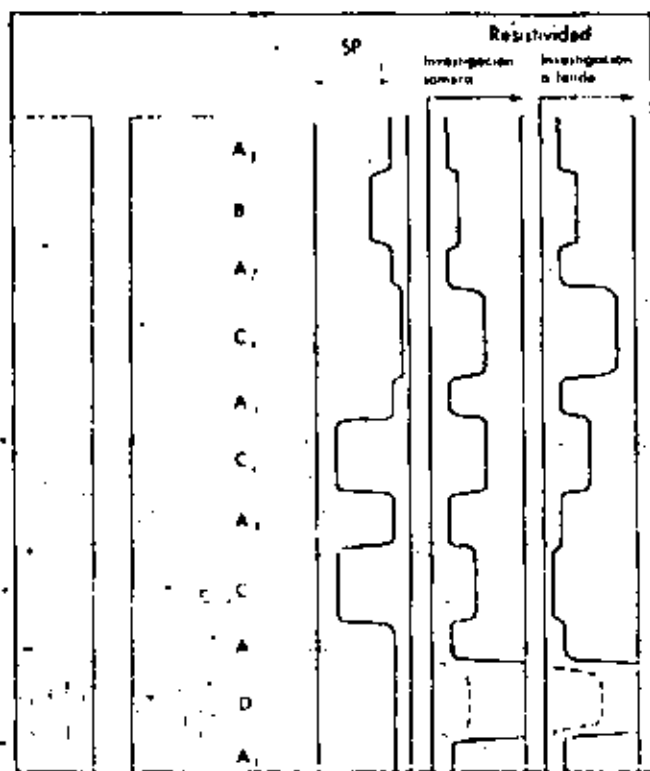
La porción superior derecha de la figura 3 corresponde a los acuíferos de agua dulce, comúnmente sus resistividades son del orden de 50 a 1000 ohm-m. Los acuíferos de agua salobre y salada, de buena porosidad, tienen resistividades que son menores que los 50 ohm-m.

Los acuíferos no granulares, tienen una porosidad tan variable e irregularmente distribuida, que podría ser ilusorio buscar una expresión ó establecer una gráfica que relacionase 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.

la formación D es de una caliza dura por:

- a).- SP no tiene desplazamiento, indicando impermeabilidad 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, radiactivo, etc.



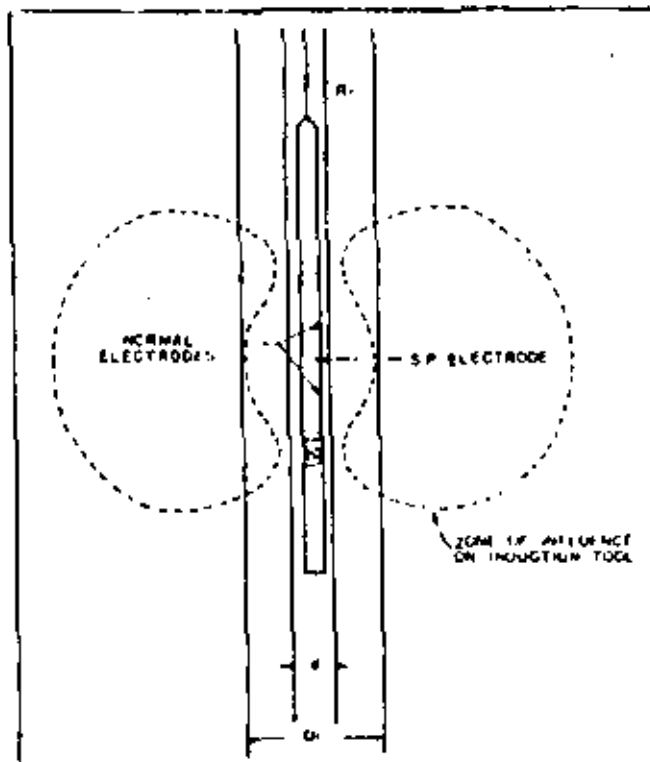
PRESENTACION ESQUEMATICA de las curvas típicas de las necesarias para establecer las reglas básicas de interpretación e S

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.

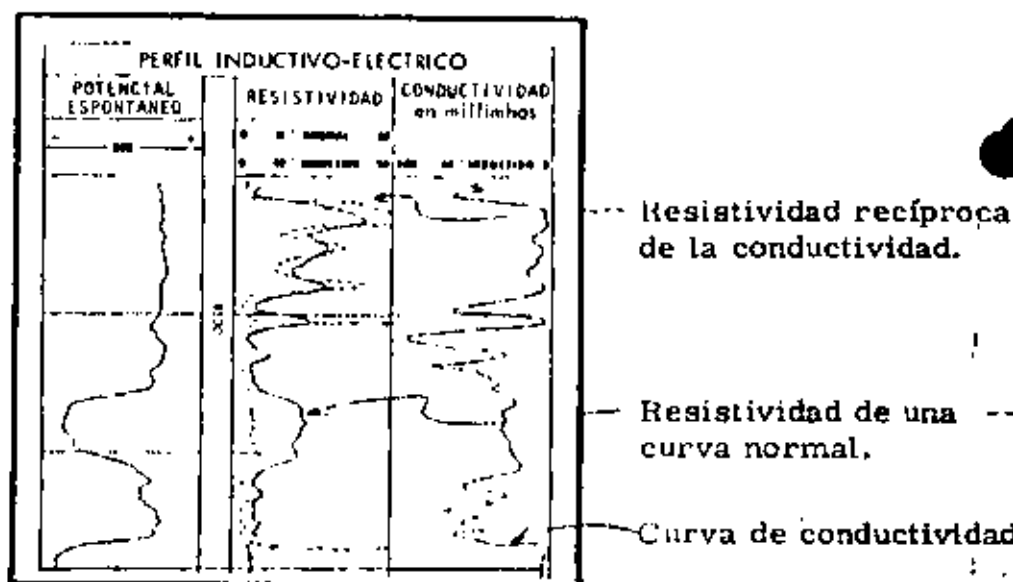
El registro de inducción mide la conductividad de las formaciones, mediante corrientes alternas inducidas. La resistividad en las rocas es determinada con el cálculo de la recíproca de la conductividad que se mide con el registro de inducción, apareciendo en la gráfica tanto los valores de resistividad 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, generándose 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 adomados, lo cual lo hace útil en operaciones de recon-dicionamiento.

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 poten-cial espontáneo cuando éste no es satisfactorio.

Los rayos gamma son erupciones de ondas electromagnéticas de alta energía que son emitidas espontáneamente por algunos elemen-tos 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.

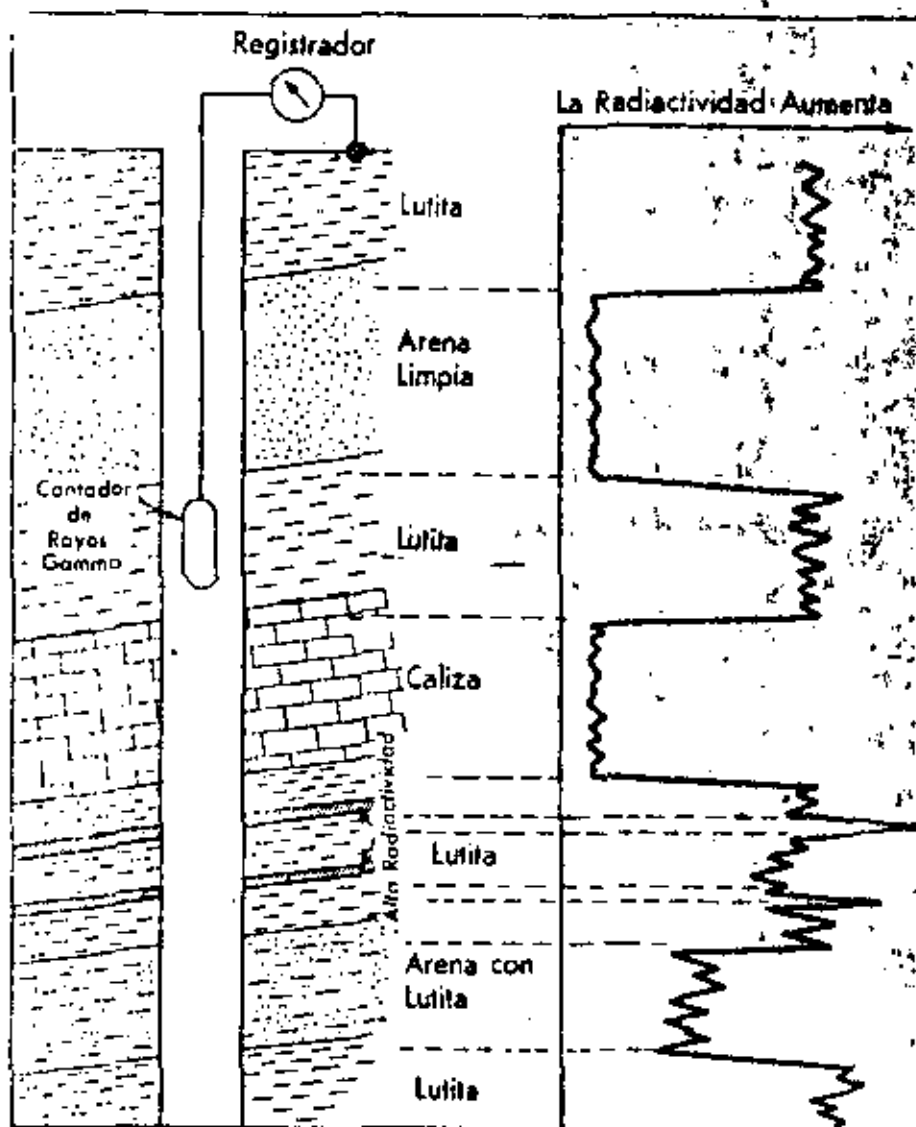
La energía de los rayos gamma emitida por las rocas sedimenta-rias, es variable, pero en promedio es de 1 Mev, aunque la emiti-da por el potasio tiene una energía de 1.5 Mev.

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.

Medición de los rayos gamma.— Los rayos gamma no pueden ser deteg-tados 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 pue-de ser detectado.

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

Una tonelada métrica de una lutita promedio, contiene aproxi-madamente 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 con-tribución respectiva del potasio, uranio y torio, es de importan-cia 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 términos del peso 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. Luzin.
¿ Qué es Perfilaje de Pozos?
Artículos publicados de junio a diciembre de 1962. Petróleo Interamericano.
- M.G. Hamilton and J.I. Kyung.
Summary of Geophysical Well Logging. Birdwell Division.
- Schlumberger Limited
Fundamentos de la interpretación de perfiles. julio de 1970.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PROSPECCION GEOHIDROLOGICA

ING. JORGE ANTONIO TRUJILLO C.

JUNIO, 1979.

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.

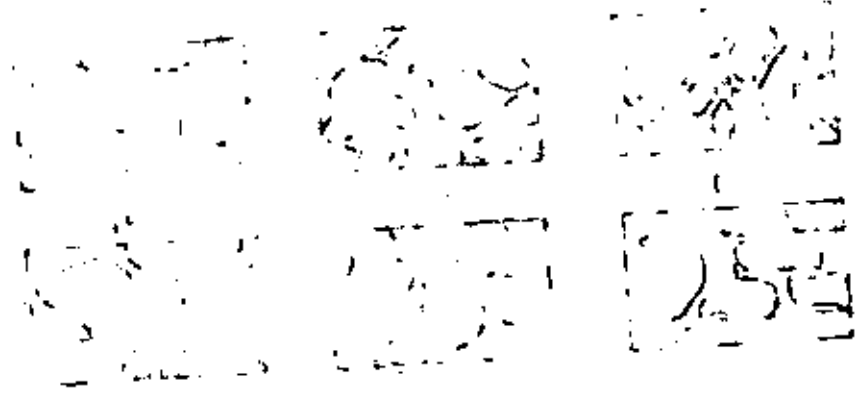
Para el caso que nos ocupa, la permeabilidad de las rocas es la propiedad de dejarse atravesar por el agua.

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

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY
540 EAST 57TH STREET
CHICAGO, ILL. 60637
TEL: 773-936-3000
WWW.CHICAGO.EDU



TECNICAS DE PERFORACION

PERFORABILIDAD DE LAS ROCAS

La perforabilidad de las rocas es un término demasiado vago o ambiguo y no existen unidades para medirla en términos absolutos, y tal vez pudiera afirmarse que tampoco puede definirse con exactitud en términos relativos.

La perforabilidad de las rocas como va a tratarse en el curso de esta plática, se define como la inversa de la resistencia de una roca a ser perforada, estando esta resistencia relacionada no solamente con la composición de las rocas, a sus características y propiedades físicas sino muy especialmente a las condiciones en que las rocas se encuentran en el fondo de una perforación, condiciones que prácticamente es imposible duplicar en el laboratorio.

La mayor o menor perforabilidad de las rocas se percibe en los trabajos reales de perforación, en forma relativa y con un gran número de condiciones dadas, por el "avance" de la barrena en determinado tiempo, o lo que es lo mismo, por la "velocidad de penetración", o por el "rendimiento".

Se sabe que este "avance", "penetración" o "rendimiento" está influenciado por más de 40 variables, algunas de las cuales pueden ser relacio

nadas en el laboratorio donde las condiciones pueden controlarse, pero la mayoría tiene que relacionarse en el campo, en los trabajos reales de perforación, los cuales están a su vez afectados por circunstancias muy ajenas a la investigación de los diversos parámetros que intervienen en la perforación. Por lo anterior puede decirse que los mayores conocimientos y experiencia provienen de la perforación para la industria petrolera, en la cual no existe, o existe en menor grado la severa presión económica a que está sujeta nuestra industria de perforación somera, principalmente para pozos de agua y minería que no permite llevar a cabo trabajos de investigación. De esta forma observamos que los mayores avances en la tecnología de nuestra perforación somera, ya sea en herramientas, barrenas, equipos, fluidos de perforación, etc., son transferencias y adaptaciones de la tecnología petrolera con una gran diferencia de tiempo en nuestra contra, y es a nosotros los técnicos de la perforación a quienes corresponde hacer llegar al perforador-práctico en el campo, lo antes posible, los conocimientos o enseñanzas que le ayuden a desempeñar mejor su cometido.

Entre el gran número de variables que intervienen en la perforación, indudablemente se encuentran las que se refieren a las características y propiedades físicas de las rocas por lo que nos referiremos brevemente a las principales y a su intervención e influencia en la perforabilidad con herramientas del tipo rotatorio y cortadores rodantes en el fondo de la perforación.

Las propiedades de las rocas a que haremos referencia son las siguientes:

1. - Dureza.
2. - Estructura mecánica y tipo de fractura.
3. - Plasticidad.
4. - Resistencia a la compresión y al aplastamiento.
5. - Resistencia a la tensión.
6. - Resistencia al esfuerzo cortante.
7. - Porosidad.

1. - Dureza. - La escala más usada para describir esta propiedad de las rocas es la propuesta por Mohs. En esta escala numerada del 1 al 10 la roca más dura en la escala ascendente raspará a las rocas más suaves - aún a la inmediata en la escala descendente. Se transcribe esta escala - como una mera referencia útil:

1. - Talco.
2. - Yeso.
3. - Calcita.
4. - Fluorita.
5. - Apatita.
6. - Feldespato ortoclasa.
7. - Cuarzo.
8. - Topacio.
9. - Corindón (zafiro)
10. - Diamante.

El acero usado en barrenas de dientes corresponde a una dureza entre 6 y 7 y el carburo de tungsteno, muy usado en barrenas modernas corresponde a una dureza variable entre 8 y 9.

El efecto de la dureza de una roca en la velocidad de perforación está -- grandemente afectado por otras propiedades, de tal manera que no se ha obtenido una correlación directa de esta propiedad por si misma con la perforabilidad. Por otra parte, las rocas muy raramente están compuestas de un solo mineral, y este hecho en si mismo haría tal correlación -- muy difícil aún sin contar con otros factores involucrados.

En general, la dureza de la roca que se perfora determina la acción abrasiva a que está expuesta la barrena, tanto sus cortadores o conos, como a la propia estructura rodante cualquiera que esta sea y por consiguiente afectará la vida útil de la herramienta.

2. - Estructura mecánica y tipo de fractura. - Las rocas, al igual que -- otros materiales, pueden ser descritos como quebradizos, o tenaces, o fibrosos, o de acuerdo a variaciones de grado de estas propiedades combinadas. Como un ejemplo tenemos vidrios volcánicos masivos, (obsidiana) extremadamente duros, los cuales cuando son quebradizos se perforan a razón de varios metros por hora. Lo mismo puede decirse de algunas rocas que exhiben fractura concoidal, lo cual facilita la perforación a condición de que se aplique suficiente peso o impacto por medio de la barrena de perforación. Sin embargo, cuando minerales de este tipo como la sílice se encuentran diseminados en partículas pequeñas, venillas o nódulos en una matriz de roca caliza, se tiene una de las formaciones mas di

fflejos de perforar en cuanto a "avance" se refiere. No debemos olvidar - que las condiciones de confinamiento en que estas formaciones se encuentran en el fondo del pozo cambian su comportamiento al ataque de la barra-

na. Formaciones como las descritas aparecen como quebradizas fácilmente -- pulverizables si pequeñas porciones o pedazos se sujetan a ligeros golpes de martillo.

Las características de fractura de las lutitas, y por tanto su perforabilidad, varían muy ampliamente, especialmente con la profundidad.

3.- Plasticidad. - Como propiedad de una roca la plasticidad puede tomarse como opuesta a lo quebradizo. La plasticidad se presenta en la perforación somera en todas sus gradaciones. Desde las formaciones que no exhiben plasticidad alguna hasta las arcillas extremadamente suaves y pegajosas que no son capaces por si mismas de soportar el peso de las formaciones que se encuentran por encima de ellas, por lo que una vez perforadas o penetradas, se cierran y fluyen sobre el agujero disminuyendo el diámetro, pese a que se repasen una y otra vez. Este es un claro ejemplo de lo vago que es el término "perforabilidad", pues en este caso la resistencia de la arcilla suave a la perforación propiamente dicha es muy baja, se emplea poca energía para penetrarla, y podría clasificarse como de alta o fácil perforabilidad. No obstante, los avances reales, los rendimientos efectivos en metros por hora o por día son muy bajos aún cuando se utilicen técnicas de lodos muy especiales y costosos. En muchas ocasiones los avances reales en arcillas excesivamente plásticas son comparables o inferiores a-

los que se obtienen en rocas ígneas o metamórficas cuya perforabilidad es muy baja.

Siendo el anterior un caso extremo, puede decirse, en general que las rocas y formaciones que tienen cierto grado de plasticidad, representado en términos generales por moderados contenidos de arcilla, como arena arcillosa, clásticos finos ligeramente arcillosos, calizas con contenido de arcilla, tobas arcillosas, etc., son bastante nobles y competentes, o lo que es lo mismo, presentan una alta perforabilidad.

A este tipo de formaciones y especialmente a las lutitas, las cuales se presentan con mucha frecuencia al perforar en yacimientos petroleros, se debe el desarrollo y obtención de las modernas barrenas de tobera (jet) que producen un alto impacto hidráulico y turbulencia en el fondo de la perforación lográndose incrementos verdaderamente notables en los avances o rendimientos con esa moderna tecnología, la cual desafortunadamente sólo puede aplicarse con ventaja en diámetros relativamente pequeños (6-1/2" a 9-1/2") muy por abajo de los diámetros usados en nuestra perforación so-
mera, además de que su empleo requiere grandes cantidades de energía h
dráulica.

4. - Resistencia a la compresión y al aplastamiento.

5. - Resistencia a la tensión.

6. - Resistencia al esfuerzo cortante. - Indudablemente que la resistencia mecánica de una roca es el factor mas importante en la determinación de la velocidad a que puede ser perforada. Desde luego que la resistencia de una roca a la compresión, a la tensión y al esfuerzo cortante pueden deter

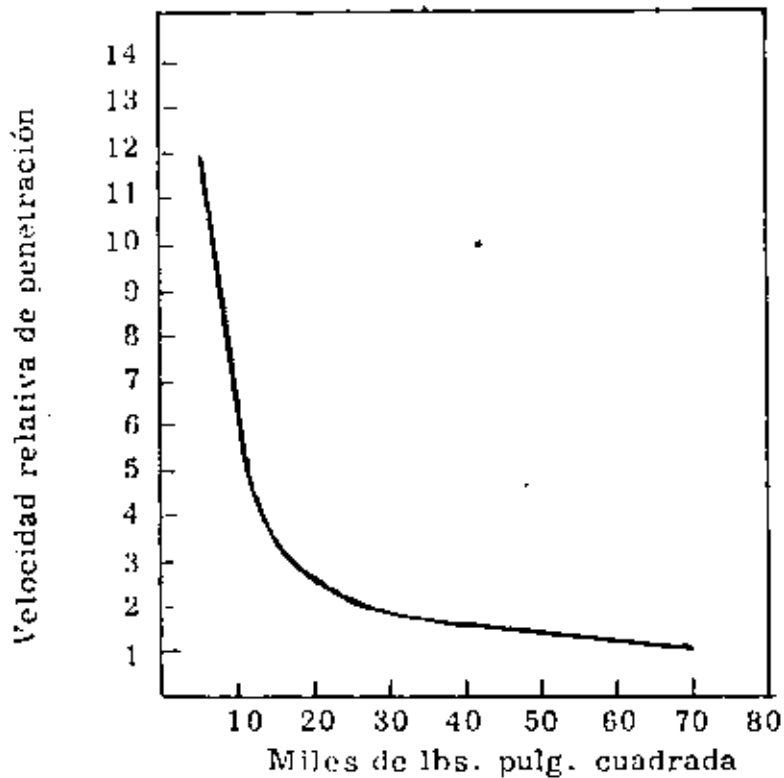
minuarse separadamente por medio de especímenes en las máquinas de prueba del laboratorio de resistencia de materiales; pero los valores obtenidos carecen de validez y significación ya que la resistencia que nos preocupa o interesa es la resistencia a la penetración de una barrena, la cual mas bien mide las fuerzas cohesivas entre las partículas constituyentes de la roca, in situ, con todas sus condiciones protectivas como lo es el confinamiento en todas las direcciones, excepto por la cara o sección expuesta a la acción de la barrena. De manera que las propiedades elásticas de la roca son en realidad muy diferentes a las que pueden determinarse en las máquinas de prueba en las que no existe confinamiento alguno.

Sin embargo, puesto que la barrena ataca la roca principalmente por percusión e impacto, si se ha encontrado correlación entre la resistencia a la compresión y la perforabilidad, tras de numerosas pruebas de laboratorio y también por experiencias y registros de campo.

La relación que se encontró fué una función hiperbólica en la forma que se ilustra en la figura siguiente.

Debe quedar bien claro que los valores de la gráfica son relativos y se ha expuesto sólo para ilustrar el tipo de función entre los parámetros considerados, conservando todas las demás condiciones de perforación idénticas e ideales. Mas adelante en nuestra exposición daremos una relación matemática, de carácter práctico, en la cual figura en forma preponderante la resistencia a la compresión de las rocas.

7.- Porosidad. - Los espacios porosos dentro de una roca disminuyen desde luego la resistencia mecánica y obviamente también disminuye la canti-



RESISTENCIA A LA COMPRESION LBS/PULG. CUAD.

dad de material sólido que debe ser removido por la acción de la barrena. Desde luego que esta propiedad de las rocas está bien relacionada con la velocidad de penetración, aun cuando no pueda hacerse cuantitativamente. A título de ejemplo podemos citar la perforación en rocas calizas de gran espesor y en corrientes basálticas, en las que pueden percibirse zonas porosas por los mayores avances o velocidades de penetración en comparación con las zonas en que la roca es masiva.

Teorías relacionadas con la trituración, molienda o falla de las rocas.

Con objeto de tratar de entender la forma en que actúan las barrenas; o yendo más allá, el mecanismo por el cual los dientes de la barrena atacan la roca, consideramos pertinente examinar aunque sea brevemente las teorías más conocidas a este respecto.

Cuando se perfora un pozo por medios mecánicos, que es lo que nos ocupa, se producen pequeños pedazos de roca por la acción de la barrena contra la formación.

En un intento de obtener un cálculo o estimación del trabajo útil desarrollado por la barrena en la destrucción de la roca, puede suponerse que la energía requerida es proporcional a la nueva superficie de roca producida durante el proceso de perforación. Esta suposición fué usada para obtener la ley de Rittenger, la cual fué desarrollada en principio para su aplicación a máquinas quebradoras de roca. Sin tratar de exponer la secuencia matemática, diremos que se llega a la conclusión siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Trabajo por unidad} \\ \text{de volumen de roca} \end{array} = \frac{\text{constante}}{a}$$

siendo "a" el tamaño efectivo de los recortes de perforación.

Esta relación implica que la energía gastada en la perforación de un metro a determinado diámetro, será inversamente proporcional al tamaño de los recortes. O de otra manera, el tamaño de los recortes nos dá un indicio bastante directo de la perforabilidad relativa de las rocas; es decir, si con la misma barrena y conservando invariables todas las condiciones de perforación, peso, rotación, etc., entre más pequeños sean los recortes la formación requiere más energía y por tanto es mas resistente a la perforación. Sin embargo, esto no quiere decir que las condiciones de perforación y destrucción de la roca en las que se requiera el mínimo de energía o trabajo mecánico sean las mas deseables o económicas; es decir, que no siempre la obtención de los fragmentos mas grandes deba ser el objetivo del perforo-

radar, pues como veremos mas adelante existen condiciones en las que la obtención de pequeñas partículas de roca trituradas, prácticamente polvo, proporcionan los mayores avances por unidad de tiempo.

Por cuanto a la potencia real que se consume en la perforación, generalmente se cuenta con un exceso considerable, principalmente en los equipos de perforación petrolera. Por ejemplo, en la perforación o molienda de rocas duras y tenaces como calizas, dolomitas, areniscas, etc., en diámetros de alrededor de 20 cm. (8") se utilizan en forma efectiva, en la barrena, potencias del orden de 25 a 50 H. P., contándose en el equipo con capacidad de 2000 H. P. o más, los cuales se utilizan principalmente para las maniobras de elevación de la sarta de perforación desde profundidades de varios miles de metros, en tiempos razonables, así como en potencia hidráulica tanto en la barrena como en vencer pérdidas por fricción producidas por la circulación de los fluidos empleados.

Tratándose de las máquinas comunmente empleadas en nuestra perforación somera podemos afirmar que sí es frecuente que se tengan limitaciones en la potencia disponible, sobre todo en los diámetros de más de 25 cm. (10") que se requieren para la explotación del agua subterránea.

Otras teorías referentes a la molienda o falla de las rocas son las siguientes:

- a) La teoría del máximo esfuerzo, la cual establece que la falla ocurre en cualquier punto donde el esfuerzo excede cierto valor crítico.
- b) La teoría de la máxima deformación, la cual, como su nombre lo indica, establece que la falla ocurrirá cuando se sobrepasa cierto lí-

nálisis crítico.

- c) La teoría de la máxima diferencia de esfuerzos o del máximo esfuerzo-cortante, la cual fué desarrollada por Mohr, según la cual la falla está determinada por las máximas diferencias entre los esfuerzos principales.
- d) Teorías de percusión. - Puesto que las herramientas mecánicas más usuales y prácticas consisten en elementos rodantes en el fondo del pozo y la acción de destrucción o molienda se produce por impacto o percusión, este procedimiento o acción ha sido objeto de muy numerosos estudios y experimentos dando lugar a las correspondientes teorías.

Por ejemplo Drilling Research, Incorporated de los E. U. A., llevó a cabo experimentos que fundamentalmente consistieron en dejar caer herramientas o dados parecidos a cincelos con filo truncado o plano, actuando en determinada roca caliza. Se encontró que era necesario emplear una determinada cantidad mínima de energía para que la falla ocurriera. Por abajo de esa energía mínima, la roca se comportaba elásticamente y no ocurría falla alguna.

Sin embargo cuando se empleaba suficiente energía para producir la falla, la porción inmediatamente abajo de la parte plana del dado tomaba la forma de una cuña y se formaban esquirlas o fragmentos a ambos lados con ángulos de fractura de alrededor de 20° hasta la superficie del espécimen.

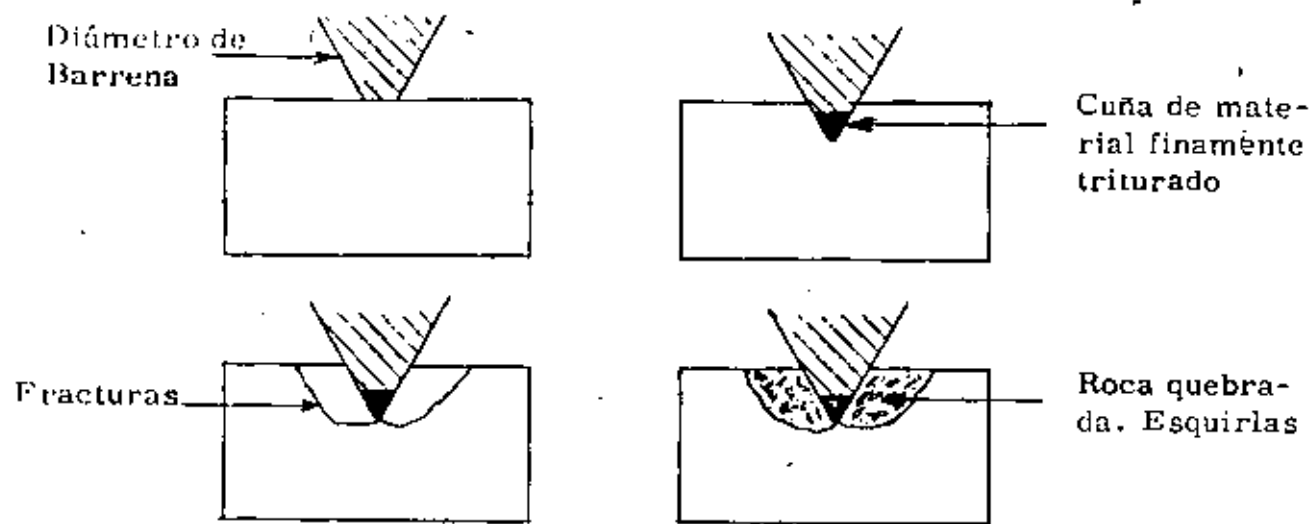
Cuanto mayor era la energía del golpe o impacto, mayor era la pen-

tracción y la cantidad de roca removida.

Por métodos muy precisos y elaborados se midieron los esfuerzos en los dados y se tomaron películas a muy alta velocidad así como en pantallas de osciloscopio. Pruebas a distintas velocidades, pruebas estáticas y aplicación lenta de las cargas mostraron un comportamiento idéntico observado cuando el dado era forzado contra la roca. Se concluyó por lo tanto que no existe una ventaja en la percusión por sí misma, excepto en los casos en que la energía cinética se emplea en lugar de mayores pesos sobre la barrena o dado para llevar a cabo la acción de triturar o perforar.

En este mismo sentido se llevó a cabo una investigación exhaustiva de los mecanismos de la formación de cráteres por los impactos producidos por los dientes de las barrenas de perforación contra las rocas. Esta investigación fué conducida por W. C. Maurer desde 1959 hasta 1965 y llegó a resultados prácticos, al grado de elaborar una relación matemática definida entre los principales parámetros que intervienen en la perforación de las rocas.

De acuerdo con esta investigación, cuando el diente de una barrena produce un impacto sobre la roca, ésta se deforma elásticamente hasta que se excede el límite de su resistencia al aplastamiento y trituración, momento en el que se forma bajo el diente una cuña de material finamente triturado. A medida que la fuerza que ejerce el diente aumenta, la cuña de material triturado es más fuertemente comprimido, produciéndose fuerzas laterales de gran intensidad en



• MECANISMO DE FORMACION DE CRATERES

el material sólido que rodea a la cuña inicial.

Cuando estas fuerzas llegan a cierta intensidad se inician fracturas debajo de la cuña y se propagan hasta la superficie de la roca.

Las trayectorias de éstas fracturas intersectan a las líneas de acción de los esfuerzos principales a un ángulo constante como lo predice la teoría de Mohr que se mencionó anteriormente relativa a la máxima diferencia de esfuerzos principales o sea donde ocurre el máximo esfuerzo cortante.

En estos estudios se encontró una correlación entre la profundidad del cráter y la inversa de las importantes propiedades de las rocas como son: La resistencia al corte y la resistencia a la compresión. Como resultado de todos esos estudios y experimentos Maurer propuso la siguiente importante ecuación, siempre que se den las condiciones de una "perfecta limpieza" del fondo del agujero, es decir, que el material triturado bajo cada impacto de los dientes de la barrena sea removido inmediatamente, de manera que siempre se produzca el meca-

nismo de craterización sobre roca "virgen". (Esto explica en parte la mayor eficiencia de las barrenas con toberas (jets)).

$$R = K \frac{N W^2}{D^2 S^2}$$

R = rendimiento (pies/hr.)

K = condiciones de perforación (constante)

N = Velocidad rotaria r.p.m.

W = Peso total sobre la barrena, lbs.

D = Diámetro de la barrena, pulgs.

S = Resistencia a la penetración (compresión) de la roca
lbs/pulg. cuadrada.

Como se vé, la ecuación anterior relaciona cuatro variables de las muy importantes en la técnica y práctica de la perforación. Comentaremos brevemente sobre cada una de ellas. En primer lugar, "S" resistencia a la penetración cuyo índice mas próximo o semejante es la resistencia a la compresión influye en la velocidad de perforación o rendimiento en razón inversa del cuadrado de su valor. Es decir que si una roca "B" es doblemente fuerte o doblemente resistente en comparación con una roca "A", "B" se perforará a una velocidad cuatro veces menor, o bien, tomará cuatro veces mas tiempo perforar una misma longitud o tramo de pozo.

Por otra parte, observamos también que la velocidad de perforación es proporcional a la velocidad angular de la barrena, lo cual indica que — entre ciertos límites, para obtener "limpieza perfecta", el volumen de

roca triturada es proporcional al número de impactos producidos por los dientes de la barrena.

Por otra parte, vemos que el rendimiento es proporcional al cuadrado de "W" o sea al peso total efectivo sobre la barrena y podemos obtener una consecuencia práctica muy útil, que consiste en saber que cualquier cantidad de peso que podamos agregar a la barrena se reflejará grande mente en nuestros rendimientos.

También es importante observar que el rendimiento varía en razón inversa del cuadrado del diámetro, o lo que es lo mismo, varía en función inversa del volumen de roca triturada.

Esta relación es cierta y corresponde a la experiencia dentro de ciertos límites a condición de que se conserven invariables los demás elementos o parámetros que intervienen. Por ejemplo, según la fórmula que comentamos, un agujero de 2" podría perforarse a una velocidad 16 veces mayor que un agujero de 8", lo cual evidentemente no sucede en la práctica por la imposibilidad material de mantener el mismo peso total "W" sobre la barrena, además de otros impedimentos de semejante naturaleza, que hacen que seguramente un agujero de 8" pueda perforarse a mayor velocidad que uno de 2".

Finalmente, el rendimiento está afectado por la constante "K", lo cual representa una manifestación matemática de que muchos otros parámetros pueden afectar la velocidad de perforación, incluyendo otras propiedades de las rocas diferentes a la resistencia a la compresión, las propiedades y características del fluido de perforación empleado,

condiciones de presión e incluyendo la presión de confinamiento y aún - el diseño de la barrena.

De modo que la magnitud de "K" es constante para una determinada barrena, a determinada profundidad y todas las demás variables están representadas en esta "constante", siempre y cuando, también se logre una perfecta limpieza del fondo.

De suma importancia es decir, aunque sea muy brevemente, algunos de los muchos efectos que los fluidos de perforación tienen sobre la perforabilidad de las rocas o su influencia en el comportamiento de las barrenas.

En términos generales se han obtenido estadísticamente buenas correlaciones respecto a las propiedades de los lodos como son: viscosidad, filtrado, contenido de sólidos y coloides, densidad, etc., sin poder establecerse relaciones numéricas. Así tenemos que a mayor viscosidad menor rendimiento, el mayor contenido de sólidos principalmente coloides también disminuye la velocidad de perforación. Puede decirse que un lodo de muy buena calidad, de baja viscosidad y contenido de sólidos puede dar una velocidad de perforación inferior a la mitad de la que se obtiene cuando se usa solamente agua; pero todos sabemos bien que rara vez puede usarse agua sola para perforar.

La densidad de los lodos tiene también una influencia decisiva en el avance de perforación, especialmente a profundidades apreciables, al producir altas presiones hidrostáticas que tienden a conservar la formación en su lugar aumentando el confinamiento y por consiguiente a retar

dar el avance.

La utilización del agua como fluido de perforación reduce el tamaño de los recortes y da también una mayor velocidad de perforación, conservando el resto de las condiciones iguales.

Por último, la utilización de aire, cuando esto es posible y deseable, da aún mayores velocidades de perforación y en los casos en que puede usarse gas de hidrocarburos con densidad inferior a la del aire, la velocidad de perforación se aumenta notablemente.

La utilización de lodos y demás fluidos de perforación es una ciencia en si misma ligada estrechamente a la tecnología de la perforación, -- por lo que consideramos que lo dicho basta para dar una idea en cuanto se refiere a la perforabilidad de las rocas.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

COSTOS DE PERFORACION

ING. JOSE LUIS SANCHEZ LAZCANO

JUNIO, 1979.

El tema "Costo de Perforación" representa un problema difícil de tratar ya que se utilizan diferentes criterios para el manejo de costos.

Por otra lado existen una gran diversidad de máquinas de perforación las que a su vez emplean diferentes formas de perforar.

El presente trabajo se basó en los criterios de un trabajo que se llevó a cabo en 1973 auspiciado por la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, en el cual participamos un grupo de técnicos en perforación.

En general los criterios son los mismos aunque se utilizan algunos ajustes para adaptar al presente año de 1978 dicho trabajo.

Del índice que adelante se señala solo se desarrolla una parte enfocando directamente a la perforación en sí.

I N D I C E .

	Hoja
Descripción de equipos-tipo para perforación. Cuadro 1	6- 1
Análisis de costos de transporte, instalación y desmantelamiento del equipo de perforación	6- 4
Análisis de costos de construcción de presas para lodos de perforación	6- 7
Análisis de costo del lodo de perforación	6- 8
Análisis de costos de perforación	6- 9
Clasificación de materiales	6-10
Avances teóricos de perforación	6-12
Rendimientos reales de perforación	6-14
Cuadro 2, que los muestra.	6-18
Costos. Incremento por profundidad	6-19
Costos en diámetros básicos, prof. 0 a 100 m. Cuadro 5	6-19
Costos en todos diámetros, prof. hasta 300 m. Cuadro 6	6-20
Costos de perforación con control de verticalidad. Cuadro 7	6-21
Análisis de costos de colocación de tuberías y cedazos. Cuadro 8	6-22
Análisis de costos de cementación de tubería Cuadro 9, que los muestra	6-23 6-26
Análisis de costos de grava para filtros	6-28

Apéndice I.- Salarios reales	6-29
Apéndice II.- Salarios por cuadrillas y seguro social	6-31
Apéndice III.- Cargos fijos de equipos	6-34
Apéndice IV.- Consumos de equipos	6-38
Apéndice V.- Costos horarios de equipos	6-43
Apéndice VI.- Costos horarios de herramienta de ataque	6-45
Apéndice VII.- Costo de herramienta para control de -- verticalidad	6-46

Equipo tipo para perforar:	I	II	III	IV	V
* Hasta profundidad	100 m	450 m	1350 m	1500 m	2000 m
* En diámetros de	16" - 24", buzos y carril-sujos	usuales todas	usuales todas	usuales todas	usuales todas
* En materiales					
1 Tipo del equipo	Portátil	Portátil	Portátil o desarmable	Portátil o desarmable	Portátil o desarmable
2 Mástil	Integral	Integral	Integral o desarmable	Integral o desarmable	Integral o desarmable
a) Altura	38 pies	58 pies	68 - 95 pies	95 - 136 pies	136 pies
b) Capacidad en el gancho de lavante	35,000 lbs.	75,000 lbs.	140,000 #	180,000 - 200,000 #	250,000 - 300,000 #
c) Capacidades estáticas totales	-----	-----	-----	350,000 #	420,000 #
3 Subestructura o plataforma de trabajo	Integral	Integral o desarmable	Integral o desarmable	Desarmable	Desarmable
a) Altura sobre el suelo	(3 pies) 0.90m	(5 pies) 1.50m	1.80 - 2.50m	3.00 - 3.60 m	3.00 - 3.60 m
b) Capacidad para sostener tubg bomba de perforación	-----	500m - 3 1/2"	1000m - 3 1/2"	1500m - 4 1/2"	2000m - 4 1/2"
c) Capacidad para manejar tubg de revestimiento	20,000 #	60,000 #	120,000 #	150,000 - 180,000 #	200,000 - 250,000 #
d) Capacidad total para tuberías de revestimiento y cables de tubería de perforación simultá- neamente.	-----	75,000 #	200,000 #	300,000 #	400,000 #
4 Mástil (derrick).	Integral.	Integral.	Integral.	Integral o desarmable	Integral o desarmable
a) Diámetro del cable mínimo	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1-1/8"
b) Freno	Fricción	Fricción	Fricción y enfri- amiento	Fricción, hidráulico y enfriamiento	Fricción, hidráulico y enfriamiento
5 Mesa rotatoria	Integral	Integral	Integral o desarmable	Desarmable	Desarmable
a) Abertura, mín.	7 1/2" - 16"	18"	18"	20 - 1/2"	23"
b) Capacidades de carga estáticas	16 Ton.	110,000 #	200,000 #	450 Tons.	450 Tons.
c) Capacidades de carga en rotación	10 Ton.	60,000 #	110,000 #	280 Tons.	300 Tons.
6 Junta giratoria (swivel)					
a) Capacidad carga estática	16 Ton.	100,000 #	200,000 #	150 Tons.	200 Tons.
b) Capacidad carga en rotación	10 Ton.	60,000 #	150,000 #	100 Tons.	135 Tons.
7 Equipo de bombas de todas las perforación.	Integral.	Integral o Independiente	Independiente	Independiente	Independiente
a) Capacidad de bombeo.	150 GPM	400-200 GPM	450-200 GPM	480 GPM 220 GPM	480 GPM 220 GPM
b) Presión de bombeo	200 lbs.p.p.c.	250-500#	450-1000#	550-1200#	550-1200#
c) Número de Unidades	1	1	1	2	2
8 Potencia en el equipo de perforación.					
a) Mástil, rotaria y equipo de bombeo	110 H.P.	-----	-----	-----	-----
b) Mástil y rotaria		150-200 HP	300 HP	350 - 500 HP	400 - 500 HP
c) Equipo de bombas	50 H.P.	150-200 HP	150-250 HP	400 - 600 HP	400 - 600 HP

ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPÚBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - ENERO DE 1973. - DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS - TIPO PARA PERFORACIÓN (CONTINUACIÓN)

CUADRO I

	I	II	III	IV	V
9 <u>Equipo y Herramienta de alijo</u>					
a) Llaves rotatorias para tubería de perforación	X	X	X	X	X
b) Elevadoras tubería de perforación	X	X	X	X	X
c) Cuchas para lastre barrenas	X	X	X	X	X
d) Cuchas para tubería de perforación	X	X	X	X	X
e) Collarín para lastre barrenas	X	X	X	X	X
f) Equipo automático para apretar y aflojar tuberías	---	X	X	X	X
g) Cuadro para apretar y aflojar barrenas	---	X	X	X	X
h) Indicador de peso	Directo	Hidráulico	Hidráulico	Hidráulico	Hidráulico
i) Manómetro	---	X	X	X	X
j) Laboratorio portátil para control de lodos	---	---	X	X	X
k) Elevadores para tuberías de revestimiento con rosca y copia	---	X	X	X	X
10 <u>Equipo para el circuito de lodos</u>					
a) Presas de lodos	En tierra 15 m ³	En tierra 30 - 50 m ³	En tierra Metálicas 60 m ³	Metálicas 90 m ³	Metálicas 90 m ³
b) Mallas vibratorias	-----	-----	-----	X	X
c) Desarenador	-----	-----	-----	X	X
d) Pistolas para mezcla	1 baja presión	2 - 200 #	4 - 200 #	8 - 200 #	8 - 200 #
e) Embudo mezclador	Rudimentario	Formal	Formal	Formal	Formal
f) Tuberías, conexiones y mangueras en el circuito de presión	2" x 400'	2 1/2" x 1000'	3" x 1 - 2000'	4" - 1000'	4" - 1000'
11 <u>Instalación eléctrica</u>					
<u>Intemperie</u>					
a) Iluminación de piso y mástil	X	X	X	X	X
b) Iluminación en la sub-estructura	-----	X	X	X	X
c) Iluminación en el circuito de lodos	-----	X	X	X	X
d) Iluminación de mástil según reglamento de aeronáutica	-----	-----	-----	X	X
e) Iluminación de toda el área de trabajo	-----	-----	-----	X	X
12 <u>Equipo de pasca</u>	X	X	X	X	X
13 <u>Tanques almacenamiento de combustible</u>	1000 lts.	5000 lts.	5000 lts.	10,000 lts.	10,000 lts.
14 <u>Tanques almacenamiento de agua</u>	-----	-----	X	X	X

(2) EQUIPO COMPLEMENTARIO

	I	II	III	IV	V
1 <u>Planta eléctrica</u>					
a) Iluminación	2 Kw.	5 Kw.	10 Kw.	15 Kw.	15 Kw.
b) Fuerza eléctrica	" "	" "	10 Kw.	15 Kw.	15 Kw.
c) Capacidad total	2 Kw.	5 Kw.	20 Kw.	30 Kw.	30 Kw.
2 <u>Planta de soldadura eléctrica</u>					
Capacidad	300 A	300 A	300 A	300 A	300 A
3 <u>Bomba centrífuga</u>	X	X	X	X	X
4 <u>Equipo de soldadura autógena</u>	X	X	X	X	X
5 <u>Equipo en maniobras</u>					
a) Camión de carga	6 Ton.	" "	" "	" "	" "
b) Camión de maniobras, con - pluma, malacate y rodillo	" "	20 Ton.	20 Ton.	30 Ton.	30 Ton.
c) Plataforma de carga	" "	20 Ton.	20 Ton.	30 Ton.	30 Ton.
6 <u>Lote de herramientas</u>	X	X	X	X	X

(3) HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN

	I	II	III	IV	V
1 <u>Columna de perforación</u>					
a) Tubería de perforación	3 1/2"-125m	4 1/2-3 1/2-600m	4 1/2-3 1/2-1250m	4 1/2"-1700m	4 1/2"-2200m
b) Lestras barrenas	5 1/2"-20'	5 1/2"-73/4"	5 1/2"-73/4"	6-1/4"-73/4"	6-1/4"-73/4"
c) Peso Gell sobre barrenas	3 Ton.	10 Ton.	12 Ton.	16 Ton.	16 Ton.

(X) Debe existir; se especificará en los análisis correspondientes.

Se toma en definitiva como base de cálculo un equipo rotatorio tipo 2000 como indicado para la determinación de costos genéricos de perforación a profundidades hasta de 305 m en diámetros usuales, costos válidos, por representativos, independientemente de que se empleen otros tipos de equipos para perforar.

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS

EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978.

TRANSPORTE, INSTALACION Y DESMANTELAMIENTO DEL EQUIPO DE PERFORACION.

EQUIPO DE PERFORACION MODELO 2000 O SIMILAR

A.- Movilización del equipo hasta una distancia de 15 km (por carreteras, caminos, terracerías o brechas transitables en todo tiempo).

Peso de la unidad perforadora 20,000 kg.

Peso del equipo auxiliar, tubería de perforación y accesorios 18,000 kg.

Se necesitan dos unidades automotrices para 20 t cada una, un tractor (quina rueda) y un tractor y plataforma para 20 t.

Renta de este equipo \$ 700.00/h

Se considera que las maniobras de carga y descarga se hacen con el personal del equipo de perforación y que la maniobra de cargar transportar a una distancia no mayor de 15 km y descargar, requiere 8 horas de trabajo.

1.- Renta del equipo de transporte:

8 h a \$ 700.00/h \$5,600.00

2.- Equipo de perforación:

8 h máquina parada a \$ 957.02/h 7,656.16
(Apéndice V)

3.- Maniobras del equipo de perforación:

(Apéndice IV - \$ 20.00/h)

\$ 20.00/h x 15 km = 30.00
10 km/h

4.- Instalación y desmantelamiento

Los trabajos de instalación consisten en:

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS
 EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA
 C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978.

TRANSPORTE, INSTALACION Y DESMANTELAMIENTO DEL EQUIPO DE PERFORACION.

(CONTINUACION)

a)	Limpieza y nivelación del terreno (para)	3h
b)	Montaje del equipo sobre su cama de - - madera	1h
c)	Erección del mástil, centrado y nivela ción	4h
d)	Instalación de la bomba y conexiones - del circuito de lodos	3h
e)	Instalación del equipo auxiliar	1h
f)	Perforación del agujero auxiliar para la flecha (kelly)	10h
g)	Preparación inicial de lodos (20 m3)	6h
h)	Armado de flecha, barrenas, rotaria, lubricación inicial, dotación de com- bustible y prueba de mandos	<u>2h</u>
		30h

Los trabajos de desmantelamiento consisten en:

a)	Retiro de tubería de perforación, las - trabarrenas, conexiones y accesorios	3h
b)	Limpieza superficial del equipo	1h
c)	Retiro de la flecha y funda de flecha del agujero auxiliar	1h
d)	Abatimiento del mástil y quitar gatos de montaje	2h

ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS

EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978.

TRANSPORTE, INSTALACION Y DESMANTELAMIENTO DEL EQUIPO DE PERFORACION.

(CONTINUACION)

e)	Quitar conexiones de la bomba y circuito de lodos	2h	
f)	Recolección de madera de la cama, tubería y accesorios. Preparación para su carga y abandono de la lo- calización	3h	
g)	Tapado de presas y limpieza del lugar	4h	
		<u>16h</u>	
	Total instalación y desmantelamiento:	46h	
	46h máquina parada \$ 957.02 \$/h =		<u>44,022.92</u>
	Total movilización del equipo hasta una dis- tancia de 15 km		\$ 57,309.08
B.-	Transporte del equipo de perforación por km sub- secuente a los primeros 15 km		
	Cargos durante el transporte:	\$/h	
	Equipo de transporte	700.00	
	Máquina parada	957.02	
	Plantas del equipo de perf.	30.00	
		<u>1,687.02</u>	
	Cargo por km subsecuente en terracería o brecha		
	\$ 1,687.02/h : 10 km/h =		\$ 168.70/km
	Cargo por km subsecuente en carretera		
	\$ 1,687.02/h : 40 km/h =		\$ 42.17/km

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS
EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA
C.H.I.C. AGOSTO DE 1978.
CONSTRUCCION DE PRESAS PARA LODOS DE PERFORACION

Se requieren dos presas de lodos de 4 x 4 x 1.5m con 24 m3 de capacidad cada una.

Excavación:		
48 m3 x \$ 38.00/m3 =		\$ 1,824.00
Relleno semicompactado		
48 m3 x \$ 22.00/m3 =		1,056.00
Impermeabilización con suelo-cemento o cemento-bentonita		
8 (4m x 1.5m) + 2 (4m x 4m) =		
= 80 m2 x \$ 10.00/m2 =		<u>800.00</u>
Total costo =		\$ 3,680.00

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS
EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA
C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978.
COSTO UNITARIO DEL LODO DE PERFORACION

BENTONITA:

Se considera que para preparar un m³ de lodo se necesitan agregar 60 kg de bentonita de buena calidad.

Precio de la bentonita: \$ 700.00/t L.A.B. centro de producción;

60 kg/m³ de lodo x 0.70 \$/kg. = \$ 42.00

Cargo por equipo modelo 2000 ó similar:

Para preparar 48 m³ de lodo (capacidad de las presas), se utiliza el equipo durante

4 h

$$\frac{4h \times \$ 1,373.85/h \text{ (Ap.V)}}{48 \text{ m}^3} = \$ 114.48$$

Costo total \$ 156.48

NOTA:

No se incluye costo de acarreo de bentonita ni de agua.

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS

EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - ENERO DE 1973.

ANALISIS DE COSTOS DE PERFORACION

CLASIFICACION DE MATERIALES

Los materiales se clasifican aquí convencionalmente atendiendo no sólo a su denominación geológica sino a características físicas y a las dificultades específicas que presentan a la perforación.

MATERIAL	I.	Arcillas Arenas y gravas hasta \varnothing 5 cm (2") Limos. Tobas. Depósitos lacustres. Pómez, tezontle, lapilli y cenizas volcánicas.
MATERIAL	II.	Areniscas. Conglomerados. Lutitas. Pizarras. Calizas y dolomitas. Rocas ígneas y metamórficas alteradas hasta una dureza similar a la de las Lutitas. Aluviones ("Boleos") hasta de \varnothing 12.5 cm (5").
MATERIAL	III.	Aluviones gruesos sueltos de más de \varnothing 12.5 cm (5"). Aglomerados volcánicos. Rocas ígneas intrusivas y extrusivas. Gneiss y esquistos sanos. Calizas silicificadas. Tobas vitrificadas.

ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS

EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C.-ENERO DE 1973.

ANÁLISIS DE COSTOS DE PERFORACION

AVANCES Y RENDIMIENTOS

AVANCES TEÓRICOS DE PERFORACION

Es indudable que la perforación de las rocas, suelos y formaciones geológicas en general entraña una mecánica extremadamente compleja en la que entran en juego numerosos factores cualquiera que sea el procedimiento o método de perforación: percusión con cable, percusión con aire y rotación, o el más generalizado que es el rotatorio utilizando lodos de perforación.

Entre los factores más importantes que afectan la velocidad de perforación -- están las características propias de las rocas como son su dureza, su resistencia a la compresión, su fragilidad, su tenacidad, su plasticidad, que en suma resultan en mayor o menor facilidad o dificultad para ser penetradas.

Los demás factores básicos, tratándose del método rotatorio, son desde luego la potencia disponible o aplicada a las herramientas de perforación; el peso total o por unidad de sección del agujero, el cual a su vez está relacionado con el diámetro efectivo de la perforación, clase, tipo y condición de desgaste de la broca o barrenas con que se ataca la mollienda de la roca en el fondo del pozo; la velocidad y las características de los fluidos empleados en la perforación.

Porante muchos años se han venido estudiando todos los factores mencionados, principalmente en la industria petrolera, tanto mediante estudios sean teóricos o experimentales en laboratorios, como en la perforación real de los pozos, con los fines obvios de mejorar la tecnología y la eficiencia y disminuir los costos de perforación. En todos estos trabajos se han correlacionado los resultados de laboratorio y los de campo con el fin de llegar a expresiones matemáticas que conjuguen, en lo posible, los factores que intervienen para comprender mejor la mecánica del proceso.

Entre los trabajos más serios y confiables que existen al respecto están los del ingeniero y profesor W.C. Maurer cuyas conclusiones y experiencias son -- aceptadas por los profesionistas que estudian la tecnología de la perforación.

La fórmula fundamental de Maurer es la siguiente:

$$V = K \frac{HW^2}{D^2 S^2} \quad \text{--- (1)}$$

(1) Citada por Michael D. Campbell, N.W.A. Director of Research, en "The water well construction technology". Water well journal, Columbus, Ohio, Abril de 1972.

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS
 EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA
 C.N.I.C. - FEBRO DE 1973.

ANALISIS DE COSTOS DE PERFORACION (CONTINUACION)

en la cual:

- V = Avance en unidades de longitud por hora.
 K = Constante que se refiere a la perforabilidad de la roca de que se trate.
 N = Velocidad angular o rotatoria en r.p.m.
 W = Peso total aplicado sobre la barrena.
 D = Diámetro de la perforación.
 S = Resistencia de la roca a la compresión.

En la fórmula anterior puede verse que para unas condiciones mecánicas N, W, y para un diámetro D, constantes, el avance de la perforación está determinado fundamentalmente por la resistencia de la roca a la compresión y varía, en razón inversa del cuadrado de esa resistencia. Es decir, que en idénticas condiciones mecánicas, al encontrar una roca con el doble de resistencia, el avance por hora disminuirá no a la mitad sino a la cuarta parte del avance anterior. De las características físicas de las rocas dependen, pues en forma considerable, los costos de perforación; la clasificación de las formaciones geológicas desde el punto de vista de su perforabilidad tiene, por consiguiente, una importancia decisiva.

Por lo que se refiere a los factores mecánicos, N y W, estos están determinados por las características, potencia y capacidad de la máquina perforadora; es decir, tanto N como W tienen valores máximos más allá de los cuales la perforadora no puede trabajar. A mayor potencia mayor avance, y éste mejorará en función del cuadrado del peso aplicado a la barrena. De donde se deduce la gran ventaja de utilizar máquinas de capacidad adecuada y utilizarlas con los pesos óptimos sobre barrena.

Por fin, el avance varía inversamente con el cuadrado del diámetro de perforación; de aquí la importancia de una adecuada selección de diámetros. En la industria petrolera, fracciones de pulgada en más o en menos tienen gran repercusión en los costos de los pozos. En la construcción de pozos de agua se seleccionan diámetros finales considerablemente mayores, en razón de los diámetros de las tuberías que deben alojarse para permitir el flujo de caudales mucho más grandes. Estos diámetros de perforación se incrementan aún más cuando el diseño de los pozos exige la colocación de un filtro de grava graduada en el espacio anular entre la tubería y la pared del agujero.

En general, estas perforaciones no pueden hacerse económicamente en una sola pasada sino que primero se perfora con un diámetro relativamente reducido y posteriormente se hacen las ampliaciones necesarias para llegar a los diámetros finales de diseño. Este procedimiento introduce variaciones en la fórmu

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS
EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - ENERO DE 1973

ANALISIS DE COSTOS DE PERFORACION.

la de Maurer, en la cual sólo se contempla el caso de la molienda en el fondo del pozo haciendo fallar la roca por compresión y por impacto.

En el caso de la ampliación de un agujero ya existente, una buena parte de la molienda se efectúa por falla al esfuerzo cortante para el cual la resistencia de las rocas, debido a la diferencia en el esfuerzo confinante, es menor, dando como resultado que la herramienta ampliadora desprende un volumen mayor de roca, con la misma potencia, que perforando en el fondo del pozo por compresión pura. En el caso de las ampliaciones, pues, los avances reales son mayores a los deducidos por la fórmula de Maurer. Si se conoce el avance para un diámetro dado, digamos por ejemplo 12", en una determinada formación y con cierta máquina perforadora, el avance para un diámetro de 24" en las mismas condiciones no será 4 veces menor según la fórmula de Maurer, sino superior, cuando la perforación a 24" se haga en etapas.

Resumiendo: Cuando se trata de perforaciones directas en diámetros diferentes, los avances correspondientes están en proporción inversa del cuadrado de la relación de diámetros:

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

Cuando la perforación a un diámetro dado se hizo por ampliación de un agujero de diámetro menor, los avances estarán en proporción inversa de la relación de diámetros, elevada a un exponente n menor de 2

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^n \quad \text{con } n < 2$$

RENDIMIENTOS REALES DE PERFORACION.

La discusión anterior permite apreciar los diversos factores que condicionan el avance teórico de perforación, y la proporción en que influye cada uno de ellos. Ahora bien, para efectos de cálculo de costos, es necesario referirse expresamente al concepto de rendimiento real.

El rendimiento real es el resultado de dividir una longitud perforada, entre el tiempo total empleado; tiempo que incluye tanto el de la perforación misma como los consumidos por maniobras y operaciones inherentes al proceso.

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS

EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - ENERO DE 1973

ANALISIS DE COSTOS DE PERFORACION

El grupo de empresas dedicadas a esta especialidad y asociadas a la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción ha aportado experiencias y datos que permiten establecer las cifras que se consignan adelante como expresión de rendimientos reales de perforación en los diámetros básicos y más usuales.

Hay que mencionar como uno de los problemas que han hecho más laboriosa la -- determinación de esas cifras, el que representa la clasificación de las rocas y formaciones geológicas en grupos más o menos homogéneos de materiales que por la dureza, estructura y granulometría presentan grados similares de dificultad a la perforación. Por razones de índole práctica y a sabiendas de que es insuficiente y de que no corresponde estrictamente a la realidad, se tomó como base la clasificación en tres grupos que figura al principio del presente análisis.

Los rendimientos que se anotán en seguida están relacionados con el empleo de equipo rotatorio tipo 7000. Para perforación a profundidades hasta de 300m, este equipo se considera adecuado a efecto de deducir cifras que lleven a -- costos genéricos, válidos independientemente de que se empleen otros tipos de equipo para perforar.

Los datos que llevaron a estos rendimientos fueron procesados tratando de -- aproximarlos a una función continua de los diámetros. Como se verá adelante, esta función es una curva exponencial correspondiente a las expresiones derivadas de la fórmula de Maurer.

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS EN LA
 ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA
 C.N.E.C. - AGOSTO DE 1978 .
 ANALISIS DE COSTOS DE PERFORACION

C U A D R O 2

RENDIMIENTOS REALES DE PERFORACION

D Final	MATERIAL 1	Rendimiento
cm pulg	Profundidad, 0 a 100 m	m/h
20	Perforación directa	2.96
30	Perforación directa	2.20
40	Ampliación de 30 a 46 cm (12" a 18")	2.50
	Rendimiento global a 46 cm (18")	
	$\frac{1}{2.20} + \frac{1}{2.50} = \frac{1}{0.454+0.4}$	1.17
54	Ampliación de 30 a 61 cm (12" a 24")	1.20
	Rendimiento global	
	$\frac{1}{2.20} + \frac{1}{1.20} =$	0.77

ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS EN LA
ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978.

ANÁLISIS DE COSTOS DE PERFORACION

C U A D R O 2

RENDIMIENOTOS REALES DE PERFORACION

C Profundidad	MATERIAL II Profundidad, 0 a 100 m	RENDIMIENTO m / h
8	Perforación directa	1.50
12	Perforación directa	1.10
18	Ampliación de 30 a 46 cm (12" a 18") Rendimiento global a 46 cm (18") $\frac{1}{\frac{1}{1.10} + \frac{1}{1.25}} =$	1.25 0.59
24	Ampliación de 30 a 61 cm (12" a 24") Rendimiento global a 61 cm (24") $\frac{1}{\frac{1}{1.10} + \frac{1}{0.65}} =$	0.65 0.41

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS EN LA
ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978

ANALISIS DE COSTOS DE PERFORACION

C U A D R O 2

RENDIMIENTOS REALES DE PERFORACION

Ø Final cm pulg	MATERIAL III Profundidad, 0 a 100 m	RENDIMIENTO m/h
20 8	Perforación directa	0.96
30 12	Perforación directa	0.58
46 18	Ampliación de 30 a 46 cm (12" a 18") Rendimiento global a 46 cm (18") $\frac{1}{\frac{1}{0.58} + \frac{1}{0.70}} =$	0.70 0.32
61 24	Ampliación de 30 a 45 cm (12" a 18") Ampliación de 46 a 61 cm (18" a 24") Rendimiento global a 61 cm (24") $\frac{1}{\frac{1}{0.32} + \frac{1}{0.66}} =$	0.70 0.66 0.22

ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS
 EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA
 C.N.I.C. - ENERO DE 1973
 ANÁLISIS DE COSTOS DE PERFORACION.

C O S T O S

DIÁMETROS BÁSICOS.

Con los rendimientos así establecidos, se ha tabulado el cálculo de los costos, correspondientes en el cuadro que aparece adelante (Hoja 19).

DIÁMETROS INTERMEDIOS.

El procedimiento para deducir los costos de estas perforaciones ha consistido en aplicar las relaciones, derivadas antes, de la fórmula de Maurer, según las cuales los rendimientos cuando se procede por ampliaciones sucesivas son inversamente proporcionales a la relación de diámetros elevada a un exponente n menor de 2.

Los valores de ese exponente n deducidos con las cifras consignadas como rendimientos básicos resultan ser:

C U A D R O 3

Diámetro		Mat. I	Mat. II	Mat. III
cm	pulg			
30 a 46	12 a 18	1.395	1,415	1,385
46 a 61	18 a 24	1.397	1,515	1,375

Si se acepta un valor promedio $n = 1.4$, la variación de rendimientos contra diámetros queda expresada así:

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{1.4}$$

lo cual es equivalente a decir que la variación de costos contra diámetros es:

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{1.4}$$

Aunque pueden presentarse algunas variaciones, para los cálculos actualizados a 1978, se seguirá tomando $n=1.4$

Esta relación se justifica siempre que la perforación directa y la ampliación sucesiva se hagan en el mismo material (K y S constantes en la fórmula de Maurer) y aplicando las condiciones mecánicas (N y W) óptimas en cada caso.

El cuadro de la hoja 20 presenta el cálculo de costos para diámetros de 20 a 61 cm, (8" a 24"), de 5 en 5 cm (2" en 2"), aplicando la relación anterior.

INCREMENTO DE COSTO POR PROFUNDIDAD.

Se ha convenido en considerar un valor promedio, único, para los rendimientos de perforación a profundidades hasta de 100m. Para los tramos de pozo comprendidos entre 100 y 200 m y entre 200 y 300 m se establecen coeficientes que, aplicados a los costos deducidos para el primer tramo 0 a 100 m, expresan los efectos por aumento de profundidad debidos a las siguientes causas:

- * Tiempos empleados en sacar la barrena, revisarla o cambiarla en su caso y volverla a introducir hasta el nivel de perforación; deben incluir los tiempos de acondicionamiento del pozo haciendo circular el fluido de perforación para extraer detritus tanto antes de sacar la barrena como antes de reiniciar la perforación.
- * Disminución del rendimiento, debida a incremento de la compacidad de las formaciones con la profundidad y a reducción de la eficiencia de operación de la máquina al manejar mayor peso de tubería consumiendo potencia extra.

Estos factores resultan equivalentes a una reducción global del rendimiento que expresada en aumento global del costo de perforación por metro, es como sigue:

C U A D R O 4

COEFICIENTES POR APLICAR A LOS COSTOS DE PERFORACION DEL TRAMO 0 A 100 M PARA TOMAR EN CUENTA LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE PROFUNDIDAD.

CLASIFICACION	P R O F U N D I D A D E S		
MATERIAL	0 a 100	100 a 200	200 a 300
I	1.00	1.05	1.10
II	1.00	1.08	1.17
III	1.00	1.13	1.28

Con estos coeficientes se han calculado las cifras que aparecen en el cuadro correspondiente (Hoja 20)

COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS EN LA ZONA CENTRAL

ICA MEXICANA. C.N.I.C. AGOSTO DE 1978.

COSTOS DE PERFORACION.

CUADRO 5

COSTOS UNITARIOS DE PERFORACION

PROFUNDIDAD DE 0 A 100 METROS DIAMETROS BASICOS

(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
PERFORACION RENDIMIENTO CUADRO 2 HOJAS 14-16	CARGO (3):(4)	HERRAMIENTA BARRINAS COSTO HORARIO Ap.VI	DE RENDIMIENTO	ATAQUE CARGO (6):(7)	AMPLIADORES COSTO HORARIO Ap.VI	RENDIMIENTO	CARGO (9):(10)	COSTO TOTAL (5)+(8)+(11) \$/m
m/h	\$/m	\$/h	m/h	\$/m	\$/h	m/h	\$/m	\$/m
2.96	470.81	201.34	2.83	71.14	- - -	- - -	- - -	541.95
2.20	633.45	245.49	1.60	153.43	- - -	- - -	- - -	786.88
1.17	1,191.11	245.49	1.60	153.43	89.96	2.11	42.63	1,387.17
0.77	1,809.87	245.49	1.60	153.43	86.69	0.99	87.56	2,050.86
1.50	929.06	256.25	1.32	194.12	- - -	- - -	- - -	1,123.18
1.10	1,266.90	306.86	0.75	409.14	- - -	- - -	- - -	1,676.04
0.59	2,362.03	306.86	0.75	409.14	133.38	0.95	140.40	2,911.57
0.41	3,399.02	306.86	0.75	409.14	109.34	0.45	242.97	4,051.13
0.96	1,451.66	313.20	0.68	460.58	- - -	- - -	- - -	1,912.24
0.58	2,402.75	377.68	0.39	968.41	- - -	- - -	- - -	3,371.16
0.32	4,355.00	377.68	0.39	968.41	169.85	0.51	333.03	5,656.44
0.22	6,334.54	377.68	0.39	968.41				
					Ampliación 30 a 46 cm (12 a 18 p.) 169.85	0.51	333.03	

COSTOS UNITARIOS DE PERFORACION (cifras redondeadas al \$ 1.00)
 PROFUNDIDADES DE 0 A 300 M. DIAMETROS DE 20 A 61 CM (8" A 24")

CUADRO 6

(1) CLASIFICACION	(2) D	(3) COSTOS DIAMETROS BASICOS	(4) $\frac{D_n}{D_b}$ (Ver Nota)	(5) $\frac{D_n}{D_b}$ 1.4	(6) COSTOS PROP. 0 a 100 m \$/m	(7) COSTOS UNITARIOS PROP. 100 a 200 m \$/m Ver Nota	(8) PROP. 200 a 300 m \$/m
MATERIAL	cm	\$/m					
I	20	542			542	(x1.05)	569
	25		1.25	1.366	740		777
	30	786			786		825
	36		1.168	1.243	977		1025
	41		1.332	1.494	1174		1232
	46	1387			1387		1456
	51		1.11	1.157	1604		1684
	56		1.22	1.321	1832		1923
	61	2050			2050		2152
II	20	1123			1123	(x1.08)	1212
	25		1.25	1.366	1534		1656
	30	1676			1676		1810
	36		1.168	1.243	2083		2249
	41		1.332	1.494	2504		2704
	46	2911			2911		3143
	51		1.11	1.157	3368		3637
	56		1.22	1.321	3845		4152
	61	4051			4051		4375
III	20	1912			1912	(x1.13)	2160
	25		1.25	1.366	2611		2950
	30	3371			3371		3809
	36		1.168	1.243	4190		4734
	41		1.332	1.494	5036		5690
	46	5656			5656		6391
	51		1.11	1.157	6543		7393
	56		1.22	1.321	7471		8442
	61	8005			8005		9045

Nota: (4) - D_n = Diámetro final; D_b = Diámetro básico próximo inferior. Sig. 14/12 = 1.168 y 16/12 = 1.332

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS

EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - ENERO DE 1973.

APENDICE I - SALARIOS REALES.

DIAS NO LABORABLES EN EL AÑO

Domingos	52
Descansos por ley	13 1/6 (1 Ene., 5 Feb., 21 Mar., 1 May., 16 Sep., 20 Nov., 1 Dic., c/6 años, 25 Dic., y -- 6 días de vacaciones).
Pérdidas por lluvia	4
	<u>69 1/6 Laborables: 295 5/6 = 295.83</u>

DIAS PAGADOS EN EL AÑO

Salario	365
Prima 25% sobre 6 días de vacaciones	1.5
aguinaldo	<u>15</u>
	381.5

Impuesto suplementario (antes "educación"): 1% sobre percepciones
Fondo Nacional de la Vivienda: 5% sobre percepciones.
Factor por aplicar al Salario Base para obtener el Salario Real: 1.06

$$\frac{\text{DIAS PAGADO}}{\text{DIAS TRABAJADOS}} \times 1.06 = \frac{381.5}{295.83} \times 1.06 = 1.37$$

El "Criterio de Interpretación de lo asentado en la Sección 4, para los efectos del punto 5.4.6 del Apartado 5 de la Sección 2, de las Bases y Normas Generales para la Contratación y Ejecución de Obras Públicas; en relación con el 5% señalado por el Artículo 136 de la Ley Federal del Trabajo" hace referencia a que algunas empresas, al participar en concursos para la ejecución de obras públicas han presentado proposiciones en las que agregan a los precios unitarios el importe del 5% aludido. Y dispone que en la integración y análisis de los citados precios unitarios no figure el 5% del importe de las percepciones de los trabajadores, que las empresas deben aportar al Fondo Nacional de la Vivienda. (Diario Oficial, 26 de octubre de 1972).

La Cámara ha expuesto ante los C.C. Secretarios de Obras Públicas y del Patrimonio Nacional y ante la Comisión Técnico Consultiva de Contratos y Obras Públicas los argumentos en que funda su criterio en el sentido de que esta aportación al Fondo Nacional de Vivienda para los Trabajadores constituye un costo directo y que, en consecuencia, debe formar parte del salario tal como lo define el Artículo 84 de la Ley Federal del Trabajo.

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS

EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978.

APÉNDICE J - SALARIOS REALES

(CONTINUACION)

Dado que el presente estudio no tiene el carácter de proposición para concurso sino que trata exclusivamente de llegar a la determinación de costos reales en trabajos de perforación de pozos, la Cámara, sin ánimo de contradicción procede según su criterio antes mencionado e integra el 5% del Fondo Nacional de la Vivienda como una erogación efectiva que forma parte del salario real.

<u>SALARIOS REALES</u>	(1) SALARIO BASE (\$/dfa)	(2) SALARIO REAL 1.37 x (1) (\$/dfa)
Cabo de perforación	300.00	411.00
Perforador	180.00	246.60
Ayudante perforador de 1a.(chango)	120.00	164.40
Ayudante de piso	100.00	137.00
Soldador	180.00	246.60
Mecánico de equipo de perforación	180.00	246.60
Chofer	150.00	205.50
Mecánico compresorista	150.00	205.50
Compresorista de 1a.	150.00	205.50
Compresorista de 2a.	120.00	164.40
Cabo maniobrista	150.00	205.50
Tubero de pozo	120.00	164.40
Aforador de pozo	150.00	205.50
Ayudante de aforador de pozo	120.00	164.40
Bombero	100.00	137.00

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS

EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - ENERO DE 1973.

APENDICE II - SALARIO POR CUADRILLAS Y SEGURO SOCIAL

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Apéndice I	Seguro Social 0.159375(1)	Horas trabajo por año Apéndice III Col. (2)	Cargo Horario total Apéndice I 295.83((1)+(2))
CUADRILLAS	\$/día	\$/día	h/año	(3) \$/h

A) Para operación de equipo de perforación mod. 2000

1/3 Cabo de perforación	1/3x411.00=	137.00		
1 Perforador		246.60		
1 "Chango"		164.40		
2 Ayudantes de piso	2x 137.00=	274.00		
1/3 soldador	1/3x246.60=	82.20		
SUMA:		904.20	144.10	2000
				155.05

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978 - APENDICE III - CARGOS FIJOS DE EQUIPOS.

EQUIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	VIDA AÑOS	UTIL h/AÑO	CARGOS DEPREC. % DEL VALOR	FIJOS REPARAC. MAYORES DEL VALOR	FIJOS INT. ALM. SEG. IMP.	POR AÑO SUMA DEPRECIAR	CARGOS FIJOS POR HORA (6) : (2)
Equipo de Perforación Modelo 2000 ó similar							
a) Básico	7	2000	14	10	10.5	34.5	0.01725
b) Complementario:							
1/3 Soldador eléctrico 300 A	5	2000	20	15	12	47	0.0235
Equipo soldadura autógena	4	2000	25	20	12	57	0.0285
Planta luz 5 MW Diesel	10	2000	10	10	12	32	0.0160

ACCION DE POZOS EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

IV - CONSUMOS DE EQUIPOS

(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
OPERACION	COMBUSTIBLES		ACEITES		TOTAL CONSUMO	CARTER	TOTAL	TOTAL	TOTAL
HP.	DIESEL	GASOLINA								Cap./100h	(8)+(9)	15.00(10)
	0.1514(2)	\$0.70(3)	0.227(2)	\$3.00(5)	(4)+(6)	0.0031(2)		(8)+(9)	15.00(10)
	1/h	\$/h	1/h	\$/h	\$/h	1/h	1/h	1/h	\$/h
91	13.78	9.64	--	--	9.64	0.28	0.40	0.68	10.20
117	17.71	12.39	--	--	12.39	0.36	0.53	0.89	13.55
18	---	---	4.09	12.27	12.27	0.06	0.06	0.12	1.80
6	0.91	0.63	--	--	0.63	0.02	0.04	0.06	0.90

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.H.I.C. - AGOSTO DE 1973 - APENDICE IV - CONSUMOS DE EQUIPOS. (CONTINUACION)

EQUIPO	(12) VARIOS (Estopa, grasas, etc.) \$/h	(13) MEDIDAS	(14) L L A N T A S NUMERO pzas.	(15) IMPORTE TOTAL \$	(16) VIDA UTIL h	(17) CARGO HORARIO (15):(16) \$/h	(18) TOTAL CONSUMOS (7)+(11)+(12)+(17) \$/h	
Equipo de perforación 100. 2000 ó similar								
a) Básico								
a.1) Malacate y rotaria	6.00	10 x 20	19	60,000.00	3000	20.00	45.84	
a.2) Bomba de lodos	---		--		---	---	<u>25.74</u>	71.58
b) Complementario								
1/3 Soldadura eléctrica 300 A	---		--		---	---	14.07	
Planta de Luz 5 KW Diesel	---		--		---	---	1.53	

TRUCCION DE POZOS EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

E V - COSTOS HORARIOS DE EQUIPOS

	(2) LLANTAS	(3) VALOR POR DEPRECIAR 0.9{(1)-(2)}	(4) AP. III Col. (7)	(5) (4)(3)	(6) CONSUMOS AP. IV Col. (18)	(7) MANO DE OBRA AP. II	(8) COSTO MA QUINARIA TRABAJANDO (5)+(6)+(7)	(9) REPARACIONES MAYORES AP. III Col. (4)(9)x(3) Col. (2)Ap. III	(10)	(11) COSTO QUINA PARAD. (8)-(9)
	\$	\$	%	\$/h	\$/h	\$/h	\$/h	%	\$/h	\$/h
00	60,000.00	6'246,000.00	0.01725	1077.43	71.58	155.05	1304.06	10	312.30	
00	- - - - -	185,400.00	0.0235	43.57	14.07	Incl.	57.64	15	13.90	
00	- - - - -	12,000.00	0.0285	3.42	- - -	em: eq.	3.42	20	1.20	
00	- - - - -	45,000.00	0.0160	7.20	1.53	básico	8.73	10	2.25	
					<u>87.18</u>		<u>1373.85</u>		<u>329.65</u>	957.0

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE POZOS EN LA ZONA CENTRAL DE LA REPUBLICA MEXICANA

C.N.I.C. - AGOSTO DE 1978 - APENDICE VI - COSTOS HORARIOS DE HERRAMIENTAS DE ATAQUE

HERRAMIENTA	COTIZACION	MATERIAL I		MATERIAL II		MATERIAL III	
		Vida Util	Cargo	Vida Util	Cargo	Vida Util	Cargo
	\$	h	\$/h	h	\$/h	h	\$/h
Barrena Ø 20.32 cm (8")	14,094.00	70	201.34	55	256.25	45	313.20
Barrena Ø 24.13 (9 1/2")	17,181.80	80	214.77	65	264.33	55	312.39
Barrena Ø 30.48 cm (12")	24,549.20	100	245.49	80	306.86	65	377.68
Ampliador Ø 45.72 cm (18")							
Cuerpo	37,425.00	4,000	9.35	3,000	12.47	2,000	18.71
Cortadores	24,183.00	300	80.61	200	120.91	160	151.14
			<u>89.96</u>		<u>133.38</u>		<u>169.85</u>
Ampliador Ø 60.96 (24")							
Cuerpo	46,700.00	4,000	11.67	3,000	15.56	2,000	23.35
Cortadores	37,513.00	500	75.02	400	93.78	250	150.05
			<u>86.69</u>		<u>109.34</u>		<u>173.40</u>
			TODOS	MATERIALES			
			Vida Util		Cargo		
	\$		h		\$/h		
Combinaciones (1 Juego 8)	24,000.00		2,000		12.00		
Cable (150 Ø 19 mm)			1,000		6.00		
Grasas					<u>1.75</u>		
					<u>19.75</u>		

PERFORADORA ROTATORIA PARA PERFORAR A 300 M.
DE PROFUNDIDAD CON 60,000 LIBRAS DE LEVANTE,
PORTATIL, MONTADA SOBRE CAMION.

Marzo de 1978

	U.S.	M.N.
PERFORADORA PORTADRILL		
TKT CONTRACTOR MONTADA SOBRE CAMION CON BOMBA DE Lodos	270,403.00	
BARRAS DE PERFORACION , 300 M	27,293.50	
MASTRABARRENAS, 18 M x 7 1/4"	8,452.00	
SUBSTITUTOS, 6	3,096.90	
	<u>309,245.40</u> US.	<u>7'060,072.43</u> MN.
LLANTAS, 10		60,000.00
		<u>7'000,072.43</u> MN.

PRECIOS - BARRENAS
" P U B L I C O "

En vigor a partir del 1º de Agosto de 1978

TIPO JET

MEDIDA:

5 5/8"	\$ 10,545.00
6"	11,355.00
6 1/2"	12,320.00
8 1/2"	15,404.00
9 1/2"	18,451.00
12 1/4"	26,231.00
14 3/4"	41,845.00

CONDICIONES DE VENTA ACTUALES:

Menos 2% descuento por pago a 15 días, fecha de factura

Neto a 30 días.

Más el 4% de I.S.I.M.

Financiamiento: 1.5% mensual después del 31vo. día;

Máximo: 90 días

Precios sujetos a cambio sin previo aviso

Vigencia de cotizaciones: 30 días

L. A. B. Nuestra Planta

TF DE MEXICO, S. A.

OFICINAS:
 AV. FERROCARRIL 98 PISO MEXICO 6, D.F.
 TEL. 575-45-80 Cbx 10 LINEAS
 TELEF. 017-73-155

CABLE: TEFEMEX 017-73-155
 CED. DE EMP. 261530
 REG. FED. DE CAUSANTES TME-690528-002
 REG. CAMARA NAL. IND. HIERRO Y ACERO NO. 156
 REG. SECRETARIA DEL PATRIMONIO NACIONAL NO. 23632
 CLAVE PROVEEDOR 101-T-169

PLANTA B1
 MEXICO 7, D.F.
 AV. FERROCARRIL 98 EDL. MOCTEZUMA 24 SIG.
 VERACRUZ, VER.
 APARTADO POSTAL 574 TEL. 3-11-00

LA OLMECA, S.A.
 CULIADAN N° 123-1006
 MEXICO 11, D.F.

PARCIAL

COPIA 20/25
FACTURA

TRANSPORTE T.A.M. S.A. TALON
 11272.

REEXPEDIR A:
 LA OLMECA, S. A.
 BELISARIO DOMINGUEZ No. 113
 COYOACAN, MEXICO, D.F.

SU PEDIDO 972 OF-5952 REG.-8114-XI-7 NUESTRA REFERENCIA FEB-28-78 FECHA

PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1	BARRINAS TRICONICAS DE PERFORACION DE 8 1/2" D.E. TIPO OSC-IGJ. N°S. SERIE: 8637 AL 8643. 4% IMP.S/ING. MERC.	7	\$13,552.00	94,854.00
				3,795.00
			TOTAL:	\$ 98,659.00
				=====

(NOVENA Y OCHO MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y NUEVE PESOS 00/100 M.N.)

TF DE MEXICO, S. A.

OFICINA:
AV. FERROCARRIL 98, MEXICO 9, D.F.
TEL.: 542-4110, CON 10 LINEAS

CABLE: TELEMEX 017-73-03
CED. DE EMP. 261538
REG. FED. DE CAUSANTES IME-690528-002
REG. CAMARA NAL. IND. HIERRO Y ACERO NO: 156
REG. SECRETARIA DEL PATRIMONIO NACIONAL NO: 23633
CLAVE PROVEEDOR 101-T-167

PLANTA: VERACRUZ, V.
APARTADO POSTAL 52
3-11-00
3-12-00
3-13-10

11729
FACTURA B N° 11729

LA OLMECA, S.A.
CULIACAN No. 123-1005
MEXICO 11, D.F.

POR LOS MATERIALES EMBARCADOS HOY POR MEDIO DE

Transp.: C. VALENCIA

Telón No.: 2954

REEXPEDIR A:

LA OLMECA, S.A.

BELISARIO DOMINGUEZ No. 113

COYOACAN, MEXICO, D.F.

SU PEDIDO

NUESTRA REFERENCIA

FECHA

972

CF. 5355 REG. 8114 -XI-7

Julio 15^a 1976

PAR- TIDA	D E S C R I P C I O N	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORT
5	Entreros tricotados de perforación de 9 1/2" tipo URSA corto (No. 6323, 6321, 6347, 6352 y 7915. 69 74 74 CC A/2000 4%	5	\$16,521.00	\$ 82,605.00
			IMP. S/ING. MERC.	3,304.00
			TOTAL:	\$ 85,909.00
(OCHENTA Y CINCO MIL NOVECIENTOS NUEVE PESOS 00/100 M.N.)				
		51,545.00		
		34,363.00		

SULLAIR DE LATINOAMERICA CORP.

9300 SOUTH DADELAND BOULEVARD • SUITE 103 • MIAMI, FLORIDA 33156

305-665-3603
TELEX - 515630
CABLE - SULAAMERICA

Página 6

4. BROCAS Y RIMAS

Precio Unitario
U.S. Dollars

A. Brocas para martillo A53-15 con insertos de carburo de Tungsteno

Medida

6 1/8"		\$ 644.00
6 1/2"		693.00
7"		804.00
8"		912.00

B. Brocas Tricónicas para formaciones suaves y medias tipo de dientes

Medida

REG API

7 7/8"	4 1/2"	454.00
9"	4 1/2"	500.00
11"	6 5/8"	696.00
12 1/4"	6 5/8"	847.00

C. Brocas Tricónicas para formaciones medias y duras tipo insertos de carburo de Tungsteno

Medida

REG API

7 7/8"	4 1/2"	1,636.00
9"	4 1/2"	1,843.00
11"	6 5/8"	2,387.00
12 1/4"	6 5/8"	3,120.00

D. Rimas para ampliar, tipo de dientes, para materiales suaves y duros

Medida

Perforación
Piloto Mínima

REG API/Box
Medida

U.S. 72-85 x 1.30

15" - 17"	9" - 11"	6 5/8" API/6 5/8" Box	2,074.00	84,213.60
19 1/4" - 20"	13 3/4"	6 5/8" API/6 5/8" Box	2,730.00	
20 1/4" - 23 1/2"	15"	6 5/8" API/6 5/8" Box	2,835.00	



SULLAIR DE LATINOAMERICA CORP.

00 SOUTH DADELAND BOULEVARD • SUITE 103 • MIAMI, FLORIDA 33156

305/665-3503
TELEX: 515630
CABLE: SULAMERICA

Agosto 19, 1977

LA OMEGA S.A.
Ing. Pedro de Lara
Culiacán 123-1006,
México 11, D.F.

REF: 23-6034/MEX

Estimado Ing. de Lara:

Por medio de la presente nos es grato someter a su consideración nuestra cotización por una máquina perforadora para pozos de agua, marca Driltech, modelo D40K, además de la máquina básica le estamos anexando el equipo necesario para perforar tanto con el sistema rotario como con el sistema martillo en fondo, también todos los accesorios necesarios para la operación.

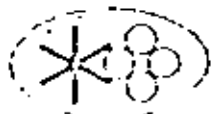
Agradeciéndole de antemano la atención prestada por ustedes y en espera de sus noticias, nos despedimos.

Atentamente,

SULLAIR DE LATINOAMERICA CORP.

Ing. Ricardo Moreno
Gerente de Area

RM/ml
(adj.)



SULLAIR DE LATINOAMERICA CORP.

9300 SOUTH DADELAND BOULEVARD • SUITE 103 • MIAMI, FLORIDA 3315

305-665-360
TELEX: 51503
CABLE: SULLAMERIC

1. INFORMACION GENERAL

1.1 - GENERALIDADES: La perforadora Driltech, modelo D40K, está diseñada para poder utilizarse en condiciones y lugares de difícil acceso. La unidad está montada sobre un camión específicamente diseñado para el propósito de la máquina.

1.2 - MASTIL: Construcción es totalmente de acero por medio de unidades tubulares, rectangulares y ángulos soldados eléctricamente. El pivote del mástil es un muñón colocado a 4'6" sobre la plataforma de la máquina. La torre se eleva por medio de cilindros hidráulicos de alta presión equipados internamente con válvulas, check de seguridad para evitar que el mástil se caiga en caso de la rotura de una manguera hidráulica durante la transición de la horizontal a la vertical y además posee seguros mecánicos para mantener el mástil en una posición vertical con plena seguridad. Todos los controles para el movimiento del mástil están localizados en el tablero central.

1.3 - SISTEMA DE ROTACION: El sistema de rotación es completamente hidráulico y posee control completo de rotación infinita de 0 a 200 RPM con pares de torsión máximos de tal manera que el operador puede seleccionar la velocidad óptima de la broca para el tipo de formación geológica que esté perforando. La cabeza de rotación es accionada por un motor hidráulico axial tipo pistón cuya transferencia de potencia se realiza a través de engranajes tipo pesado. Los rodamientos son Timken tipo cónico para recibir adecuadamente las cargas axiales, así alargando la vida del equipo. Los rodamientos del mandril principal son sellados por ambos lados. El diseño de la toma de aire en la parte superior del mandril es de tipo gancho giratorio.

RANGO DE ROTACION

Standard 0-100 RPM con un par de torsión de 53000 in-lbs.
Opcional 0-130 RPM con un par de torsión de 40600 in-lbs.
Opcional 0-150 RPM con un par de torsión de 35500 in-lbs.
Opcional 0-200 RPM con un par de torsión de 27000 in-lbs.

1.4 - ALIMENTACION: La alimentación vertical se efectúa por medio de dos cadenas tipo rodillo, alta dureza, para uso pesado, que están conectadas a ambos lados del cabezal de rotación, el cual a su vez está sujeto a dos guías deslizables. Las cadenas están accionadas por dos cilindros hidráulicos con una relación reductora de 2:1. La velocidad de alimentación es de 0 a 100 pies por minuto. El sistema puede aplicar una presión sobre la broca hasta 40,000 lbs.



SULLAIR DE LATINOAMERICA CORP.

SOUTH DADELAND BOULEVARD • SUITE 103 • MIAMI, FLORIDA 33156

305/665-3603
TELEX: 515630
CABLE: SULAMERICA

Página 2

- 1.5 - SISTEMA CAMBIA-BARRAS: El sistema para agregar y quitar barras es compuesto por dos colocadores accionados hidráulicamente, uno localizado dentro del mástil (opcional) y el otro localizado externamente dando así al operador una capacidad de 12 barras, o sea, 300' de perforación sin necesidad de equipo de transporte adicional. Se provee además un sistema hidráulico para el desacoplamiento de las barras, el cual es controlado directamente desde el panel de controles de la máquina.
- 1.6 - POTENCIA MOTRIZ: La potencia motriz consiste de un motor Diesel Caterpillar, modelo 3406, otorgando 310 HP a 2000 RPM.
- 1.7 - SISTEMA HIDRAULICO: El sistema hidráulico consiste de 3 bombas a través de un engranaje reductor directamente acoplado al eje de la toma fuerza del motor. Las bombas hidráulicas son una axial tipo pistón de volumen variable, otra axial tipo pistón volumen constante y la otra es una bomba doble tipo rotativo que proveen la potencia hidráulica necesaria para operar la perforadora. La capacidad combinada de los tanques en la succión y retorno proveen una reserva de 185 galones. Los tanques están equipados con un respirador presurizado, filtros de alivio de alta presión para protección de las bombas. El diseño del sistema de dos tanques con su gran capacidad ofrece un amplio enfriamiento del aceite hidráulico para todas las condiciones de operación sin necesidad de un sistema adicional para enfriamiento del aceite.
- 1.8 - CONTROLES: Los controles están agrupados convenientemente en una caja de acero protegida contra el medio ambiente, con tapas laterales bisagradas para el acceso fácil de todas las conexiones hidráulicas del tablero. El grupo de controles está localizado de tal manera que el cabezal de rotación, la barra y la pesa de la máquina son completamente visibles desde el puesto de operación. El operador y los controles están protegidos contra el medio ambiente por medio de una plancha de acero que se extiende sobre el puesto de operación.



SULLAIR DE LATINOAMERICA CORP.

00 SOUTH DADELAND BOULEVARD • SUITE 103 • MIAMI, FLORIDA 331

305/665-3603
TELEX: 515630
CABLE: SULAMERICA

Página 3

2. ESPECIFICACIONES

- 2.1 - PESO SOBRE LA BROCA: Variable hasta 40,000 lbs.
- 2.2 - ROTACION: 0 a 200 RPM.
- 2.3 - PAR DE TORSION: Variable hasta 53,000 in-lbs.
- 2.4 - GATOS PARA NIVELACION: Cantidad (3) con carrera de 48", tipo hidráulico, con válvulas check de seguridad; colocados dos atrás y uno en la parte delantera.
- 2.5 - MONTAJE: La máquina perforadora viene montada sobre un camión especialmente diseñado por la Crane-Carrier, modelo DR-1564, con una capacidad en los ejes: delantero - 18,000 lbs. trasero - 44,000 lbs.
- 2.6 - PROPULSION: Motor Diesel Caterpillar modelo 3208 desarrollado 210 HP a 2,800 RPM.
- 2.7 - COMPRESOR: Sullair de 750 CFM a 250 PSI tipo tornillo, dos etapas, inundado en aceite tipo uso pesado para trabajar 24 horas continuas. 2 años de garantía.
- 2.8 - DIMENSIONES: Con el mástil en posición horizontal:
 Largo: 33'7"
 Ancho: 9'0"
 Alto: 12'7"
 Con el mástil en posición vertical:
 Largo: 20'10"
 Ancho: 8'0"
 Alto: 35' - 4 1/2"
- 2.9 - VELOCIDAD DE TRANSPORTE: Máxima: 48.0 millas por hora.
Pendiente Máxima: 36.85% a 2.67 mph.
- 2.10 - SISTEMA HIDRAULICO: Bombas: 3
Tanque: Capacidad 185 galones
- 2.11 - MALACATE AUXILIAR: Tipo Hidráulico: Capacidad 6000 lbs., incluye 100 pies de cable.



SULLAIR DE LATINOAMERICA CORP.

SOUTH DADELAND BOULEVARD • SUITE 103 • MIAMI, FLORIDA 33156

305/665-3603
TELEX: 515670
CABLE: SULAMERICA

Página 4

3. PRECIOS

Precios Unitarios
U.S. Dollars

PERFORADORA DRILTECH MONTADA EN CAMION PARA PERFORAR POZOS DE AGUA, MODELO D40K, CON EL SIGUIENTE EQUIPO ESTANDAR:

\$ 207,449.00

- Camión marca Crane Carrier, modelo
- Motor Diesel Caterpillar, modelo 3208
- Motor Diesel Caterpillar, modelo 3406
- Sistema hidráulico con 3 bombas
- Compresor Sullair de 750 PCM a 250 lbs./plgd.²
- Cargador Externo
- Mesa retroactiva

A. Accesorios Generales

- 1 - Lubricador de Línea \$ 919.00
- 1 - Silenciador motor Caterpillar 3406 \$ 551.00
- 1 - Sistema de Luces \$ 730.00
- 1 - Cargador Interno \$ 5,539.00
- 1 - Tanque Adicional de Diesel (70 galones) \$ 305.00
- 1 - Sistema de inyección de agua (sin tanque) \$ 1,391.00
- 1 - Kit lavador - tiene que contar con el sistema de inyección \$ 105.00
- 1 - Tanque de 100 galones para agua \$ 567.00

B. Accesorios Para Perforación Con Rotación

- 1 - Sistema de Bombas (dos 6" X 5") \$ 11,708.00
- 1 - Kit de Perforación para Barras de 4 1/2" ó 5" O.D. \$ 1,155.00

Substituto Superior
Substituto para Brocas
Buje de Mesa
Asa de Levante

230,419.00

- 1 - Tubería de perforación de 4 1/2" O.D., rosca API tramos de 25 pies, para servicio pesado *40 tramos (300m)* \$ 725.00
- 1 - Tubería de perforación de 5" O.D., rosca API tramos de 25 pies, para servicio pesado *4 x 893.00* \$ 893.00
- 1 - Pescador para brocas de 6 1/4" - 6 3/4" para ser usado en barras de 4 1/2" ó 5" \$ 221.00
- 1 - Pescador para brocas de 7 3/8" X 7 7/8" para ser usado en barras de 5" \$ 252.00

29,000.00
5,572.00
262,991.00



SULLAIR DE LATINOAMERICA CORP.

00 SOUTH DADELAND BOULEVARD • SUITE 103 • MIAMI, FLORIDA 331

305/665-3603
TELEX: 515630
CABLE: SULAMERICA

Página 5

Precios Unitarios
U.S. Dollars

1 - Substituto para Brocas 3 1/2" API X 4 1/2" API/BOX	\$	550.00
1 - Substituto para Brocas 3 1/2" API X 6 5/8" API/BOX	\$	660.00
C: <u>Accesorios Para Perforación Con Percusión (Martillo)</u>		
1 - Martillo neumático marca "Mission" modelo Megadrill A53-15 para perforar de 6" a 8 1/2"	\$	5,040.00
1 - Llave tipo Petrol con cadena para martillo	\$	824.00
1 - Llave para barras tipo "J"	\$	168.00
1 - Colector de Polvos Rotoclon	\$	6,248.00
1 - Kit de perforación para el sistema de percusión en barras de 4 1/2" y 5" incluye:	\$	1,890.00
Substituto Superior		
Buje de Mesa (Dividido)		
Buje de Mesa		
Substituto de Martillo		
Asa de Levante		
1 - Tubería de perforación de 4 1/2" de O.D. rosca API tramos de 20 pies para el arranque con martillo	\$	677.00
1 - Tubería de perforación de 5" de O.D. rosca API tramos de 20 pies para el arranque con martillo.	\$	814.00

TIEMPO DE ENTREGA: 12 a 16 semanas

LUGAR: LAB. FABRICA

CONDICIONES DE PAGO: A convenir

PRECIOS SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO



tractores y maquinaria del centro, s.a.

CÁIZ GONZALEZ GALLO No. 1335 TEL. 35-92-57
GUADALAJARA, JALISCO, MEXICO

TRACBA

EXP: 432
OPS: 80226490

Abril 6, 1978.

LA OLMECA, S. A.
Culiacan No. 123, 1006
México 11, D. F.

AT'N. ING. ALFREDO BERLANGA

Muy Señores Nuestros:

Por medio de la presente nos es grato presentar a su atenta consideración nuestra siguiente cotización de Perforadora de Pozos profundos marca Speedstar Modelo SS-25 II montada sobre camión con las siguientes capacidades:

Con tubería de 2 3/8" - 1,368 mts., con tubería de 2 7/8" - 1,067 mts., con tubería de 3 1/2" - 762 mts., con tubería de 4 1/2" - 610 mts.

Motor marca General Motors Modelo 4-71, Diesel, 117 HP, a 1800 RPM, Equipado con filtros para combustible, filtro de aceite, filtro para aire, sistema eléctrico de 12 volts, silenciador, compresor de aire, radiador de gran capacidad para enfriamiento, regulador de velocidad variable, horometro y sistema automático de parada por baja presión de aceite o alta temperatura de agua.

Transmisión automática, convertidor de par, para servicio pesado; con (5) velocidades, acoplado directamente al motor.

Caja de transferencia, sistema de engranajes para transmisión de potencia a la cadena que impulsa el malacate. Construcción en baño de aceite con engranajes tratados termicamente y montados sobre rodamientos de bolas y de rodillos. El accionamiento de la mesa rotatoria se realiza por medio de flecha montada sobre la caja.

Malacate de TRIPLE TAMBOR, tipo servicio pesado cada tambor equipado con (2) frenos de (2) ban-

SIN COMPRESOR

das y embragues de 18" y 2 discos. El tambor de cuchareo (Sand Line) esta equipado con freno de una banda y embrague neumático de 14" y un disco. Los ejes de los tambores estan montados sobre rodamientos anti-fricción. Los dos tambores principales estan equipados con repartidores de cable Lebus.

Tambor para barra Kelly y tambor de levante.

Diámetro 15" P.D.

Largo 15 1/4"

Tirón -Tambor vacio 18,000 lbs.

Frenos 8" ancho x 26" diámetro.

Area neta de contacto - 11,500" cuad.

Embrague 2 Discos, 18" neumático.

Capacidad de cable - 795 ft. línea de 3/4"

Tambor de cuchareo:

Diámetro 7 1/2"

Largo 23 1/2"

Tirón-Tambor vacio - 7,000 Lbs.

Freno 6" ancho x 22" diámetro

Área contacto 360 Pulgadas cuad.

Embrague 14", neumático, 1 disco.

Capacidad de cable 2262 ft. línea de 1/2".

Cabrestantes. (2) cabrestantes neumáticos, montados sobre el eje del malacate de cuchareo. - Uno para aflojar tubería y otro para giro. Rodillos apropiados para guiar las cadenas de giro.

Mesa Rotatoria. Tipo cerrado en baño de aceite engranajes en aspiral, accionada por medio de barra de torsión tipo acople universal y un embrague de dos discos de 11" de diámetro. La mesa tiene una abertura de 18" con el buje maestro removido. Puede colgarse hacia adelante para proveer abertura de 27". El buje maestro es de conicidad standard API.

Mástil. Altura de 60' sobre la mesa rotaria, capacidad de 72,000 libras en el gancho, máxima capacidad de 140,000 lbs. El mástil se levanta o baja por medio de cilindros hidráulicos de doble acción equipados con cheques de seguridad equipados con escalera y guías acanaladas que sirven de pistas para el recorrido del gancho giratorio (swivel)

"Block de Corona" Construida de acero estructural soldado electricamente. Equipado con poleas tipo anti-fricción, con capacidad para acomodar bloques viajeros de doble polea con línea indicadora de peso, poleas para cable de cuchareo y poleas para líneas de cabrestante. Las poleas principales en la corona son de 24" de diámetro. Las poleas múltiples son de 18" de diámetro.

Canastilla para almacenar tubería.

Tipo abatible con las siguientes capacidades:

2,000' - Tubería de 4 1/2" 600 m

2,500' - Tubería de 3 1/2"

3,500' - Tubería de 2 7/8"

4,500' - Tubería de 2 3/8"

Estructura. Esta integrada directamente al chasis del camión. Construida con acero estructuras reforzado y soldado electricamente. La plataforma esta cubierta con placa de acero revestida para ofrecer superficie anti-deslizante. Plataforma de paso abisagrada y escalera estan integradas.

Controles. Agrupados en una consola al lado izquierdo de la máquina. Incluye tablero de instrumentos. Colocados para permitir una operación conveniente.

GATOS DE NIVELACION.

Total de (4) - (2) de 18" en la parte posterior y (2) de 48" al frente. Estan equipados con tubos estabilizadores, Base con gancho giratorio tipo bola y válvulas cheques automáticas para prevenir fugas. La máquina también tiene (2) gatos tipo tornillo, de gran capacidad.

Caja de herramientas. (2) cajas de gran capacidad integrados al chasis de la máquina. Una de cada lado.

Tanque de combustible.

Nota: Ver especificaciones del camión.

Plataforma para tubería

Plataforma con bisagras, tipo removible,

Montada en la parte posterior de la perforadora.

Equipado con gatos de tornillo. Cubierta con maderos para parar la tubería.

Toma-Fuerza. Speedstar, tipo cadena plena torsión, sumergida en aceite, con cadena de 6 hilos paso de 3/4" tipo rodillos con polea loca eléctrica para ajuste. Unidad montada sobre la línea de potencia para transmitir fuerza del motor del camión a la bomba de lodo.

Color.

Perforadora - Color arena

Cabina - " "

Mástil - Negro
Chasis - Negro

Equipo de norma para operación.

- 1- Gancho giratorio (Swivel) 3" con rodillos guía.
- 1- Manguera para gancho (Swivel) 3"x7' alta presión
- 1- Barra "Kelly" 5 1/4" diam. x 38' con 3 ranuras.
- 1- Buje para "Kelly"
- 1- Cuña para Kelly
- 1- Substituto de "kelly" a gancho (swivel)
- 1 Cable de 3/4" x 350' (Línea "Kelly")
- 1 Cable de 3/4" x 350' (línea levante)
- 1 Cable de 7/16" x 2850' (línea de cucharéo)
- 1- Bloque viajero de doble polea de 17", 40 toneladas de capacidad (línea Kelly)
- 1- Bloque viajero de doble polea de 17", 40 toneladas de capacidad (línea levante)
- 1- Gancho giratorio (Swivel) para línea de cucharéo con cierre de seguridad, capacidad de 5 toneladas.
- 1- Indicador de peso, capacidad de 100,000 lbs.
- 1- Cadena del cabrestante para girar tubería.
- 2 Tenazas para aflojar tubería., 2 3/8" x 7" de diámetro, con contrapeso para balancear.
- 2- Madera creosotada, tramos 4"x12" x 10'
- 2- " " " 4"x12" x 12'
- 2- " " " 4"x12" x 6'
- 1- Cinturón de seguridad para subir escalera, tipo doble cierre.
- 1- Caja de herramienta conteniendo, cinceles, punzones, pinzas, martillo, llaves de copa, llaves de Boca fija, pistola de engraje y aceitera.

Bomba de Lodo. Marca Gardner-Denver Modelo FY-FXD, 7 1/2"x10" accionada por toma-fuerza, mediante embrague neumático de dos discos de 11" y banda en "V". Capacidad de 487 galones por minuto a 65 golpes por minuto y una presión de 255 libras por pulgada cuadrada-máxima. Bomba equipada con lubricador para varillas de piston, válvula de seguridad, manómetro de presión tipo Cameron, manguera para succión de 6" x 25' completa con coladera y acople, cámara amortiguadora, válvula para mezcla de lodo, línea de 3" para la descarga.

Cilindro Hidráulico. Para aflojar tubería. Piston accionado hidráulicamente para apretar o aflojar tubería, completo con cable, rodillos y guías, control para ajustar presión, y manómetro de presión.

Planta de Luz Modelo 6. ODJB-3CR, generador eléctrico de 6,000 vatios, una fase, 60 ciclos, cuatro líneas

TRACSA

120/240 volts., A.C., accionada por motor Diesel ONAN Modelo DJB, 4 ciclos, 2 cilindros, 11.8 HP. a 1800 RPM., Máquina equipada con caja de fusibles, 2 salidas auxiliares, 11 lámparas a prueba de vapor, 100 volts. c/u.

NOTA: Unidad no incluye sistema hidráulico de alimentación forzada. Este equipo es opcional.

CAMION. Marca Crane Carrier, 8x4, No. 80P5012, - equipado con motor GMC 8V71C, 318 HP. a 2100 RPM transmisión Fuller RT09513 de 13 velocidades, eje delantero Tandem de 39,500 lbs., eje trasero de 50,000 lbs., (4) llantas delanteras, 16.5x22.5 - 16 lonas, (8) llantas posteriores 11.00x20 - 14 - lonas, llantas para utilizar dentro o fuera de - carretera. Estructura de viga H, 16"x58 lbs., sistema eléctrico de 12 volts., dirección hidráulica frenos de aire, espejos tipo camión, alarma para baja presión de aceite, cabina decentrada tipo - plena visión para un hombre, luces de norma, calentador y descarchador, limpiadores operados por aire, manómetros de norma, tacómetro, horómetro, bocina de aire, y doble tanque de combustible con capacidad de 100 galones.

PRECIO L.A.B. FABRICA ENID?, OKLAHOMA, EU.A. \$319,243.00

Embarque, sujeto a previa venta, Mayo 1978.

Condiciones de Pago. Se fijarán al formalizar operaciones.

Sin más por el momento y en espera de sus preciables órdenes nos repetimos sus Attos. y Ss. S.

~~A E. C. N. I. A. M. E. N. J. E.~~

TRACTORES Y MAQUINARIA DEL CENTRO, S. A.
ING. OSCAR LOZOYA D.

PORTADRILL

inc.

2201 Blake St. • Denver, Colorado 80205
Telephone: 303/623-6231 • Telex: 4-5761

PROPOSAL NO 70726-599

PAGE 1 OF 2
August 2, 1977

L.A. OLMECA, S.A.
CULIACAN 123-1006
MEXICO 11, D.F. MEXICO

QTY	DESCRIPTION	UNIT PRICE	TOTAL
2	PORTADRILL Model TKT/1 "Contractor" as per technical data sheet TKT-03077 (formerly 04025) with the following changes: <ul style="list-style-type: none">• Add 1500 ft. 3/8" Sand Line• 4-1/2" x 24 ft. kelly.• Delete Stabbing Board and pipe rack. MOUNTED ON International Harvester Model F-5070 truck powered by GM 8V71T Detroit Diesel engine, 10-speed main transmission, full torque power take-off, 18 - 22.5 20 Ply front tires, 11.00 x 22 12 ply rear tires with on/off highway tread 20,000 lb. front axle, 44,000 lb. rear axle, power steering and air brakes.		
	RIG AND TRUCK FOB DENVER, COLORADO	\$237,660.00	\$475,320.00
2	7-1/4 x 10 FY-FXD Gardner Denver skid mounted mud pump complete with 25 feet of 6" suction hose with screen, 2-1/2" discharge line and hose, shear relief valve, surge chamber and pressure gauge powered by GM 4-71 Detroit Diesel engine with v-belt drive.		
	PUMP - FOB DENVER, COLORADO	\$ 38,395.00	\$ 76,790.00
	LIST OF ACCESSORIES (attached)	<u>US 276,055.00</u>	
	SUB TOTAL		\$ 83,953.60
	TOTAL FOB DENVER, COLORADO		\$636,063.60
	Inland Freight		4,350.00
	TOTAL FOB U.S. BORDER		\$640,413.60

Continued - Page 2

PROPOSAL

PROPOSAL NO. 70726-599

PAGE 2 OF 2

SHIPPING INFORMATION (per unit)

DRILL AND TRUCK - 45000 GROSS POUNDS
ACCESSORIES - 15700 GROSS POUNDS

PRICES VALID TO SEPTEMBER 1, 1977

DELIVERY - MARCH, 1978

TERMS - Letter of Credit or Financing to be arranged.

PORTADRILL, INC.


Y. Wylie Martin
International Sales





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
COMPLEMENTO

ING. JOSE LUIS SANCHEZ LAZCANO

JUNIO, 1979.

SIMPLIFIED INVOICE

GARDNER-DENVER COMPANY

INTERNATIONAL DIVISION

ORDER NO. AND DATE
 REQUISITION NO.
 CONTRACT NO.

REFER TO INVOICE NO. 019006
 INVOICE DATE 1-10-79

SOLD TO

LA OLMECA, S.A.
 Culiacán 123, 1006
 México 11, D.F.

REPLY TO:

Same c/o Andres Mounetou, y Cía.
 2702 Sta. María
 Laredo, Texas

SHIPPED TO AND DESTINATION

ITEM	QUAN.	PART NO.	DESCRIPTION	UNIT PRICE	AMOUNT
			PORTABLE ROTARY DRILL RIG MODEL 2000 CARRIER MOUNTED GROUP I		
			<u>POWER TAKE-OFF: MODEL 2001</u>		
			Eight Strand chain type, split shaft, full torque, 2-1/4" ten-spline shaft.		
			<u>POWER TRANSFER: MODEL 602</u>		
			Quad chain type, enclosed in oilbath, including master clutch.		
			<u>ROTARY TABLE: MODEL RT-10</u>		
			10" Opening, ring gear and pinion type, lubricated by splash type system, hydraulically retractable leaving 19" opening in frame.		
			<u>DRAWWORKS: MODEL 2004</u>		
			Unitized Double drum type with Twin-Disc P0214, two plate, air clutch and double 6" x 22" brake band with 690 sq. in. net braking area each drum, complete with three speed transmission, lebus grooving and drawworks cover, rated 15,000 lbs. maximum single line pull, bare drum.		
			<u>SANDREEL:</u>		
			Model SR-20 with P0311 air clutch, 5" x 20" brake band and independent controls. Unit is mounted above and forward of main drawworks. Maximum spooling capacity 3000' 3/8" 6 x 19 wire line with 2000' wire line.		

SIMPLIFIED INVOICE
GARDNER-DENVER COMPANY
 INTERNATIONAL DIVISION

CUSTOMER'S
 ORDER NO. AND DATE
 REQUISITION NO.
 CONTRACT NO.

REFER TO
 INVOICE NO.
 INVOICE DATE

019006
 1-10-79

SOLD
 TO

REPLY TO:

SHIPPED TO
 AND
 DESTINATION

2

ITEM	QUAN.	PART NO.	DESCRIPTION	UNIT PRICE	AMOUNT
			<p><u>PULLDOWN:</u> Heavy duty hydraulic chain feed type, energized by a variable volume pressure compensated pump with planetary gear reduction full air clutch, and holdback system.</p> <p><u>PULLDOWN:</u> 2" pulldown chains.</p> <p><u>MAST: MODEL 2006</u> 58' overall length, tubular four-way construction, electrically welded to withstand maximum stress and channel kelly guides, rated 75,000 lbs. capacity model 2500 racking board.</p> <p><u>KELLY BAR:</u> 4-1/2" OD x 24' long, round and fluted with three 1" drive pins.</p> <p><u>SWIVEL:</u> 4-1/2" ID watercourse, King - 25WG.</p> <p><u>TRAVELING BLOCKS:</u> 1 set (2) 137900, 17-1/2" triple sheave blocks rated 30 ton capacity.</p> <p><u>ROTARY TABLE TRANSMISSION:</u> Five speed forward, one reverse for rotary drilling with torque tube drive gives 25 to 215 RPM rotary speeds.</p>		

SIMPLIFIED INVOICE
GARDNER-DENVER COMPANY
 INTERNATIONAL DIVISION

3

ORDER NO.
 QUOTE NO.
 CONTRACT NO.

REFERS TO INVOICE NO. 019006
 INVOICE DATE 1-10-79

SOLD TO

REPLY TO

3

SHIPPED TO AND DESTINATION

ITEM	QUAN.	PART NO.	DESCRIPTION	UNIT PRICE	AMOUNT
			<p><u>MAST CYLINDERS: MODEL 2015</u></p> <p>Twin double acting chrome plated telescoping hydraulic cylinders for raising and lowering mast. Utilizes Vickers hydraulic pump driven by the transfer case to supply oil to mast raising cylinders. Vickers hydraulic control valve used to control fluid to cylinders. Each cylinder features a safety check valve to prevent mast from free falling in event of hydraulic failure.</p> <p><u>MUD PUMP: MODEL FD-FXX.</u></p> <p>Gardner-Denver, 5" x 10" Duplex pump completely slush fitted and installed with belt drive, air actuated clutch and rod oiler.</p> <p><u>LEVELING JACKS:</u></p> <p>One set (4) hydraulic leveling jacks, two (2) 9-5/8" x 5" piston x 4' stroke installed on front of trailer, two (2) 9-5/8" OD x 5" piston x 24" stroke installed on rear of trailer complete with controls and "L" type level.</p> <p><u>RIG-UP EQUIPMENT</u></p> <p><u>ROD HOOK:</u></p> <p>Single swivel rod hook rated 50,000 lbs.</p> <p><u>CATHEADS:</u></p> <p>Foster Model 35AH breakout cathead, hub mounted installed on side opposite operator with hand controls, rope divider and catline guide rollers.</p>		

SIMPLIFIED INVOICE

GARDNER-DENVER COMPANY

INTERNATIONAL DIVISION

4

CUSTOMER'S
ORDER NO. AND DATE
ACQUISITION NO.
CONTRACT NO.

REFER TO
INVOICE NO. 019006
1-10-79
INVOICE DATE

OLD
TO

REPLY TO:

SHIPPED TO
AND
DESTINATION

4

ITEM	QUAN.	PART NO.	DESCRIPTION	UNIT PRICE	AMOUNT
			<p><u>CATHEAD:</u></p> <p>Foster Model 86 AH spinning cathead, hub mounted, installed on operator's side with air hand controls, rope divider and catline guide rollers.</p> <p><u>TONGS:</u></p> <p>One set (2) 184406 Baash Ross Type "D" rotary and casing tongs, complete with hanger and six (6) lug latch jaws for size range 2-7/8" to 8-5/8 OD.</p> <p><u>COUNTERWEIGHTS:</u></p> <p>One set (2) balanced counterweights installed in mast complete with wireline, sheaves and counterweight guides.</p> <p><u>ELEVATORS:</u></p> <p>One (1) Baash-Ross Type C-30W, center latch elevator, rated 30 ton capacity.</p> <p><u>LINKS:</u></p> <p>#165156 one set (2) 1-1/4" x 30" Webb Wilson Magnaweld elevator links rated 50 ton capacity per set, with one (1) "Mayhew" elevator yoke installed on above links.</p> <p><u>WEIGHT INDICATOR:</u></p> <p>One (1) Martin-Decker WS-8 hydraulic piston type complete with sensor unit mounted on deadline between drums, (reads both drilling and hoisting line) and stationary panel mounted in full view of driller.</p>		

SIMPLIFIED INVOICE

GARDNER-DENVER COMPANY

INTERNATIONAL DIVISION

ORDER NO. AND DATE
 REQUISITION NO.
 CONTRACT NO.

REFER TO INVOICE NO. 019006
 INVOICE DATE 1-10-79

SOLD TO

APPLY TO

SHIPPED TO AND DESTINATION

5

ITEM	QUAN.	PART NO.	DESCRIPTION	UNIT PRICE	AMOUNT
			<p><u>RIG LIGHTS:</u></p> <p>One (1) mast string with five (5) #800, 100 watt mast lights, receptacle box, leads and fittings. Floor and engine lights, two (2) #600, 515DL, 300 watt with leads, plugs and fittings. Three wire grounded system.</p> <p><u>LIGHT PLANT:</u></p> <p>Diesel, one (1) Kohler Model 4CM061 electric generator, 4,000 watt single phase, 50 cycle, four wire, 120/240 volt A.C., powered by Lister St1 diesel engine, four cycle one cylinder, 1800 RPM.</p> <p><u>FRAME:</u></p> <p>Heavy duty structural steel, electrically welded into a rigid one piece frame.</p> <p><u>CONTROLS:</u></p> <p>Grouped at operator's position for one man operation including air hand and foot throttles.</p> <p><u>STANDARD OPERATING EQUIPMENT INCLUDED WITH DRILL</u></p> <p>5/8" Diameter 18x7 non-rotating Drilling and Hoisting Line 1 - Kelly Drive Bushing for 4-1/2" O.D. Kelly 1 - Kelly Head Adapter (swivel to kelly) 1 - Kelly Adapter (kelly to drill pipe) 1 - Set Slips 1 - Mud Pump Manifold with Demco 2" shear relief valve, 161434 Martin Decker 1000 lb. mud pump pressure gauge and surge chamber 1 - 5" x 20" Suction Hose with fittings and foot screen 1 - 2-1/2" I.D. Standpipe with fittings</p>		

SIMPLIFIED INVOICE
GARDNER-DENVER COMPANY
 INTERNATIONAL DIVISION

1-10-79

CUSTOMER'S
ORDER NO. AND DATE
 REQUISITION NO.
 CONTRACT NO.

REFER TO
INVOICE NO. 019006
 INVOICE DATE 1-10-79

6

SOLD
TO

REPLY TO:

SHIPPED TO
AND
DESTINATION

6

ITEM	QUAN.	PART NO.	DESCRIPTION	UNIT PRICE	AMOUNT
			<u>STANDARD OPERATING EQUIPMENT - Cont.</u>		
			1 - 2-1/2" I.D. Pressure Hose (rotary hose) with fittings		
			1 - 2-1/2" I.D. Pressure Hose (hinge hose) with fittings		
			1 - 1-1/4" I.D. 30' Washdown hose		
			1 - Standard Tool Box located at rear of Drill Bed		
			1 - Set (2) mud flaps installed on truck		
			1 - Set Clearance lights and reflectors installed on drill bed		
			1 - Drill Rig primed and painted standard Gardner-Denver Color		
			2 - Parts Lists and Lubrication Charts, Model 2000		
2	1		DRILL CARRIER		
			One (1) Crane Carrier Model DR2084AM (8x4) Carrier, equipped as follows:		
			8' - 0" wide chassis		
			16" @ 58 lb. Manten WF H-beam frame		
			Cummins 350 Diesel Engine, with MVS overnor		
			Fuller Five speed transmission - spicer auxillary 4 speed		
			Rockwell SRDD single-speed tandem, rated 44,000 lbs. capacity		
			1 - Timken FF-92 front axles, spring suspension, rated 36,000 lbs. capacity		
			Heavy duty radiator cooling system		
			Automatic shutters		
			Full air brakes, all wheels, 12 CFM Compressor		
			4 - 15-22.5 16-ply highway tread front tires, Goodyear Super Hi-Miler nylon		
			8 - 11.00 x 20 14-ply mud and snow tread, Goodyear Hi-Miler extra grip nylon rear tires		
			Spoke type wheels		
			Power steering		
			Heater and defroster, Farr dry type air filter		
			Standard one-man steel cab		
			2 - Maxi parking brakes on rear		
			Bostrom seat, Rubber fender skirts		

MADE IN U.S.A.

SIMPLIFIED INVOICE
GARDNER-DENVER COMPANY
 INTERNATIONAL DIVISION

ORDER NO. AND DATE
 REQUISITION NO.
 CONTRACT NO.

ORDER TO INVOICE NO. 019006
 INVOICE DATE 1-10-79

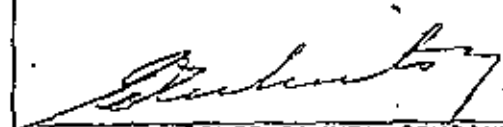
7

SOLD TO

SENT TO

SHIPPED TO AND DESTINATION

7

ITEM	QUAN.	PART NO.	DESCRIPTION	UNIT PRICE	AMOUNT
			COMPLETE RIG AND ACCESSORIES - F.O.B. DALLAS, TEXAS		\$278,655.00
			<u>DRILLING ACCESSORIES:</u>		
			<u>DRILL PIPE - COLLARS - ADAPTERS</u>		
75			3-1/2" O.D. Range 1, Grade "D", .368 wall - plain ends with 4-3/4" O.D. 3-1/2 API I.F. tool joints welded on - steel thread protectors installed.	376.00	28,200.00
			COMPLETE DRILL RIG AND ACCESSORIES FURNISHED TO ABOVE SPECIFICATIONS - F.O.B. LAREDO, TEXAS		\$306,855.00
			TERMS: As agreed		
			DELIVERY: Immediate		
<p>"We certify the prices shown on this invoice are true and correct, that the goods are new and not of used or second hand nature and are of United States origin."</p>					
 GARDNER-DENVER COMPANY					

DE MEXICO, S. A.
Tubularas y Forjados

Liverpool 88-21 Piso México 6, D. F.
Tel. 525-49-80 Telex. 017-73-155

Agosto 10 de 1978

A NUESTROS ESTIMABLES CLIENTES

ASUNTO: Nuevos precios de Barrenas para Perforación.

Ante la imposibilidad de seguir absorbiendo los incrementos constantes -- que han experimentado los costos de la materia prima y mano de obra que usamos en la fabricación de Barrenas para Perforación, nos vemos en la imperiosa urgencia de aumentar los precios de éstas, en la medida en que nos han afectado.

Adjuntamos nuestra Lista de Precios que entró en vigor a partir del día 1º DE AGOSTO DE 1978.

Confiando en que estarán conscientes de la necesidad de esta determinación, no dudamos seguir contando con su preferencia; aprovechamos la presente ocasión para reiterarnos a sus apreciables órdenes.



LIC. JORGE CASTRO VARGAS
DIRECTOR COMERCIAL

PRECIOS - BARRENAS
" P U B L I C O "

En vigor a partir del 1º de Agosto de 1978

TIPO JET

MEDIDA:

5 5/8"	\$ 10,545.00
6"	11,355.00
6 1/2"	12,320.00
8 1/2"	15,404.00
9 1/2"	18,451.00
12 1/4"	26,231.00
14 3/4"	41,845.00

CONDICIONES DE VENTA ACTUALES:

Menos 2% descuento por pago a 15 días, fecha de factura

Neto a 30 días

Más el 4% de I.S.I.M.

Financiamiento: 1.5% mensual después del 31vo. día;

Máximo: 90 días

Precios sujetos a cambio sin previo aviso

Vigencia de cotizaciones: 30 días

L. A. B. Nuestra Planta

DE MEXICO, S. A.
Tubulares y Forjados

Liverpool 88-2º Piso México 6, D. F.
Tel 525-45-80 Telex. 017-73-155

PRECIOS - BARRENAS
" P U B L I C O "

En vigor a partir del 1º de Agosto de 1978

LINEA X

MEDIDA:

8 1/2"	\$	19,317.00
9 1/2"		23,082.00
12 1/4"		32,312.00
14 3/4"		50,097.00

CONDICIONES DE VENTA ACTUALES:

Menos el 2% descuento por pago a 15 días fecha factura

Neto a 30 días

Más el 4% de I.S.I.M.

Financiamiento: 1.5% mensual después del 31vo. día;

Máximo: 90 días

Precios sujetos a cambio sin previo aviso

Vigencia de cotizaciones: 30 días

L. A. B. Nuestra Planta

DE MEXICO, S. A.
Tubulares y Forjados

Liverpool 85-2º Piso México D. D. F.
Tel. 525-45-80 Telex. 017-73-185

PRECIOS - BARRENAS
" P U B L I C O "

En vigor a partir del 1º de Agosto de 1978

BARRENAS DE CHUMACERA TIPO JOURNAL,
CON DIENTES DE CARBURO DE TUNGSTENO

MEDIDA:

6 1/2"	\$	59,626.00
8 1/2"		76,720.00
9 1/2"		93,356.00
12 1/4"		135,108.00

CONDICIONES DE VENTA ACTUALES:

Menos 2% descuento por pago a 15 días, fecha de factura
Neto a 30 días
Mas el 4% de I.S.T.M.

Financiamiento: 1.5% mensual después del 31vo. día-
Máximo: 90 días

Precios sujetos a cambio sin previo aviso

Vigencia de cotizaciones: 30 días

L. A. B. Nuestra Planta

14
PRECIOS - BARRENAS
" P U B L I C O "

En vigor a partir del 1º de Agosto de 1978

TIPO INDUSTRIAL

SEIS-BLAST

MEDIDA:

4 1/2" TIPO H \$ 5,448.00

ROTA-BLAST

MEDIDA:

9" TIPO H 15,401.00

CONDICIONES DE VENTA ACTUALES:

Menos el 2% descuento por pago a 15 días fecha de factura

Neto a 30 días

Más el 4% de I.S.I.M.

Financiamiento: 1.5% mensual después del 31vo. día;

Máximo: 90 días

Precios sujetos a cambio sin previo aviso

Vigencia de cotizaciones: 30 días

L. A. B. Nuestra Planta



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

TECNICAS DE PERFORACION
PERCUSION SIMPLE

ING. RAFAEL JIMENEZ GRANADO

JUNIO, 1979.



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 guía 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 construido 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 Artois, 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 del 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 fluídos de perforación.

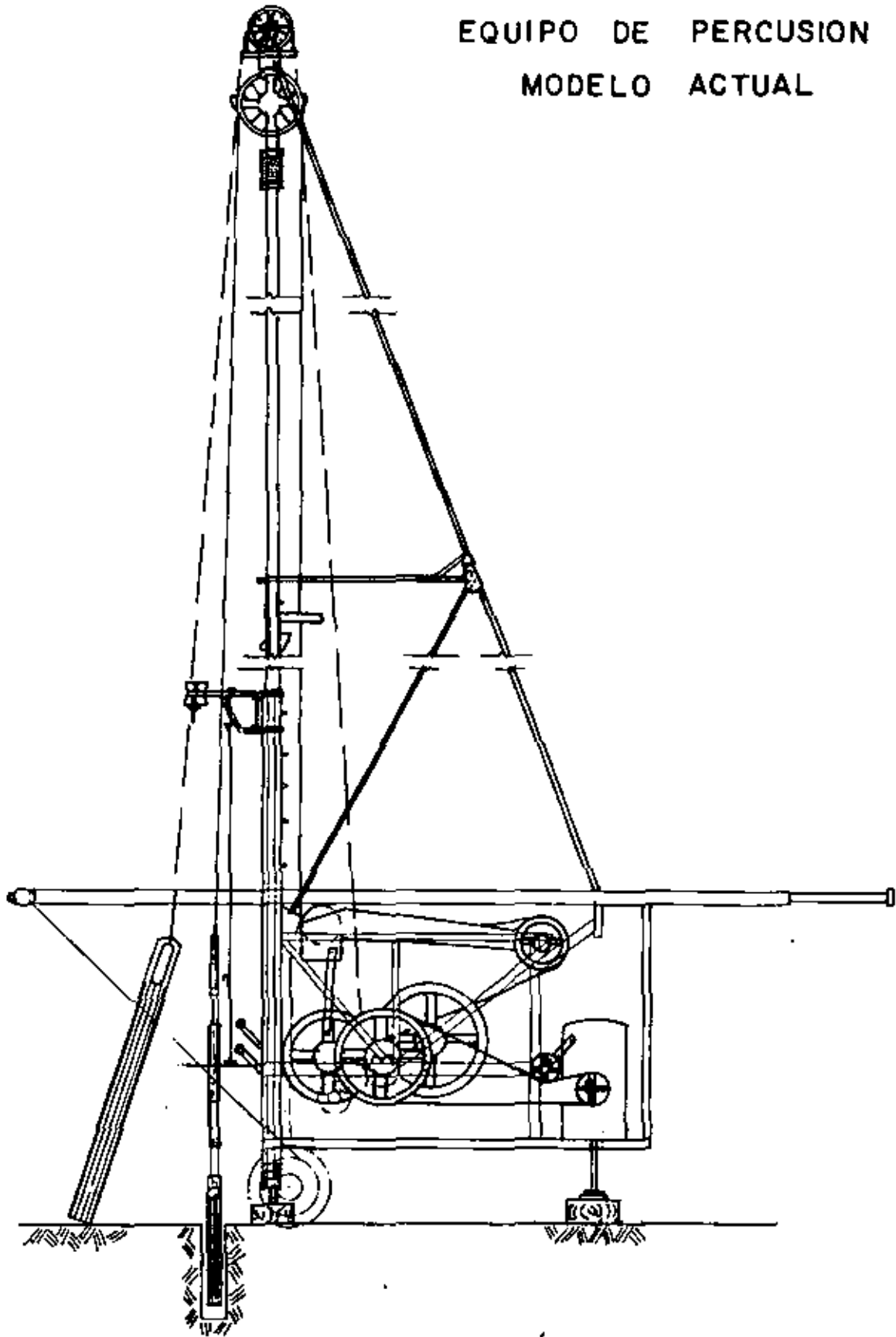
Todos los fracasos, desvelos y experiencias anteriores tuvieron su recompensa al alcanzarse el éxito deseado en el campo Spindletop de Beaumont, Tex. donde a la profundidad de 1,040 pies brotó el petróleo en tal abundancia que la producción de ese pozo fué de 100,000 barriles diarios.

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 eslabones 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.

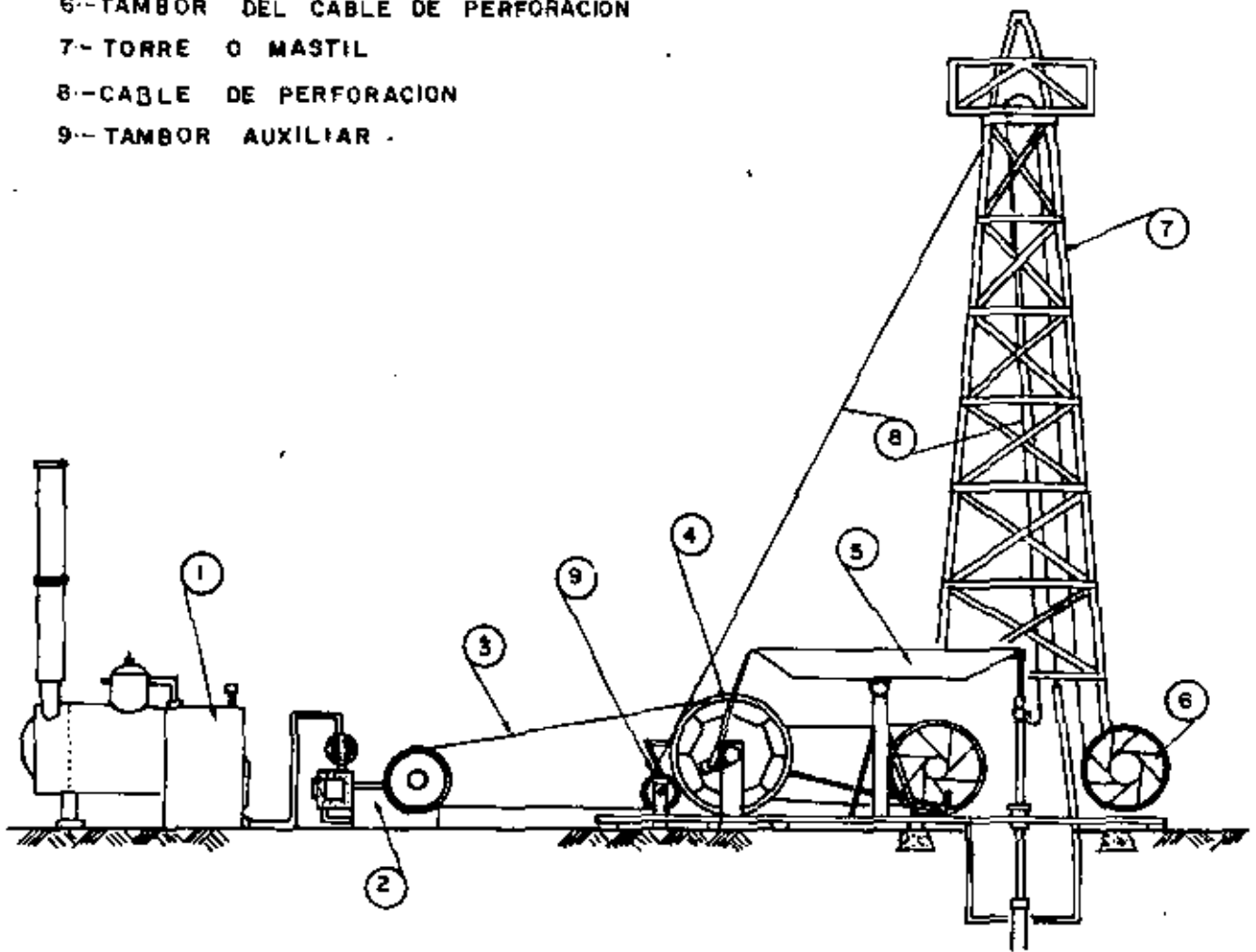
La máquina de vapor fué aplicada a esta clase de trabajos, utilizándose en su forma más simple: una máquina reversible común de un pistón - controlado por una simple válvula de corredera, se utilizaba para producir un movimiento recíprocante al cable de perforación desde una gran polea - llamada "polea 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

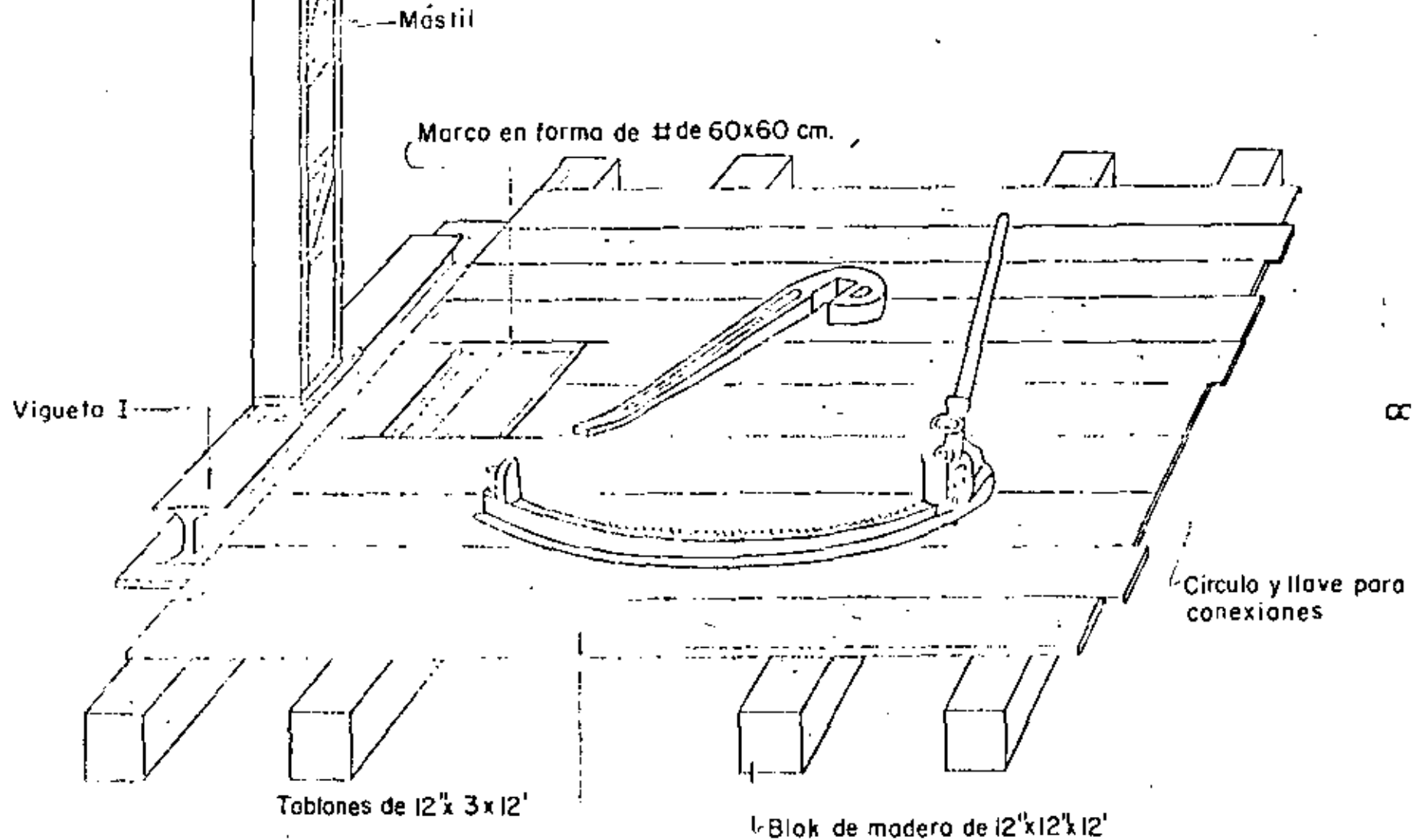
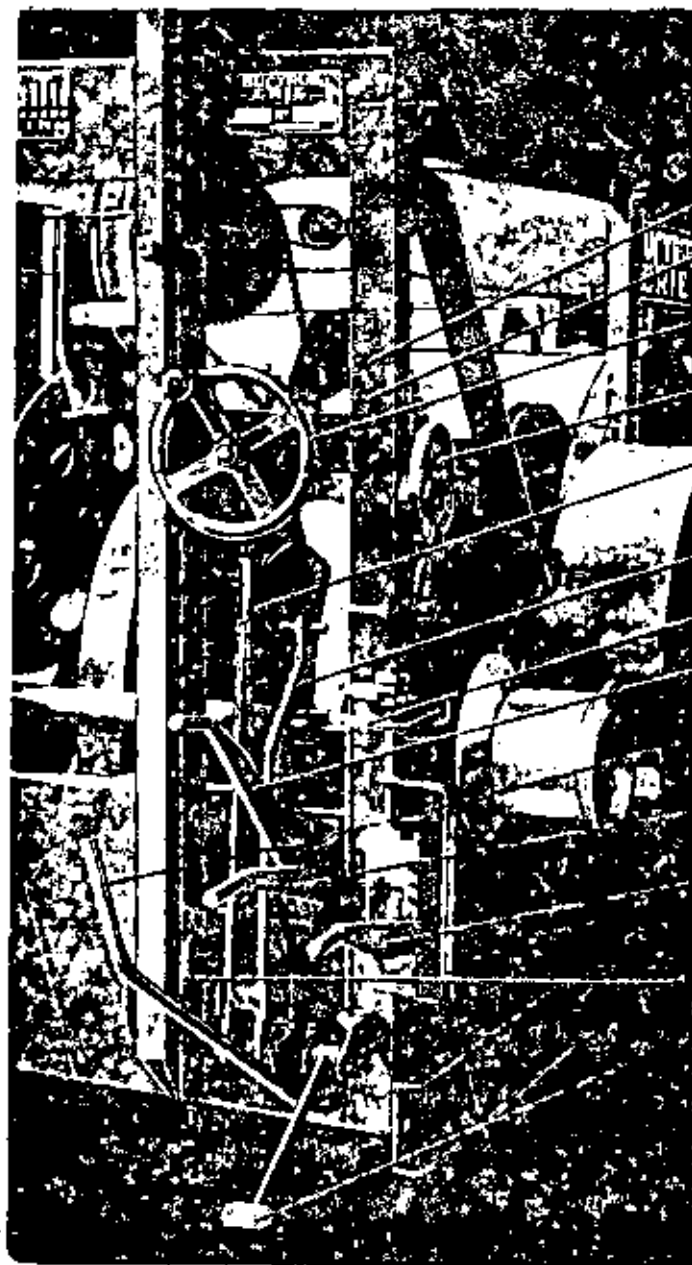


FIGURA 1

CONTROLES DE OPERACION



- Interrupor de encendido.
- Interrupor 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 cucha-reo 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 $2\ 3/4'' \times 3\ 3/4''$; $3\ 1/4'' \times 4\ 1/4''$; $4'' \times 5''$ 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 Islas 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 agruparse mediante un torcido determinado forman un torón y al grupo de torones ordenados en cierta forma o "construcción" permiten una combinación óptima 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.

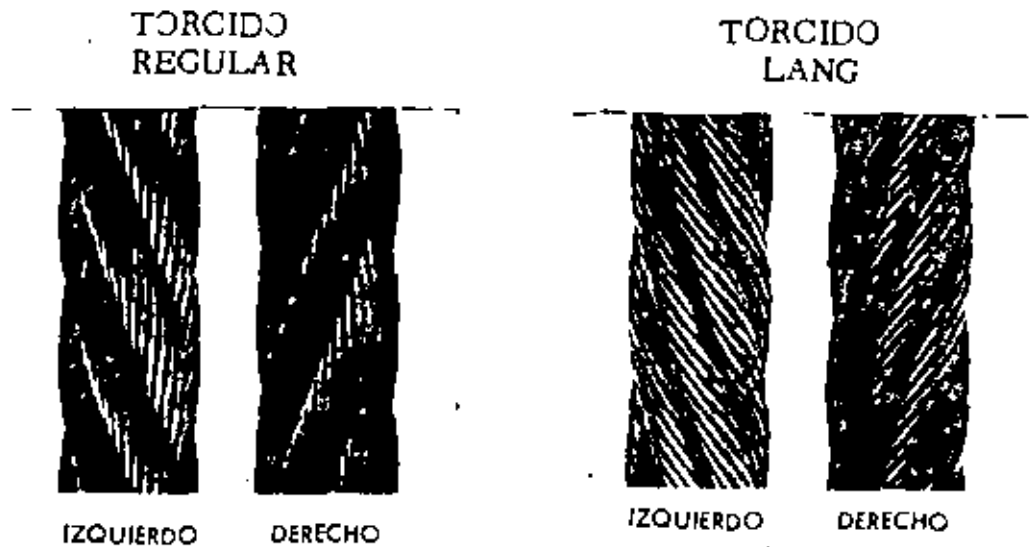
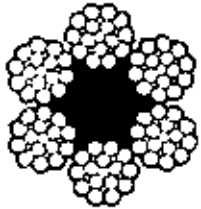


FIGURA 5

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.

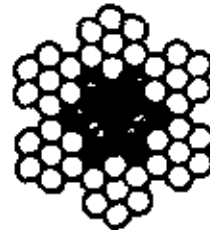


FIGURA 8



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 lang izquierdo y los exteriores, regular derecho; con lo cual se evita que el cable gire en cualquier sentido.

AMORTIGUADOR DE DISCOS



FIGURA 10

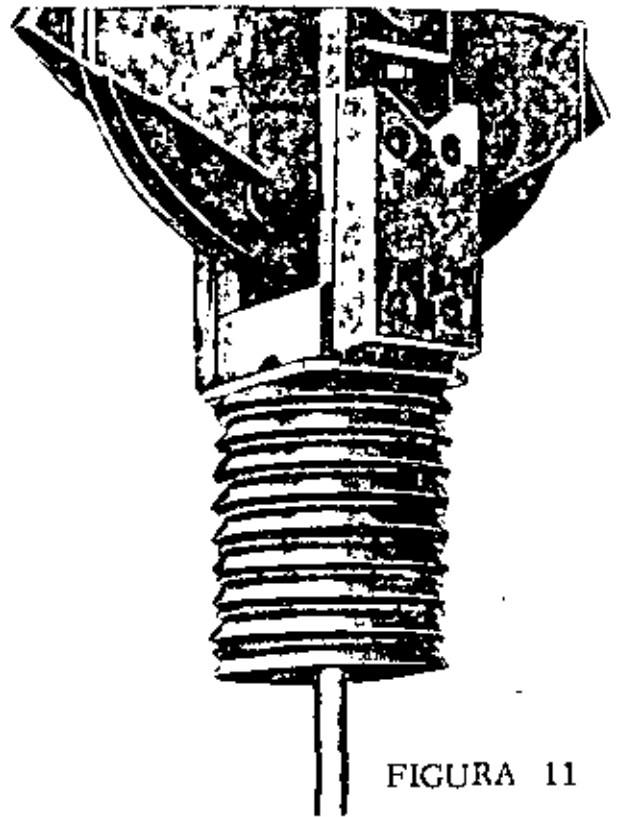


FIGURA 11

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 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

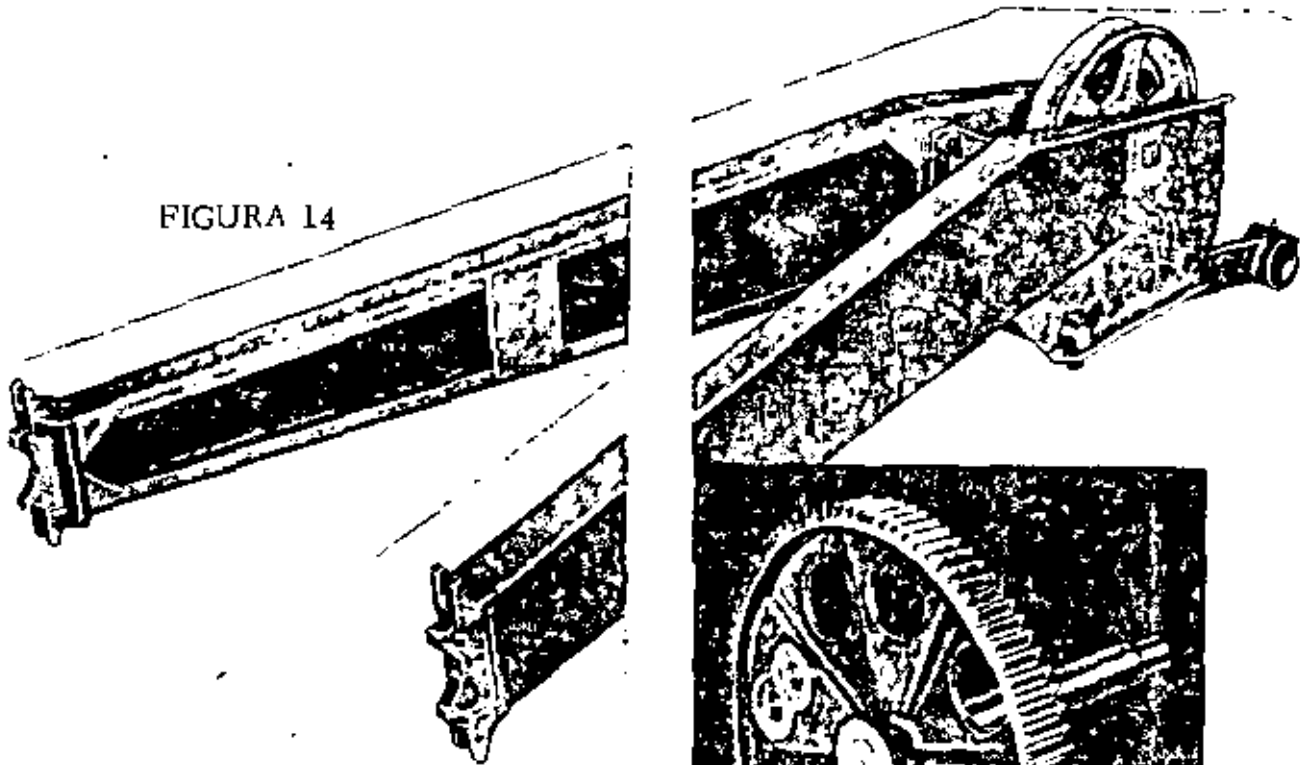


FIGURA 14

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

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

NOMBRES Y FUNCIONES DE LAS PARTES DE UN TREPANO

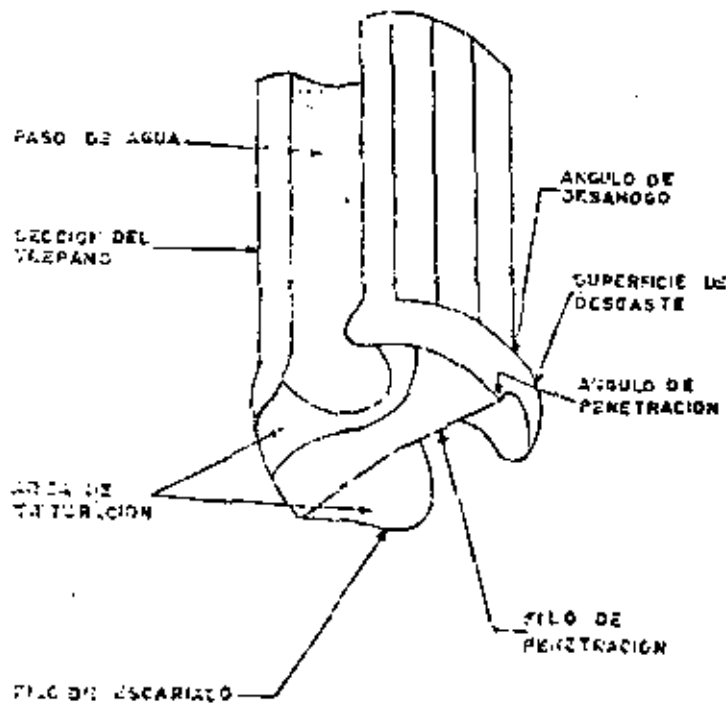


FIGURA 15

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 conicidad 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

SUGESTIONES PARA EL AFILADO DE TREPANOS.

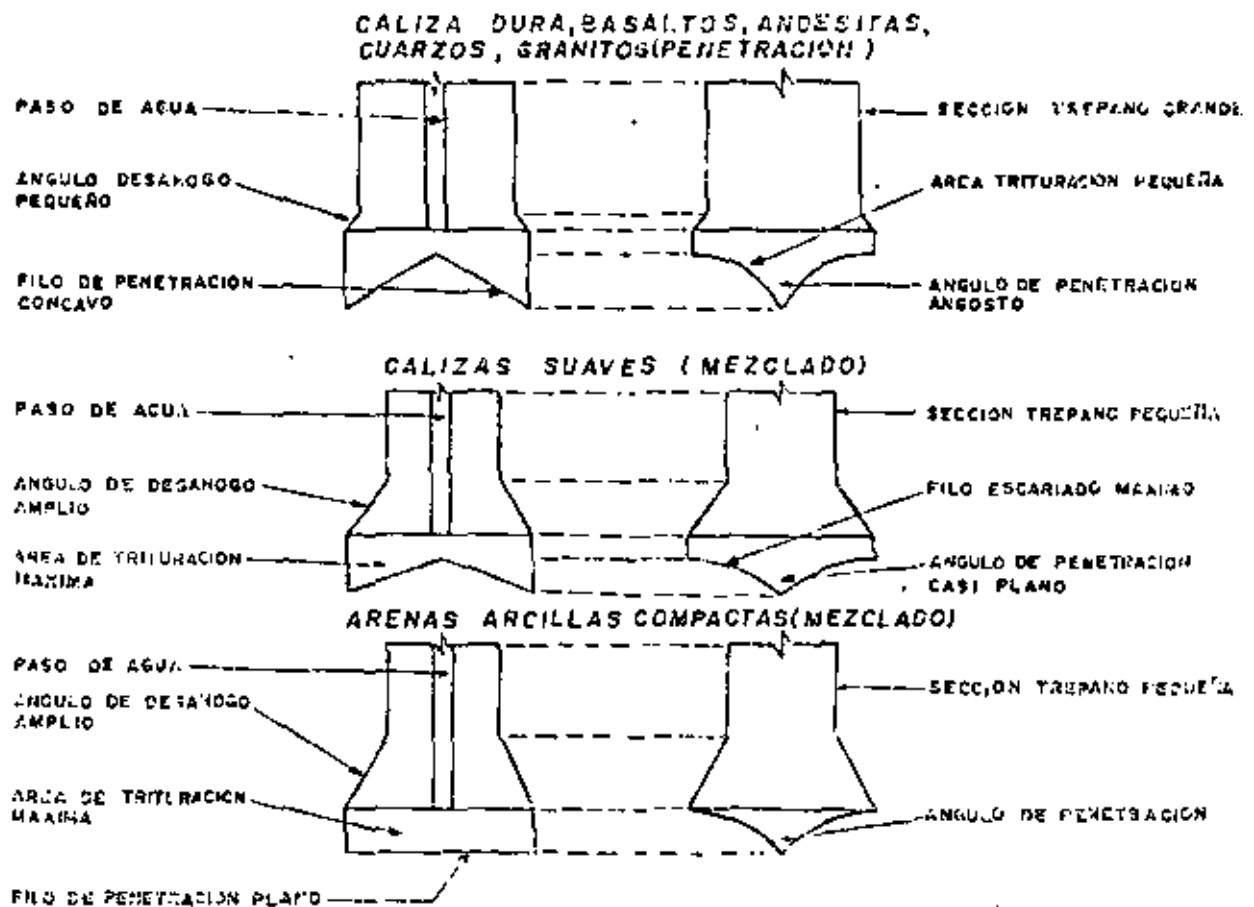


FIGURA 15 BIS

MALACATES PRINCIPAL Y AUXILIARES.

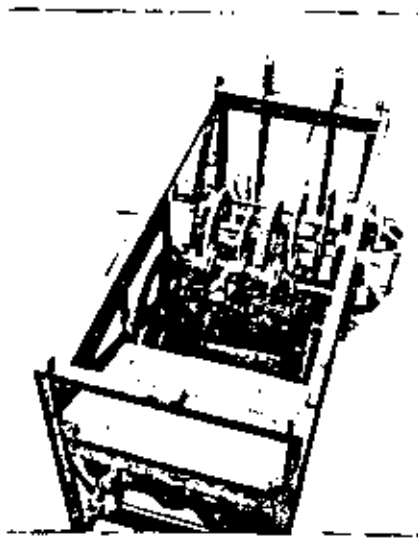


FIGURA 16

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.

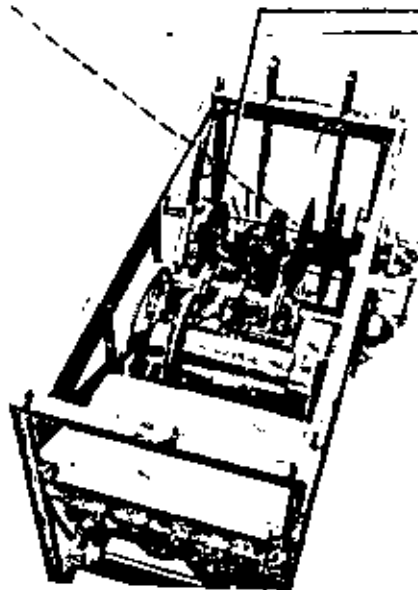


FIGURA 17

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

BARRETÓN O BARRA MAESTRA FIGURA 18.-

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

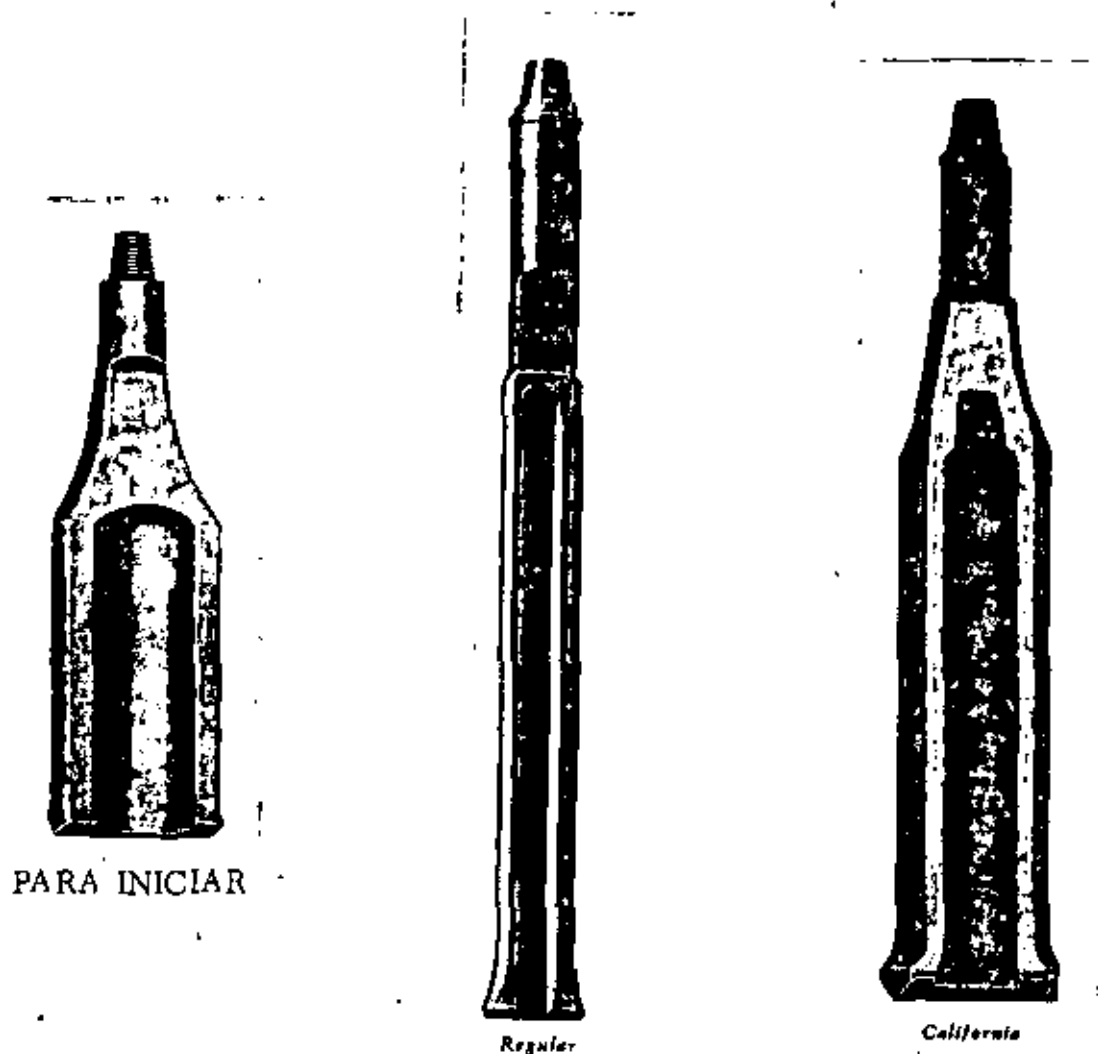
acción de la biela, la tubería recibirá un golpe con la herramienta.



FIGURA 19

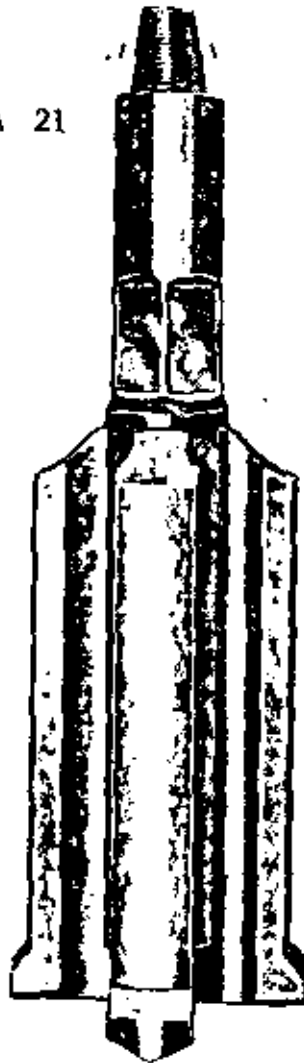
TREPANO O HERRAMIENTA DE CORTE

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

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

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

Estandar, regular o califonia, 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 califonia 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

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 piñón de las tijeras de perforación. Cuenta

Fig. 24 además con varias perforaciones en su cuerpo para evitar atascamientos y facilitar la rotación.

HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS DE PERFORACION

BOMBAS ARENERAS

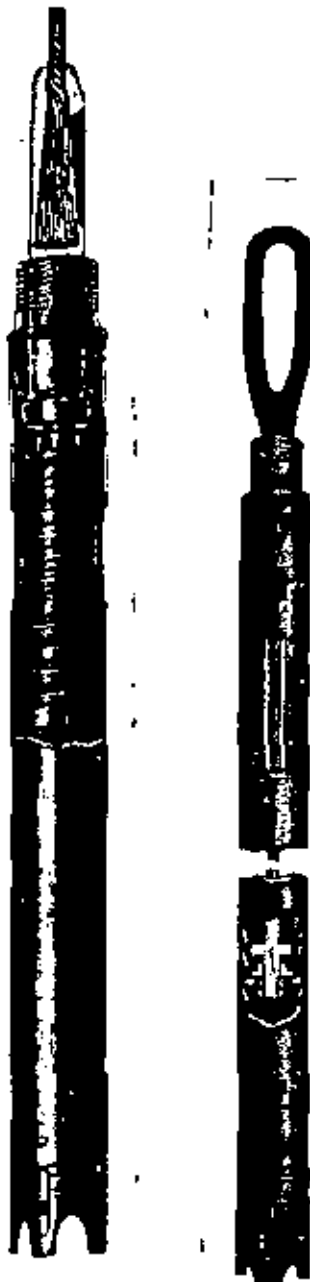


FIGURA 25

CUCHARA



Fig. 26

VALVULAS



DE DARDO

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 más 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



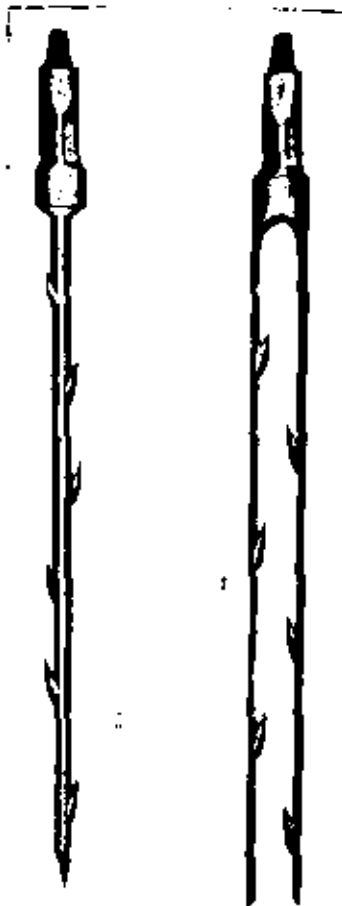
PESCADOR
DE
CIRCULO
COMPLETO
Fig. 30



PESCADOR
DE
COMBINACION
Fig. 31

HERRAMIENTAS PARA PESCA

PARA CABLE



DE UNO O DOS
ARPONES

FIGURA 32

FIGURA 33
DE FRICCION



CUERNO

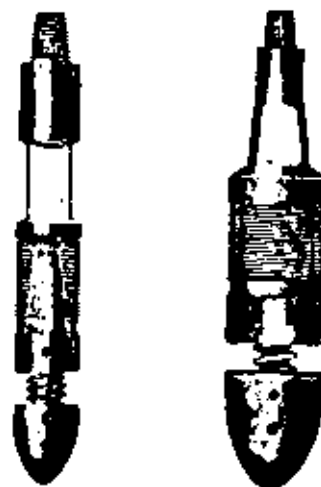
CORRUGADO

HERRAMIENTAS PARA PESCA



FIGURA 34

DE CUCARAS

DE TUBERIA
FIGURA 35TROMPO

TROMPO. - Hay ocasiones en que las tuberías de ademe se colapsan es decir cambian de forma por impactos producidos dentro del pozo. Para devolverles 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 babbit 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, sustituyéndolos 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 tungsteno 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.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

TECNICAS DE PERFORACION

ING. JOSE FELIPE YTUARTE OLIVO

JUNIO, 1979.



SISTEMA ROTATORIO
CIRCULACION DIRECTA
Lodos 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.

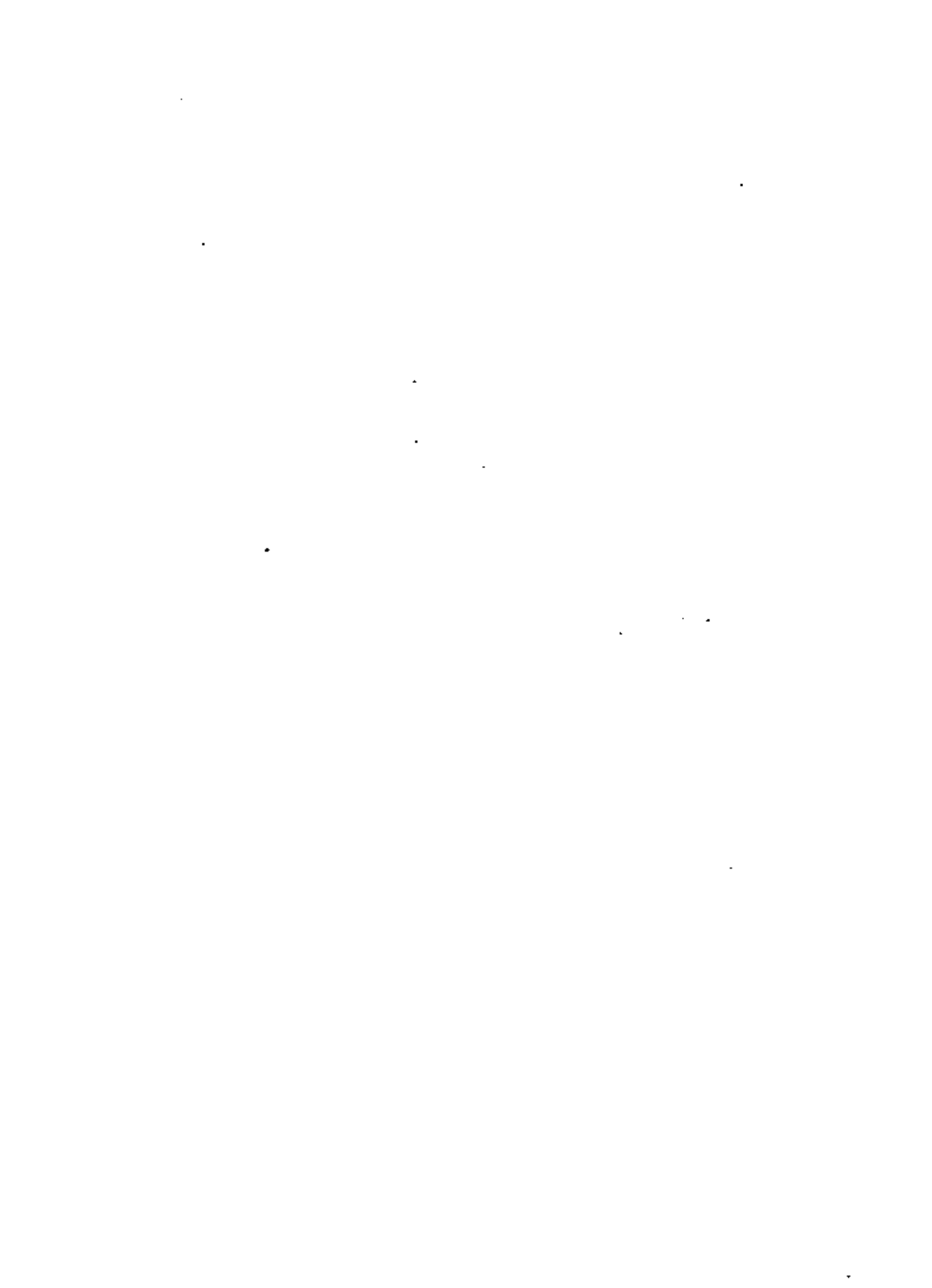
La construcción de los equipos de perforación se ha venido mejorando para aprovechar los grandes avances tecnológicos obtenidos en la fabricación de barrenas del tipo tricónico con toberas y sus mecanismos se diseñan para lograr mejores avances en la penetración de las barrenas tricónicas así como para 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 lastrabarreras 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 instantáneo.



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 lastrabarrenas que actúa directamente sobre las barrenas; 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 barrenas. 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 sargas 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 lastrabarrenas 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, teniendo 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.

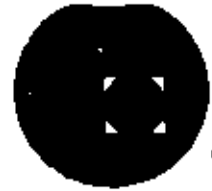
El avance óptimo medido en metros por hora, con una reducción de costos, se presenta en forma idealizada; la gráfica idealizada se traza con parámetros de perforación de una barrena de tipo adecuado al tipo de formación geológica, operada con un programa hidráulico óptimo y con un trabajo mecánico de 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 .



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam

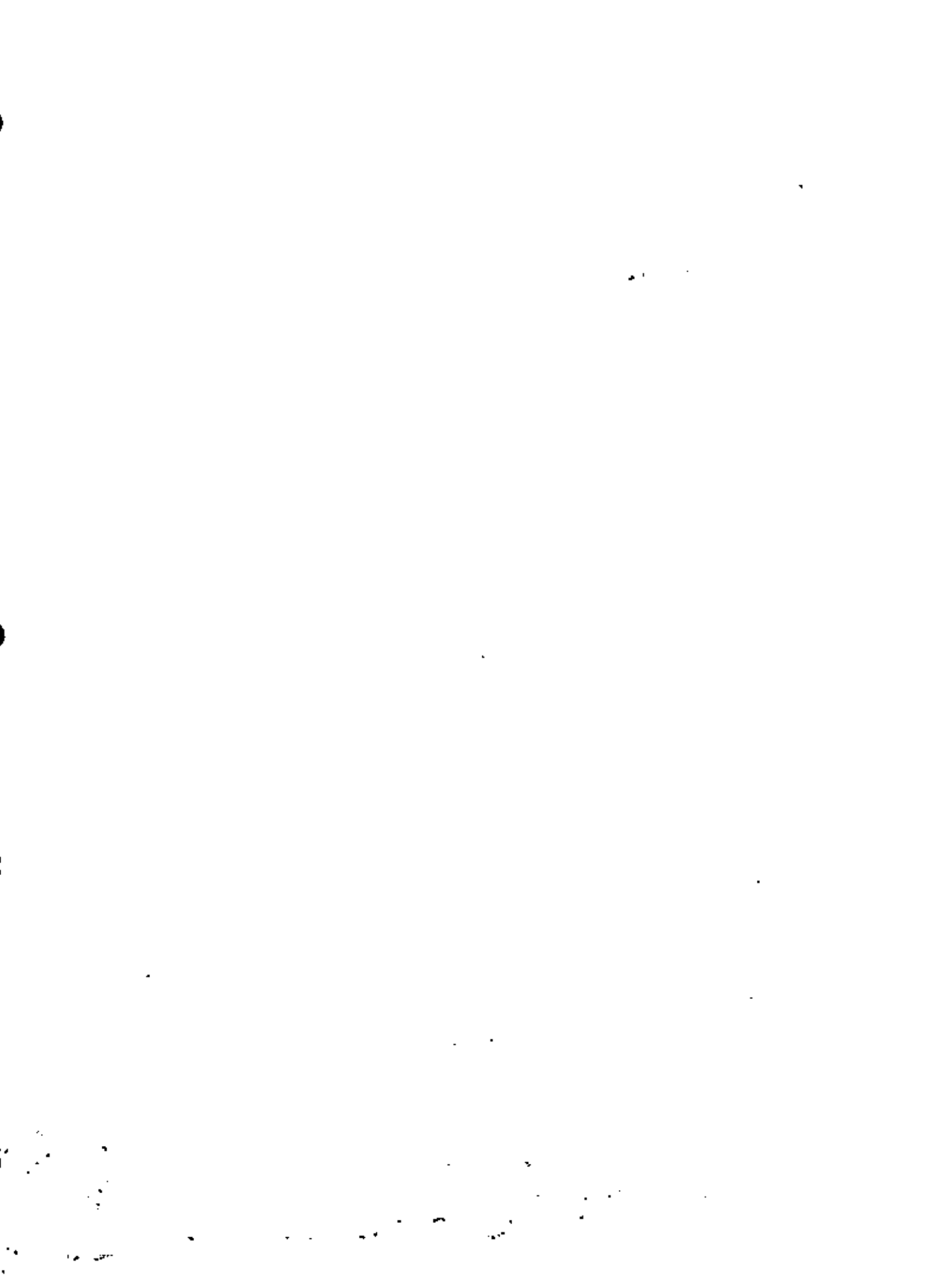


PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

"TIPOS DE FLUIDOS DE PERFORACION Y SU CONTROL"

ING. EDUARDO PEÑA OLMEDO

JUNIO DE 1979



C O N T E N I D O

	Página
INTRODUCCION	2
a) Tipos de fluidos de perforación	3
b) Funciones de los fluidos de perforación	5
I PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION	12
a) Densidad o peso específico	12
b) Viscosidad (Reología y Tixotropía)	13
c) Propiedades de filtración	26
d) pH	28
e) Resistividad	33
f) Estabilidad a la temperatura	34
g) Poder de lubricación	35
h) Composición del lodo	37
1) Contenido de Arena	37
2) Contenido de Líquidos y Sólidos	38
3) Análisis químico del filtrado	41
II INTERPRETACION DE LOS ANALISIS	44
III LODOS BASE AGUA Y BASE ACEITE	50
1) Lodos Base Agua	50
A) Lodos de Agua dulce	50
B) Lodos Salados	51
C) Lodos Cálceos	53
D) Lodos de Bajos Sólidos	55
E) Lodos emulsionados	56
F) Lodos de silicato de sodio	57
2) Lodos Base Aceite	57
BIBLIOGRAFIA	59
APENDICE	62

pos de aplicación y el control de sus propiedades en el campo. Cabe mencionar que se utilizará constantemente el término "lodos de perforación" para denominar estos fluidos.

a) Tipo 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 ambas cosas⁽¹⁾ y a 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^{++}).

- 3/4 pH.- De fosfatos (pH a 8.5)

- Quatracho-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 Cálceos (polivalentes).
 - Baja cal
 - Alta cal
 - De yeso
 - Cloruro de calcio, acetato de calcio u otras 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.- ESPUMAS.

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 algunos casos artificiales, los lodos base agua y base aceite, indicando brevemente el uso del agua, gas y espumas como fluidos de perforación.

Funciones de los fluidos de perforación.

Las funciones principales del lodo, son las siguientes⁽²⁾:

- 1.- Aislar los resacas de la formación a la superficie.
- 2.- Controlar las presiones sub-superficiales.
- 3.- Limpieza y lubricar la sarta de perforación.
- 4.- Llevar al fondo del agujero.
- 5.- Ayudar 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/cm³, mayor que la del lodo, por lo que éstos, tienden a asentarse en el lodo que se encuentre 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 los 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 desalojen 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 anjarre, 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 esto, 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⁽³⁾, trató ampliamente este aspecto del daño a la formación.

Además de las funciones señaladas anteriormente, el fluido de perforación debe ser capaz de permitir el asentamiento de los recortes en la perforación y descargar el lodo de la tromborina, 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⁽⁴⁾, 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_f 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 lodo, se mide prácticamente por medio de la balanza de lodos, que está graduada en lb/pie cúbico, lb/gal, densidad relativa y en gradiente de presión hidrostática (lb/pulg² 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 esto⁽⁵⁾, 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.

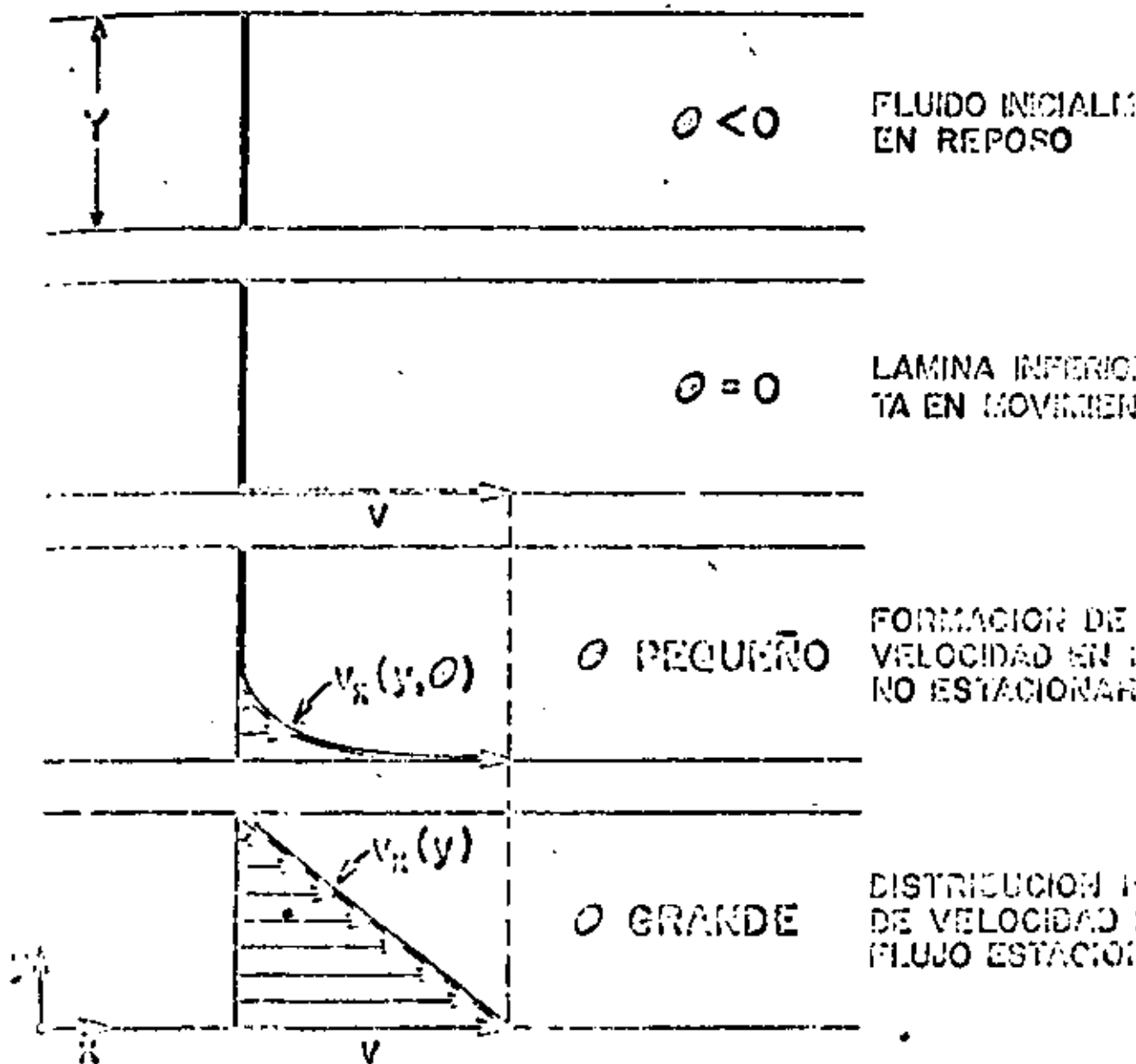


FIG. 1 FORMACION DEL PERFIL DE VELOCIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO PARA UN FLUIDO CONTENIDO ENTRE DOS LAMINAS

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 (T) y el cambio de la velocidad con la distancia $\left(\frac{dv}{dy} \right)$ se conoce como la velocidad de corte (γ), de tal manera que la ecuación (1) se puede describir como:

$$T = \mu (-\gamma) \quad (2)$$

los fluidos que siguen la ecuación (2), se denominan "fluidos verdaderos o newtonianos", en donde la viscosidad es independiente del esfuerzo cortante aplicada y la velocidad de corte obtenida. Los fluidos de perforación no se comportan en esta forma, sino que se adelgazan con el corte; esto 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 T 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

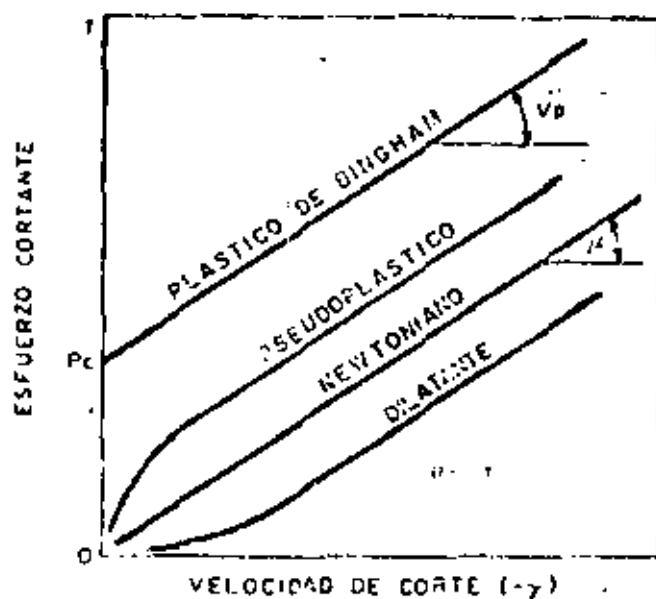


FIG. 2 CURVAS DE FLUJO DE FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO-NEWTONIANOS

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 lodos 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.

$$T = \nu_p (-\dot{\gamma}) + P_c \quad (3)$$

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 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 cota 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 pequeñas en las presas de mayor magnitud dentro de la tubería de perforación, dentro de los lustrabarreros 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 pueda 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 (μ).

Tomando logaritmos en la ecuación (6) se tiene:

$$\log T = \log K' + n' \log (-\gamma) \quad (7)$$

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:

$$T = Y' + K' (-\gamma)^{n'} \quad (10)$$

$$\log (T - Y') = \log K' + n' \log (-\gamma) \quad (11)$$

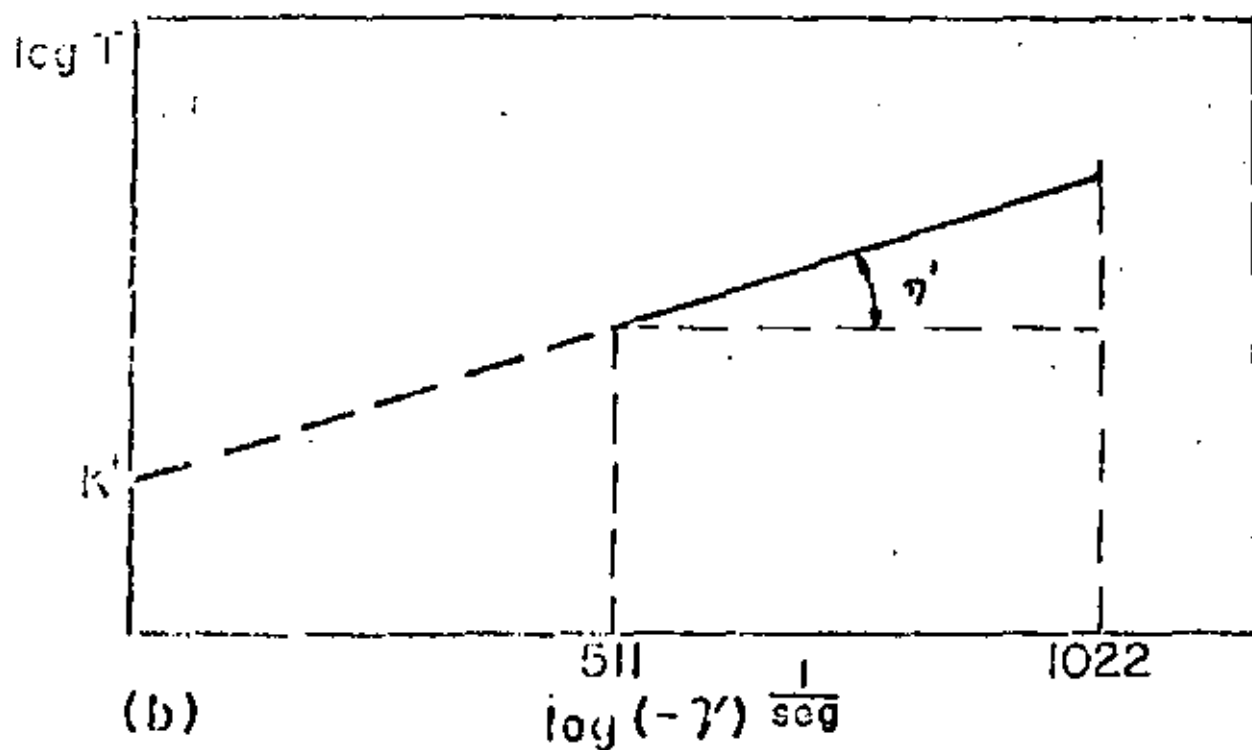
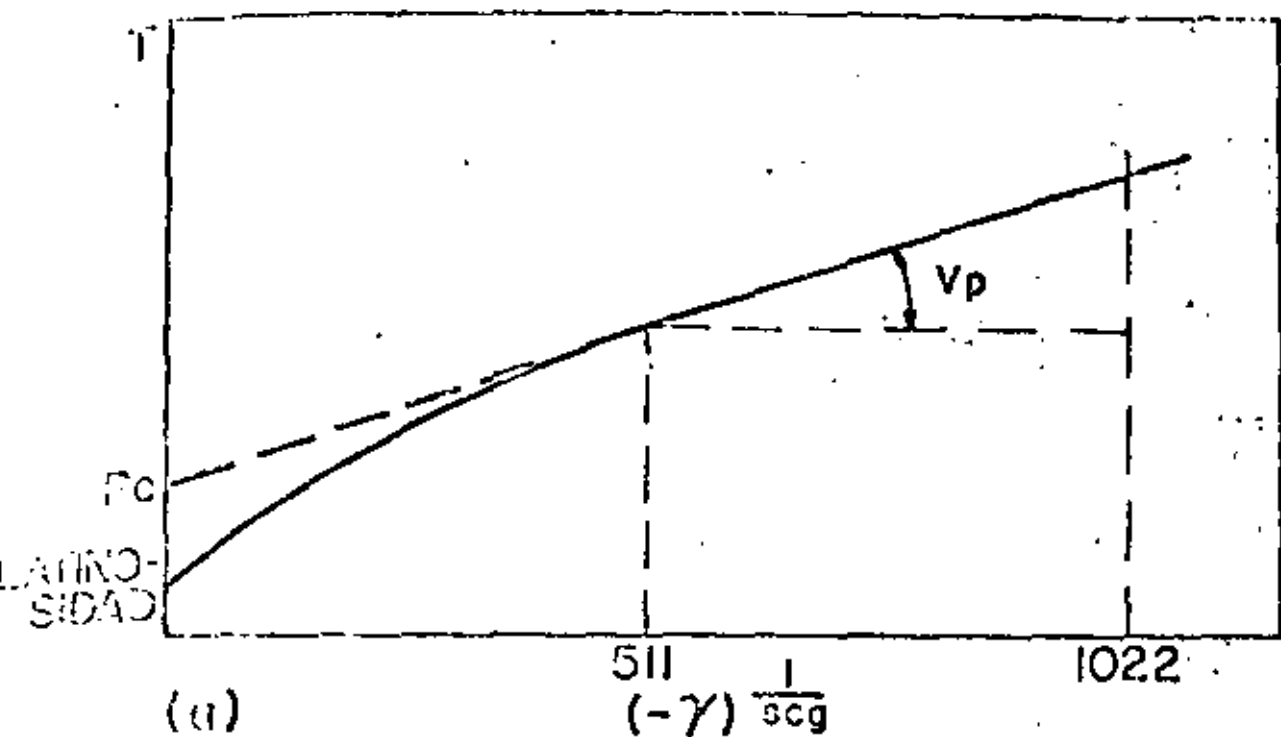


FIG. 3 PROPIEDADES REOLOGICAS DE UN FLUIDO DE PERFORACION. (a) MODELO DE BINGHAM, (b) FLUIDO IDEAL DE LA LEY DE LAS POTENCIAS

Es importante conocer la viscosidad equivalente (espesamiento) del fluido de perforación en el espacio anular (μ'), 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.

$$\mu' = v_p + \frac{267 P_c (D_h - D_p)}{v} \quad (12)$$

FLUIDO IDEAL DE LA LEY DE LAS POTENCIAS.

$$\mu' = \left[\left(\frac{2.4 \bar{v}}{D_h - D_p} \right) \left(\frac{2n' + 1}{3n'} \right) \right]^{n'} \left[\frac{200 K' (D_h - D_p)}{v} \right] \quad (13)$$

FLUIDO REAL DE LA LEY DE LAS POTENCIAS.

$$(\gamma)_{\text{Anular}} = \left(\frac{2.4 \bar{v}}{D_h - D_p} \right) \left(\frac{2n' + 1}{3n'} \right) \quad (14)$$

$$\mu' = \frac{(479) (\text{Lectura viscosímetro})}{(\gamma)_{\text{Anular}}} \quad (15)$$

en donde:

μ' = 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 pies²

n' = índice de comportamiento de flujo

K' = coeficiente de consistencia, cp

(γ) Anular = velocidad de corte anular, seg⁻¹

En la referencia (6), 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 lodos son, principalmente, los siguientes:

- 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 29 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 da 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 indicativos 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 los 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 pueda 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 encuentren 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.

TIXOTROPÍA.

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 características 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 todo 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

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/100pies².

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 reológicos 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 enjarre depositado en formaciones permeables y b) Para limitar el filtrado total que entra a las formaciones sub-superficiales.

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 ensamble, mientras que las pruebas dinámicas representan las pérdidas de líquido cuando el lodo 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 pulg² de área, durante 30 minutos y con la aplicación de una diferencial de presión de 100 lb/pulg². Las pruebas a alta presión y alta temperatura (HPAT), se efectúan generalmente a través de papel filtro de 3.5 pulg² de área, durante 30 minutos, a 300 °F y con la aplicación de una diferencial de presión de 100 y 500 lb/pulg².

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 apretamen del núcleo de la formación.

Se han efectuado pruebas comparativas (7) de la filtración estática y dinámica y en la Figura 4, se muestran estos valores para algunos fluidos, -

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 lado hasta 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

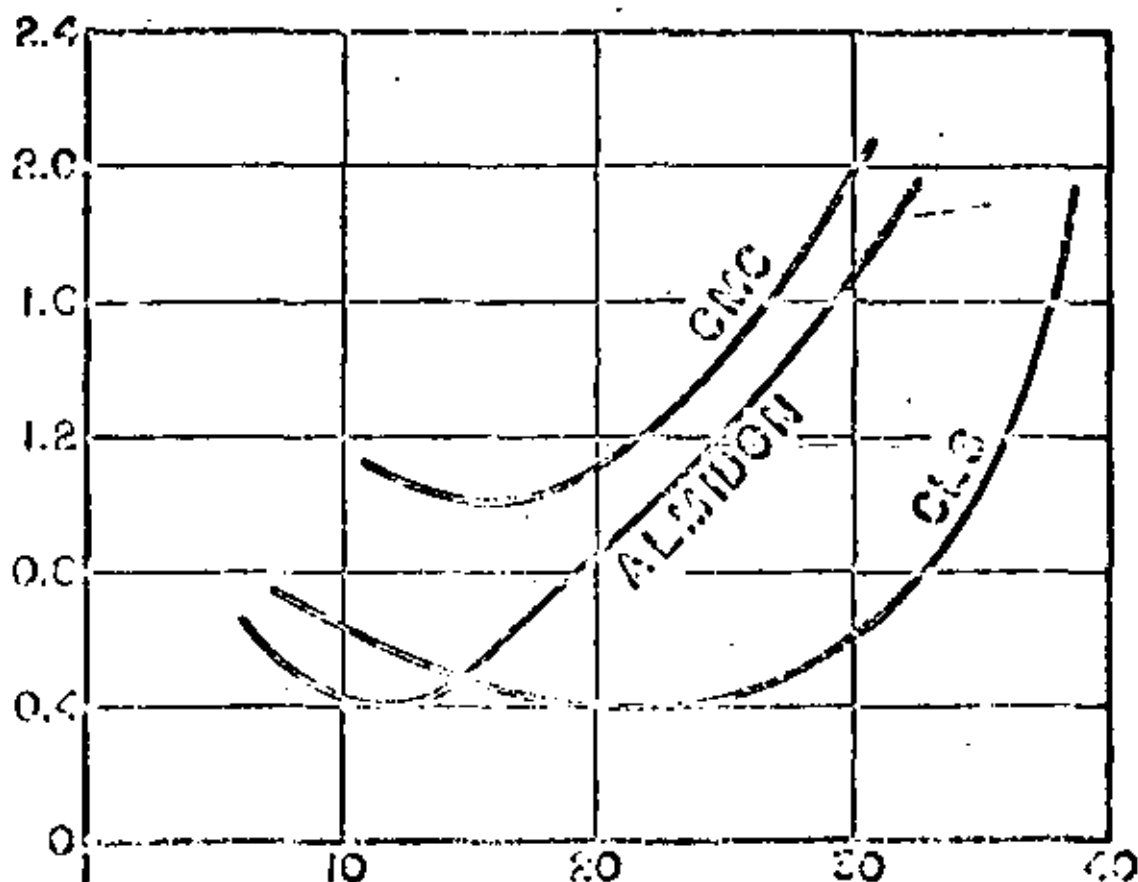
El pH se define como el logaritmo negativo del contenido de iones hidrógeno H^+ y se puede describir como:

$$pH = -\log H^+ \quad (16)$$

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:

$$H^+ \times OH^- = 1 \times 10^{-14} \quad (17)$$

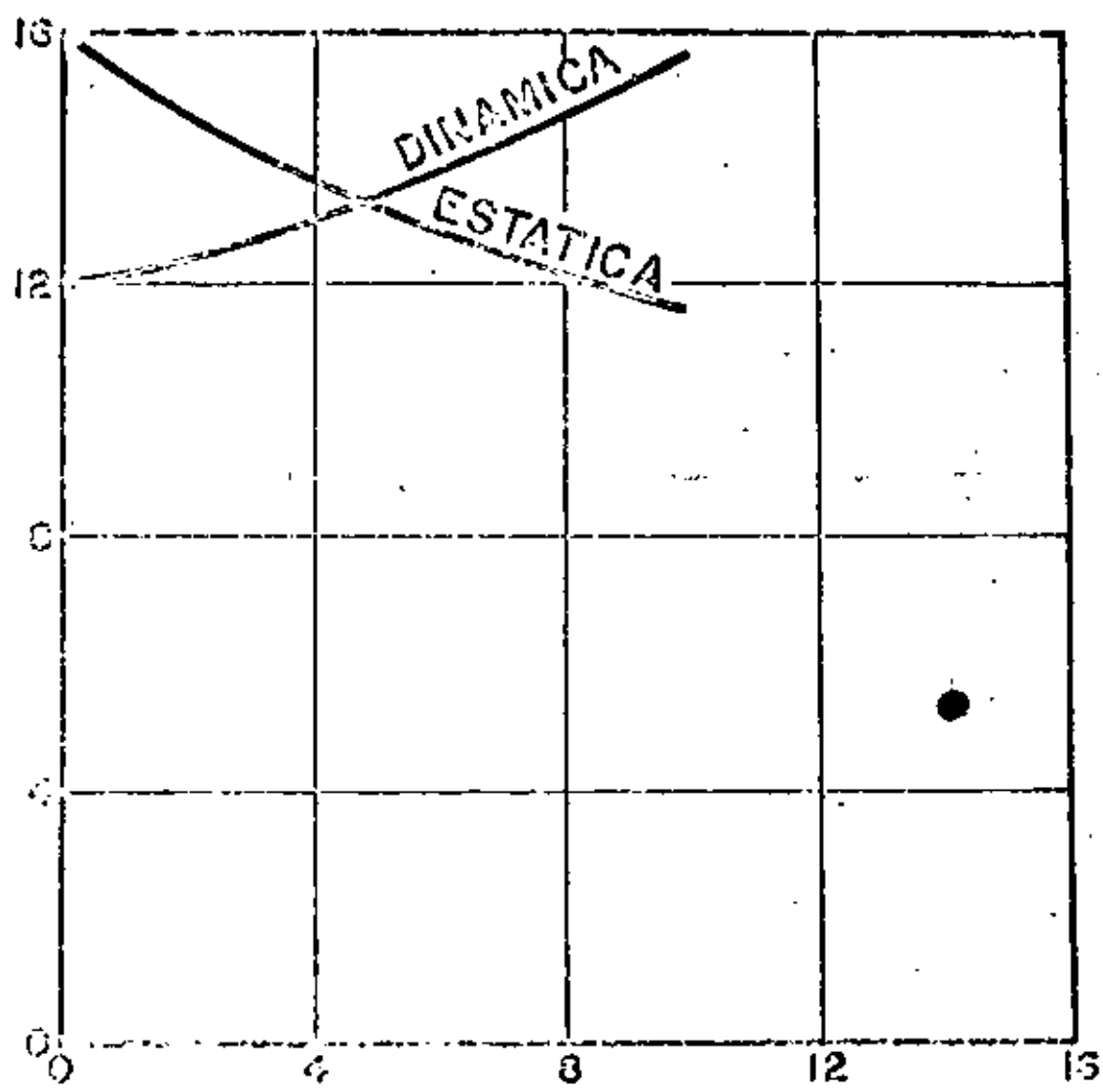
PERDIDA DE FILTRADO DINAMICO, cc./hr.



PERDIDA DE FILTRADO ESTATICO A 300 PSI, 150°F Y 30 MIN. (cal.)

FIG. 6 RELACION ENTRE LA PERDIDA DE FILTRADO ESTATICO Y DINAMICO DE ALCUNOS LODOS

CAUDAL DE FILTRADO c.c./hr.



% DE ACEITE EN VOLUMEN

ESECTO SOBRE EL FILTRADO
Y DINAMICO POR LA ADICION
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 hidróxido es extremadamente importante en lodos pasados sujetos a altas temperaturas (más de 250°F), ya que los extractos orgánicos de viscosidad trabajan mejor en un medio de alto pH. El contenido de iones hidróxido limita la solubilidad del calcio, el cual es un contaminante en un lodo base agua, mientras que un alto contenido de iones hidróxido tiene efectos perjudiciales en otros contaminantes, como el cloruro de sodio.

No es común para un lodo de agua dulce, espesarse cuando se concentra, es decir, a lodo u otro contaminante, sino que el lodo se espesa debido a la floculación de las arcillas, observándose que este efecto se reduce considerablemente al incrementarse el pH.

Existen dos métodos para medir el pH del lodo de perforación. El primero es un método colorimétrico, modificada que usa papel pilydon en el cual se agregan gas y agua es muy confiable cuando el lodo contiene alta salinidad. El otro método es el de electro medición 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 el lodo en 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 colda 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 Deroide, se usa para medir la resistividad del lodo, del filtrado y del enjare, el cual tiene un rango de medición de 0.01 a 10 ohm-in²/m; la conductividad del medio, se calcula tomando el recíproco del valor obtenido de la resistividad.

c) ESTABILIDAD A LA TEMPERATURA.

El lecho 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, teniendo 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 apropiada para la perforación.

El lodo se coloca en una celda con un cilindro de fierro en su interior, y está sujeta de un campo magnético formado por dos bobinas, una superior y otra inferior, que accionan a un cierto intervalo de tiempo y producen un espesamiento relativo y dependiente del cilindro; al espesarse el lodo es más viscoso se mueve más lento y por medio de un micrófono se envía una señal de trabajo a una medición que la compara con el intervalo de trabajo de cada tiempo, obteniéndose como resultado un milivoltaje, el cual se amplifica y se envía en un registrador de dos canales. La señal de espesamiento del lodo se grafica conjuntamente con la temperatura y a llegar al valor obteni-

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 Baroid, 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 va-
rios 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 apli-
can 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 indi-
ca 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, principal-
mente 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 ele-
ve 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 color específico.

h) COMPOSICION DEL LODO.

Más que una propiedad del lodo, es una característica de la cual de penden 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. Tam bién 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 vaporicen 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 g/cm^3) y de la baja densidad (2.5 g/cm^3) se calcula como sigue:

$$\% \text{ Volumen sólidos de alta densidad} = (\text{Densidad promedio de los sólidos} - 2.5) \times 55.6 \quad (21)$$

$$\% \text{ Volumen de sólidos de baja densidad} = (100 - \% \text{ Volumen sólidos de alta densidad}) \quad (22)$$

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 los fluidos 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 larita, arena y caliza, no adsorben azul de me

lileno. Algunos valores típicos de capacidad de intercambio se anotan a continuación:

	Miliequivalentes/100 g de muestra base seca

Santonita 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 el 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 enrojecido de metilo (pH de 3.1 a 4.3); los mililitros gastados con la fenolftaleína, se reportan como alcalinidad a la fenolftaleína (P_f) y los mililitros gastados con el enrojecido de metilo, incluyendo P_f , se reportan como alcalinidad total (M_f)

Para determinar el contenido de cloruros en el filtrado del lado 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 (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-Mtúraxida) y una solución buffer. El punto final de la titulación, es el cambio de color al púrpura y el resultado se reporta como ppm 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 requieren otras determinaciones específicas, como cantidad de potasio, de sulfuros, etc.

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⁽⁸⁾.

En el caso de una disminución de densidad, se puede deber a lo -

siguiente: 1) Dilución del lodo por desqueido, 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 emulsión 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-

capacidad 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.

Por 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⁽⁹⁾ 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 anulares; sin embargo, los valores de viscosidad plástica y punto de cedencia, son buenos para tratamiento de lodo y son 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; éstos 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 empleada; 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⁽¹⁰⁾, 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.

e) 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 API-AT 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 Cactus 51, Sitio Grande 25 y Conduacán 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 estabilizadores del lodo. Estos lodos son flocculados cuando se continúan 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 ablandadores 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 consisten 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⁽¹¹⁾ 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 alga pulgita para mejorar esta propiedad, una arcilla hidratable en agua salada.

a) Agua salada y

1) 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 coluido orgánico 2) de media a alta gel a menos que se utilice un reductor, 3) baja pérdida de suspensión a menos que se le trate con alga pulgita y un coluido orgánico. También tienen la propiedad de formar espuma, la cual se controla con la adición de agentes activos de superficie y con substancias químicas para inducción 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 controlar el filtrado antes de llegar al domo salino y por medio de coloides orgánicos 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 viscosidad, 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 coloides orgánicos, para la perforación de la zona de lutitas del Arco de Reforma, Chis. Se han perforado 4 pozos y se ha tenido éxito en 2 de ellos, al perforar todo el intervalo.

C) Lodos calcícos (foliculantes).

Estos lodos contienen calcio como un elemento esencial del sistema. Este elemento se puede agregar como cal hidratada, cemento, sulfato de calcio, cloruro de calcio o pueden ser incorporados al sistema al perforar ce-
mento, anhidrita o yeso. Se usan muy poco en la actualidad.

- a) Bajo cal y b) Alta cal.

Para preparar estos lodos, se les agrega sosa, un reductor orgánico de viscosidad, cal hidratada y un coloidal orgánico para controlar el filtrado: - con este tratamiento se obtiene un pH de 11.8 o más y el contenido de calcio en el filtrado, varía de 3 a 20 ppm. Estos lodos exhiben baja viscosidad, baja gel, buena suspensión de los materiales pesados, facilidad del control de su densidad, tolerancia a alta concentración de sales y facilidad en el mantenimiento de bajo filtrado.

Una de las ventajas que presentan, es la buena capacidad para ocupar un grande número de orificios perforados a velocidades más bajas que otros tipos de lodos. La desventaja principal es la tendencia a solidificarse al contacto con las altas temperaturas de pozos profundos.

Hay dos tipos: a) baja cal y b) alta cal, que han sido desarrollados para mejorar este inconveniente de la solidificación a la temperatura. El de alta cal contiene mayor cantidad de sosa y cal, con excesos que varían de 5 a 8 lb/3bl, mientras que los de baja cal contienen misma cantidad de sosa y menor de cal de 2 a 4 lb/3bl. Se han recomendado estos sistemas para perforar lutitas hidratables.

c) Lodos de Yeso.

Estos lodos han sido útiles para la perforación de anhidrita y yeso, especialmente cuando estas formaciones están intercaladas con sal y lutita. El tratamiento es acondicionar el lodo base con sulfato de calcio, antes de perforar la anhidrita; con la adición de esta sustancia, las viscosidades y gelatinosidades se mantienen bajas. Después de que la arcilla del lodo ha reaccionado con el ion calcio, no se presenta un espesamiento posterior. El control de la filtración se efectúa por medio de coloides orgánicos y debido a que el pH es bajo, se requiere normalmente algún preservativo para evitar la fermentación.

d) Lodos de Cloruro de Calcio u otros Cationes Polivalentes.

Con sales de calcio diferentes a la cal hidratada y el yeso, no han tenido aplicación en el campo; sin embargo, se han utilizado otros cationes polivalentes y un intercambio iónico con la arcilla, como el hidróxido de bario.

D) Lodos de Bajos Sólidos.

Este tipo de lodo es el que se ha introducido recientemente, en el cual se ha sustituido o disminuido la cantidad de bentonita, mediante la adición de polímeros, de tal manera que el contenido de sólidos se ha disminu-

do hasta masas de 7% en volumen. En México se han efectuado algunas pruebas de campo, principalmente con el objetivo de utilizar estos leños en zonas de lutitas delaminables. Estos sistemas también se les conoce como "no dispersos"⁽¹²⁾.

E) Leños emulsionados.

Estos leños 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 mismas 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 tensión en la zona de perforación.

Las ventajas de estos leños, son: 1) Incrementar la vida de la barrena, b) Aumentar la velocidad de penetración y c) Disminuir el embolicamiento de la barrena y la tasa de perforación. El lodo funciona igual al tratamiento y a la contaminación que cuando no tiene aceite. Este tipo de lodo es muy usado en el campo.

F) Lodos de Silicato de Sodio.

La fase líquida de este lodo, consiste en aproximadamente 65% en volumen de silicato de sodio y 35% de solución saturada de sal. Estos lodos fueron desarrollados para la perforación de lutitas, pero han sido cambiados por los lodos tratados con cal-yaso-lignosulfonato y los lodos surfagantes que son más fáciles de manejar.

2) Lodos Base Aceite.

En estos lodos el aceite es la fase continua y el filtrado es únicamente aceite. Pueden formularse con bajo contenido de agua (3 a 5 % en volymen), como para solubilizar totalmente los materiales solubles en agua, empleados en la formulación. También se puede emulsionar una cantidad variable de agua, de 20 a 70%, de tal manera que el lodo se puede clasificar como una emulsión de agua en aceite, llamada comunmente "emulsión inversa". La cantidad de agua incorporada, depende de varios factores, como son: las temperaturas encontradas en el fondo del agujero y los requerimientos operacionales del lodo durante la perforación, obtención de núcleos u operaciones de terminación.

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 lútilas sensibles al agua. La presión osmótica de un lodo de aceite, en contacto con lútilas, es una función de la diferencia de las concentraciones salinas de la fase acuosa del lodo y el agua de hidratación de la lútila; la actividad⁽¹³⁾ 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 lútila.

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 relacionado con el poder de emulsificación del agua y el aceite. Se han efectuado pruebas⁽¹⁴⁾ para conocer el efecto de la temperatura y la presión sobre la viscosidad de los lodos base aceite.

BIBLIOGRAFÍA

- 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 Aguas Dulces, 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*
Arctic.- 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.

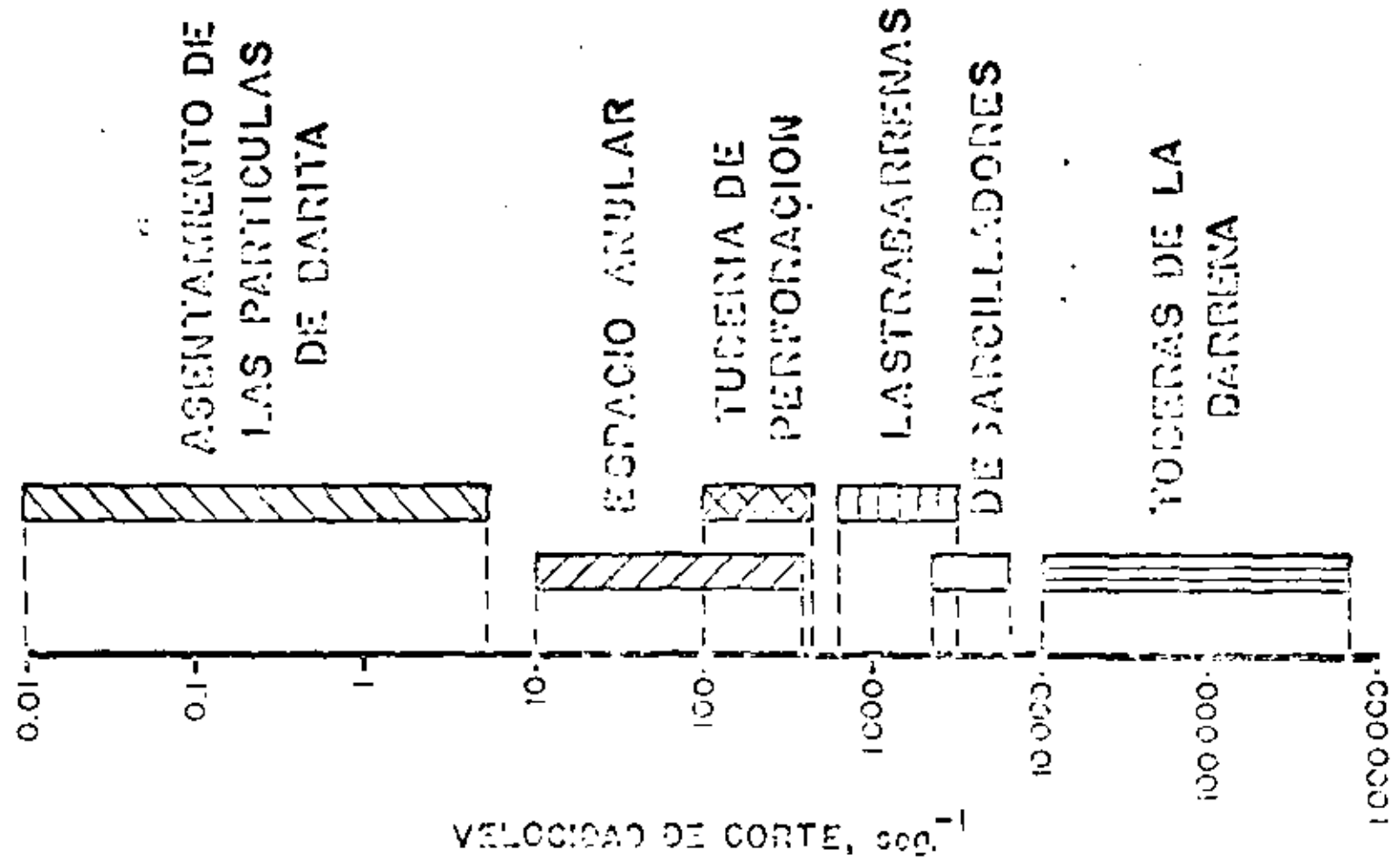
- 7) Krueger F.R. - Evaluation of Drilling-Fluid Filter-Loss Additives Under Dynamic Conditions. - Journal of Petroleum Technology. - Enero 1963. - páginas 90-98.
- 8) Solids Control in Weighted Drilling Fluids. - L.H. Robinson y J. K. - Hailhecker. - SPE 4644. - Society of Petroleum Engineers of AIME. - Oct. 1973.
- 9) Thinning agents control flow properties of mud. - W. C. Browning World Oil. - Feb. 1960.
- 10) Clay Chemistry and Drilling Fluids. - W. C. Browning y A.C. Parricone - SPE 540. - Society of Petroleum Engineers of AIME. - Junio 1963.
- 11) Lignosulfonate Drilling Mud Conditioning Agents. - W. C. Browning y A.C. Parricone. - SPE #32. - Society of Petroleum Engineers of AIME. - Oct. 1962.
- 12) Non-Dispersed Weighted Muds. - Duane R. Anderson. - SPE 3990 Society of Petroleum Engineers of AIME. - Oct. 1972.

- 13) Slurle Control with Balancus Activity Oil Continous Muds.- M. E. Chenevert.- Society of Petroleum Engineers of AIME.- Sept. 1969
SPE-2559

- 14) The Effect of Temperature and Pressure on the Viscosity of Oil Base Muds.- W. C. Mc Mardie Jr. y R. B. Bennett.- SPE 4974, Society of Petroleum Engineers of AIME.- Oct. 1974.

A P E N D I C E

RANGOS APROXIMADOS DE LA VELOCIDAD DE CORTE EN EL SISTEMA DE CIRCULACION DEL FLUIDO DE PERFORACION



REGION: 30 (COSTA RICA) ...

POZO: CERRILLOS

REGION	POZO	ANOS	CULTIVACION	CULTIVACION	CULTIVACION	CULTIVACION	CULTIVACION	CULTIVACION	CULTIVACION	CULTIVACION	CULTIVACION	CULTIVACION	OBSERVACIONES			
												
30	CERRILLOS	1973	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.63	1.22	2653	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1974	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.64	1.26	2655	
30	CERRILLOS	1975	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.74	0.82	2777	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1976	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.66	1.11	2646	
30	CERRILLOS	1977	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.66	1.30	2677	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1978	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.59	2.43	2901	
30	CERRILLOS	1979	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.65	1.96	2935	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1980	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.67	1.90	2935	
30	CERRILLOS	1974	>120	>120	<65	80-91	2.0	540	24	57/43	-	-	-	-	2733	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1975	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2733	
30	CERRILLOS	1976	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.76	6.91	2935	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1977	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.67	1.55	2972	
30	CERRILLOS	1978	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.91	2.61	3094	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1979	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.76	0.87	3095	
30	CERRILLOS	1977	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.74	0.59	3103	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1978	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.91	0.26	...	
30	CERRILLOS	1979	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.76	0.71	...	CERRILLOS
30	CERRILLOS	1980	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Se empleó el método de la formación.

II. INTERPRETACION DE LOS ANALISIS

POZO S. G. 95

FECHA	DENSIDAD g/cm ³	VISCOSIDAD cP	REOLOGIA				GELES lb/100ppm	ALUMINOS PpM	CLORURO p.p.m	% SOLIDOS	% ACEITE	FILTRADO API ml.	OBSERVACIONES			
			v ₁	v ₂	v ₃ lb/100ppm	TEMP °C.							1	2	PROF	COMENTARIO
16-Sept	1.43	53	37.5	29	17	65	20-43	18-41	126,000	22	10	5.0	0.69	0.66	3772	Ecuano y Galapago
17-Sept	1.43	53	45	25	49	40	50-160	20-44	140,000	22	10	5.2	0.46	0.69	3756	
18-Sept	1.55	60	45.5	25	37	45	62-65	21-43	165,000	22	10	5.5	0.77	3.47	3735	
19-Sept	1.50	63	53	14	33	62	70-120	19-44	145,000	22	10	5.8	0.33	0.66	3854	
22-Sept	1.45	55	25	12	26	60	42-80	18-42	136,000	22	10	8.5	0.33	3.56	3354	
23-Sept	1.47	55	38.5	30	17	-	4-15	19-41	140,000	22	9	6.5	0.69	0.64	3967	
24-Sept	1.56	69	59.5	17	25	57	4-18	15-32	149,000	24	8	5.0	0.70	0.92	3370	
25-Sept	1.53	68	58	45	26	-	4-18	14-36	165,000	24	9	5.0	0.69	0.96	3870	
26-Sept	1.53	68	56	43	26	60	5-18	14-35	160,000	23	8	5.0	0.68	0.99	3929	
27-Sept	1.57	88	76	59	34	57	8-38	13-38	165,000	25	9	5.0	0.69	1.26	3971	
28-Sept	1.55	75	65	53	24	-	3-32	14-34	150,000	25	9	5.0	0.73	0.81	3985	
29-Sept	1.55	55	42.5	35	15	60	3-13	11-30	140,000	24	9	6.6	0.74	0.50	4054	
1o-Oct	1.55	60	57	47	20	57	3-8	12-30	142,000	24	7	5.5	0.74	0.66	4077	
2 - Oct	1.54	58	55	43	18	57	2-8	11-28	144,000	24	8	5.0	0.76	0.56	4080	
3 - Oct	1.52	70	42.5	32	21	60	3-31	11-27	140,000	25	8	7.0	0.66	0.86	4081	
4 - Oct	1.55	85	70.5	64	22	22	3-8	11-29	147,000	25	7	3.5	0.73	0.76	4082	

65

113

FLUIDOS DE PERFORACION Y SU CONTROL

TIPO DE LODO Polimero

II. INTERPRETACION DE LOS ANALISIS

POZO Conducción 10

FECHA	DENSIDAD gr./cm.	VISCOSIDAD seg.	REOLOGIA				GEL (100g)	FILTRADO A.P.I. ml.	pH	ALCALINIDAD Pp'	CLORUROS ppm	% SOLIDOS	OBSERVACIONES			
			Vg cc	Vp cc	Fc IN / 100 ppm	TEMP. °C.							1	2	3	4
5 - Junio	1.45	47	30	20	32	57	4-5	12	9	0	62,000	18	0.69	0.25	2300	2300
6 - Junio	1.45	47	24	21	45	57	6-7	6	8	0	65,000	18	0.69	0.27	2325	
7 - Junio	1.43	43	32.5	26	13	60	5-12	13	6.5	0	70,000	21	0.71	0.47	2010	2010
8 - Junio	1.47	50	37.5	30	15	57	7-12	16	6	0	63,500	22	0.71	0.54	2374	
9 - Junio	1.47	51	32.5	22	21	60	13-18	72	7	0	60,000	25	0.58	1.15	3015	3015
10 - Junio	1.47	45	41	34	10	43	3-8	13	11	0	51,500	28	0.69	0.68	3021	
11 - Junio	1.47	54	42	36	12	57	3-7	11	9	0	57,500	23	0.78	0.37	3021	3021
12 - Junio	1.51	56	37.5	33	9	58	1-5	14	9	0	51,000	25	0.31	0.27	3030	
13 - Junio	1.54	54	37	32	10	40	4-6	17	9	0	63,000	25	0.79	0.30	3141	3141
14 - Junio	1.53	45	62.5	56	19	55	6-7	8.6	9	0.4	56,500	24	0.76	0.50	3155	
15 - Junio	1.52	60	51	46	10	57	4-6	8.8	9	0	53,500	24	0.84	0.30	3203	3203
16 - Junio	1.50	62	64	55	16	54	3-4	6.2	11	0.4	36,500	22	0.78	0.54	3250	
17 - Junio	1.52	52	49.5	41	17	40	3-4	5.6	12	0.8	45,000	23	0.75	0.54	3275	3275
18 - Junio	1.50	60	49	41	16	60	3-4	4.3	12.5	0.6	41,500	23	0.73	0.44	3302	
19 - Junio	1.46	57	35.5	32	9	55	2-4	2.4	10	0.3	54,000	22	0.81	0.26	3320	3320
20 - Junio	1.46	55	33	27	12	60	2-4	4.0	9.5	0.2	59,500	24	0.75	0.41	3320	





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA A GUA

PERFORACION A ROTACION CON
AIRE

ING. ANDRES BENTON CUELLAR

JUNIO, 1979.

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.

Método de Perforación.

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

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

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

- 1.- Lubricación de las herramientas
- 2.- Enfriamiento de la broca
- 3.- Limpieza del fondo del pozo
- 4.- Extracción de los cortes del barrenado

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 fluidos existentes en la formación, por lo que es evidente que no debe utilizarse en formaciones sueltas o fácilmente deformables que no presenten una compacidad 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.

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

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

En resumen, el aire como no proporciona la acción de soporte de las paredes puede ser utilizado únicamente en formaciones que se sostengan aún después de ser perforadas, no 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 rápida 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 burbujas formadas por el espumante.

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

B r o c a s .

Existen brocas especialmente diseñadas para la perforación con aire y como en todos los casos cada fabricante tiene una diferente nomenclatura para sus tipos de barrenas para utilizarlas de acuerdo al tipo de material de que se trate, en el caso de los martillos

de perforación generalmente son de insertos de carburo de tungsteno y construídas formando una sola pieza con el zanco, sobre el que golpea el pistón, pero también pueden ser utilizadas las brocas tricónicas conectadas a través de un zanco especial construído con ese objeto. Los fabricantes de brocas tricónicas no las garantizan en su uso para martillos por no estar construídas para este tipo de trabajo, pero pueden utilizarse adecuadamente teniendo la precaución de solicitar la broca para aire "air blast", en el caso de perforación de basaltos y otras rocas de muy alta dureza es conveniente una revisión periódica para poder detectar cualquier falla en los planos de contacto de los conos con toda oportunidad.

E s p u m a n t e s .

El espumante (perfoam) es un detergente sintético que tiene propiedades de producción de alta espuma y que se obtiene neutralizando un ácido con un alcali dando una sal soluble con la propiedad de hacer mas espuma que el jabón. Además, se le adicionan fosfatos solubles que tienen la función de reducir la dureza de los iones de Ca. y Mg., formando un complejo soluble en agua, ablandándola, lo que permite que se haga mas espuma, además con estos fosfatos se logra mejorar las condiciones de tensión superficial de la espuma.

Vienen envasados en tambores y aislados con bolsas impermeables para evitar su contacto con la atmósfera, puesto que se producen hon

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 substancias 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

la circulación, cuando la producción de espumante y corte que se observa a la salida del pozo es continuada y sin variaciones notables, podemos considerar que se tiene balanceada la mezcla.

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

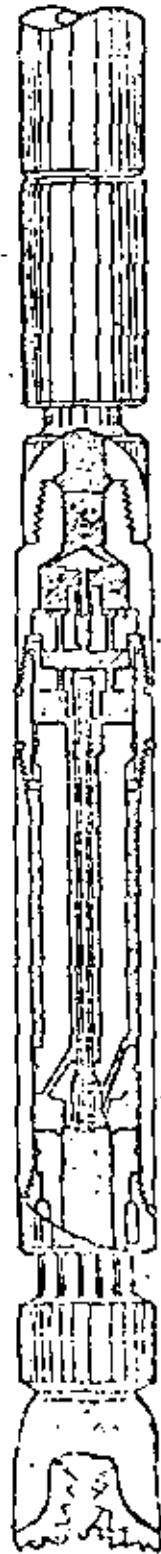
Perforación con Martillo Neumático (Sistema Down The Hole)

Antecedentes.

La perforadora de roca fue probablemente la primera herramienta neumática. 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 uso 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 1866 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,

minas y supercarreteras, han podido construirse con mayor facilidad, grandes presas y plantas hidroeléctricas, canales, tuneles, 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 reciprocante 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 uso 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 demasiado 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 Akaska.

El Martillo Neumático " DOWN HOLE"

Este es el martillo mas eficiente de todos, y el pistón golpea directamente sobre la broca y practicamente 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

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 redundará en un menor deterioro de éste.

El método exige la utilización de aire a una presión de cuando menos 250—

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

De acuerdo al diámetro de perforación se utilizan volúmenes de aire entre 450 y 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, podemos considerar que la realizada con martillo neumático es la mas 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 mas vertical posible.

Durante la perforación con martillo pueden encontrarse estratificaciones de

materiales duros, 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 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 triconica, 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 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 reciprocante y tiene una cámara donde admite y exp-

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 más 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 12 1/4" de ϕ 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.

Prácticamente 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 pies/min., aún la perforación de 8 5/8" de diámetro con tubería de 4 1/2" nos da 2540 pies/min. con 750 PCM y al perforar en 12 1/4" de ϕ con tubería de 5 1/2" de ϕ y 1500 PCM tenemos velocidades de retorno de 2300 pies/min., el rendimiento óptimo en este último caso se obtendrá al utilizar 2100 PCM con una velocidad de retorno de 3200 pies/min.

Presiones Necesarias.

Cuando se perfora directamente con broca tricónica y aire se necesitará una presión suficiente para vencer la carga piezométrica en el acuífero por atravesar mas las pérdidas de carga en el sistema, lo que nos permite perforar en algunos casos con compresores de baja presión, con las limitaciones que esto nos produce, siempre es recomendable la utilización de compresores que nos den una presión adicional que nos 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 piezométrico, que podrá mostrarse con un incremento violento de la presión de trabajo en nuestros manómetros y en forma evidente en el volumen de agua que retorna del pozo, esto en el caso de acuíferos confinados, 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 bombas 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 bombas con la mayor verticalidad posible en esa zona, el ritmo de perforación tratándose de una misma formación es practica-

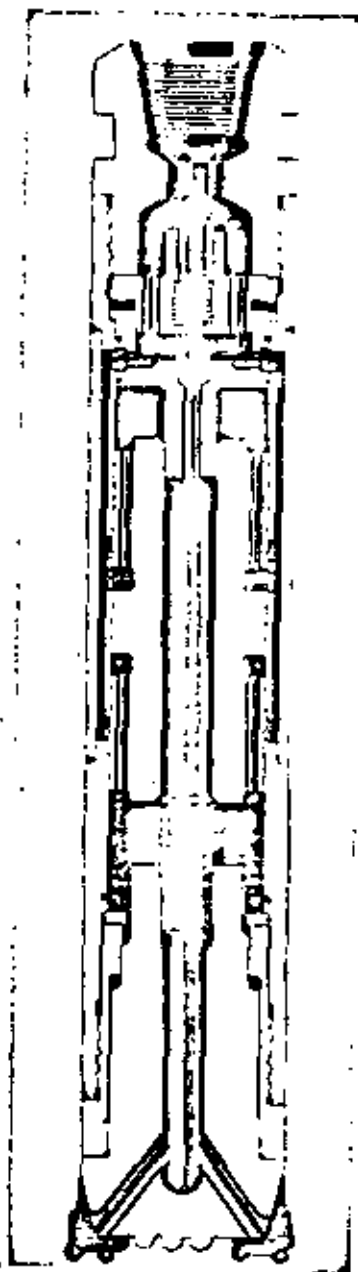
mente el mismo desde el inicio del pozo, a pesar de que no se puede aplicar el peso de lastrabarrenas, además se transmite el menor esfuerzo a la perforadora, logrando así que se tenga el menor deterioro posible del equipo. - Cuando ya no es posible utilizar el martillo ya se tiene la posibilidad de - - 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 encontrarse el martillo plano de contacto entre materiales duros y suaves.

Es recomendable diseñar el sistema compresor, perforadora, mangueras y conexiones con diámetros amplios y válvulas de seguridad adecuadas, así como con sus válvulas check horizontales para evitar contrapresiones que no 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 pérdida de tiempo correspondiente.

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

TABLE D. TOTAL WEIGHT ON BIT

	400	1000
	600	1500
	900	2300
	1500	3600
	1900	4700
	5100	7600

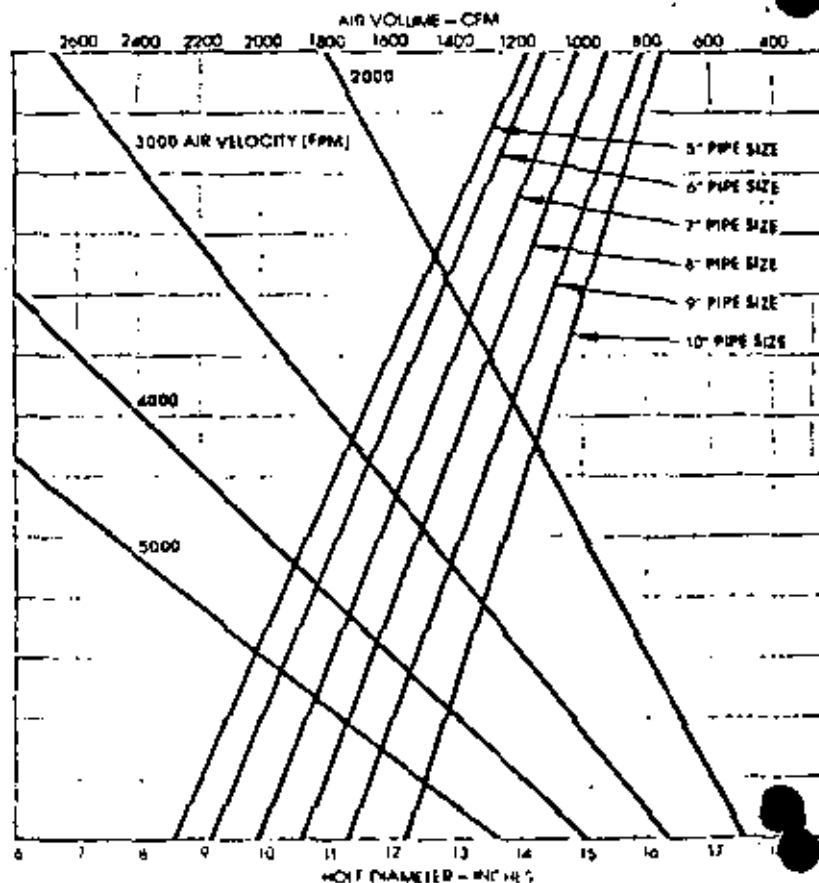
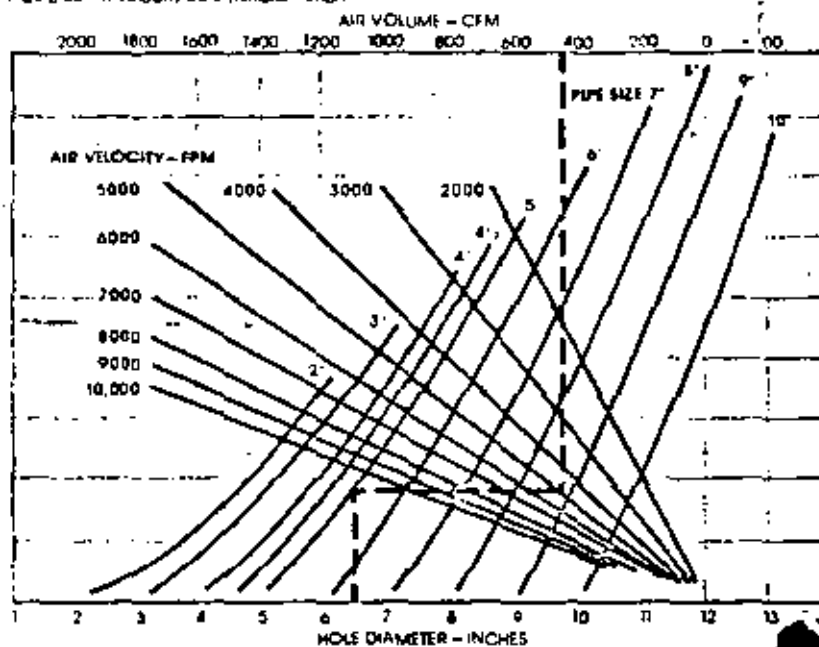


	105	-	170	-	220	-	290	-	3	36-1/2 | 39-1/4	
	140	-	205	-	260	-	330	-	3-17/32	41-3/4 | 45-3/8	
	190	295	285	410	400	570	570	805	4-3/8	43-7/8 | 47-1/2	
	365	510	460	660	620	885	760	1085	5-3/8	51 | 55-3/8	
	180	325	300	500	430	695	565	890	5-7/16	46-5/16 | 51-5/16	
	475	725	575	965	790	1260	1090	1670	6-3/8	55 | 60-3/16	
	660	920	800	1160	NO RECOMENDADO ARRIBA DE 150 LPC				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 6½-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) or 4700 fpm.

Figure 28. 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 recíprocante, 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, corresponda 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 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 30% (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 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 cople, niples, 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

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.- Prover 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 prover la potencia necesaria que dará velocidad al fluido de perforación.

Métodos de Compresión.

Existen 4 métodos para comprimir un gas.

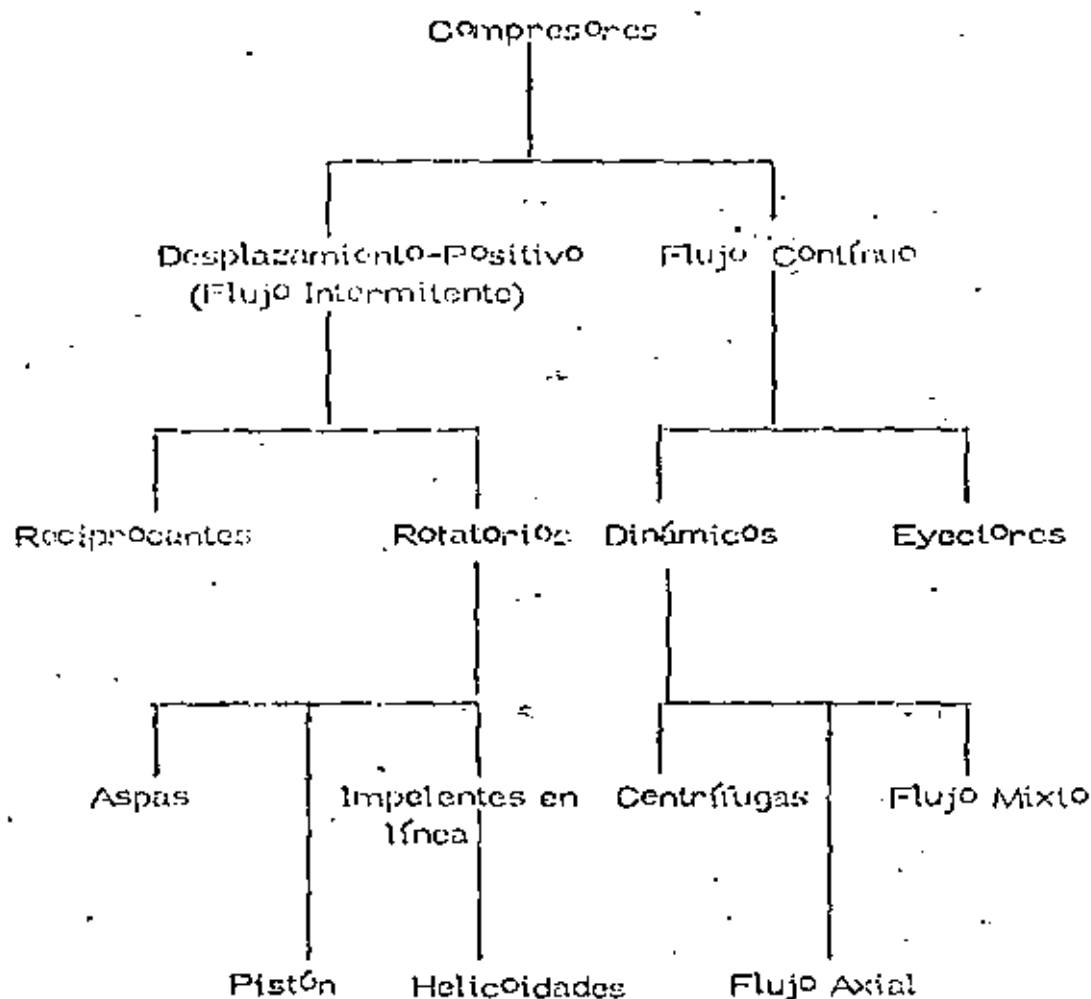
Dos del tipo intermitente y dos de flujo continuo.

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 vele- -- cidad y presión al gas que está circulando, la velocidad es posterior -- mente 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 so- -- bre 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 normalmen -- te operan con vacío en la succión.

TIPOS DE COMPRESORES.



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 Reciprocantes.** - El elemento de desplazamiento y - compresión es un pistón que tiene un movimiento recíprocante dentro de una cámara.

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 acarrear 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.

c) De tipo mixto. Los impulsores tienen 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.

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 flujos que se utilizan para la perforación en general.

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

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

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

Este procedimiento permite trabajar con la mayor eficiencia en cuanto a la hidráulica del pozo y esto nos permitirá acarrear partículas mucho

mayores de cortes y prácticamente el tamaño de gravas o coque acarreado 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 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 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 suficiente 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

VOLUME
REQUIREMENTS
for
AIR & GAS
DRILLING

By R. R. Angel

*Drilling Engineering Division
Production Department
Phillips Petroleum Company*

ACKNOWLEDGMENT

The author wishes to express his appreciation to the management of Phillips Petroleum Company for permission to publish this material.



Published by
GULF PUBLISHING COMPANY
Houston, Texas

CONTENTS

Hole Size in Inches	Pipe OD in Inches	Air 1.0	.8 Gas Gravity	.6 Gas Gravity
17½	6½	p. 1	p. 31	p. 61
	5½	p. 2	p. 32	p. 62
	4½	p. 3	p. 33	p. 63
15	6½	p. 4	p. 34	p. 64
	5½	p. 5	p. 35	p. 65
	4½	p. 6	p. 36	p. 66
12½	6½	p. 7	p. 37	p. 67
	5½	p. 8	p. 38	p. 68
	4½	p. 9	p. 39	p. 69
11	6½	p. 10	p. 40	p. 70
	5½	p. 11	p. 41	p. 71
	4½	p. 12	p. 42	p. 72
9½	5½	p. 13	p. 43	p. 73
	5	p. 14	p. 44	p. 74
	4½	p. 15	p. 45	p. 75
9	5	p. 16	p. 46	p. 76
	4½	p. 17	p. 47	p. 77
	3½	p. 18	p. 48	p. 78
8¾	5	p. 19	p. 49	p. 79
	4½	p. 20	p. 50	p. 80
	3½	p. 21	p. 51	p. 81
7½	4½	p. 22	p. 52	p. 82
	3½	p. 23	p. 53	p. 83
7¼	3½	p. 24	p. 54	p. 84
6¾	3½	p. 25	p. 55	p. 85
6¼	3½	p. 26	p. 56	p. 86
	2¾	p. 27	p. 57	p. 87
4¾	2¾	p. 28	p. 58	p. 88
	2¾	p. 29	p. 59	p. 89

FOREWORD

This book presents the circulation rates that are required for air and gas drilling. These rates are the minimum necessary to produce velocities in the bottom of the annulus that are equivalent in lifting power to a standard air velocity of 3000 feet per minute. This standard air velocity is required for best results in drilling dry formations.

Each curve gives the air or gas requirements in standard cubic feet per minute versus depth for a particular drilling rate. Data for gas gravities of 1.0 (air), 0.8 and 0.6 are included. Circulation rates for intermediate gravities can be found by interpolation.

Each curve is a plot of solutions to the following equation:

$$\frac{6.61 S(T_s + Gh) Q^2}{(D_h - D_p)^2 V_s} = \sqrt{(P_s + b T_s) e^{a(T_s - T_w)} - b T_s}$$

$$\text{Where: } a = \frac{SQ + 28.8 K D_p}{53.3 Q}$$

$$b = \frac{1.625 \times 10^{-4} Q^2}{(D_h - D_p)^{1.422} (D_s^2 - D_p^2)^2}$$

D_h = Hole diameter, Ft.

D_p = Pipe outside diameter, Ft.

e = Base of natural logarithms, 2.71828

G = Annular temperature gradient, °R/Ft.

h = Depth, Ft.

K = Drilling rate, Ft./Hr.

P_s = Pressure in the annulus at the surface, #/Ft.² Abs.

Q = Required circulation rate, standard Ft.³/Min. (60°F and 14.7 psia)

S = Specific gravity of the gas related to air, dimensionless

T_s = Surface temperature in the annulus, °R

T_w = Average down hole temperature in the annulus, °R

V_s = Velocity of standard density air, Ft./Min.

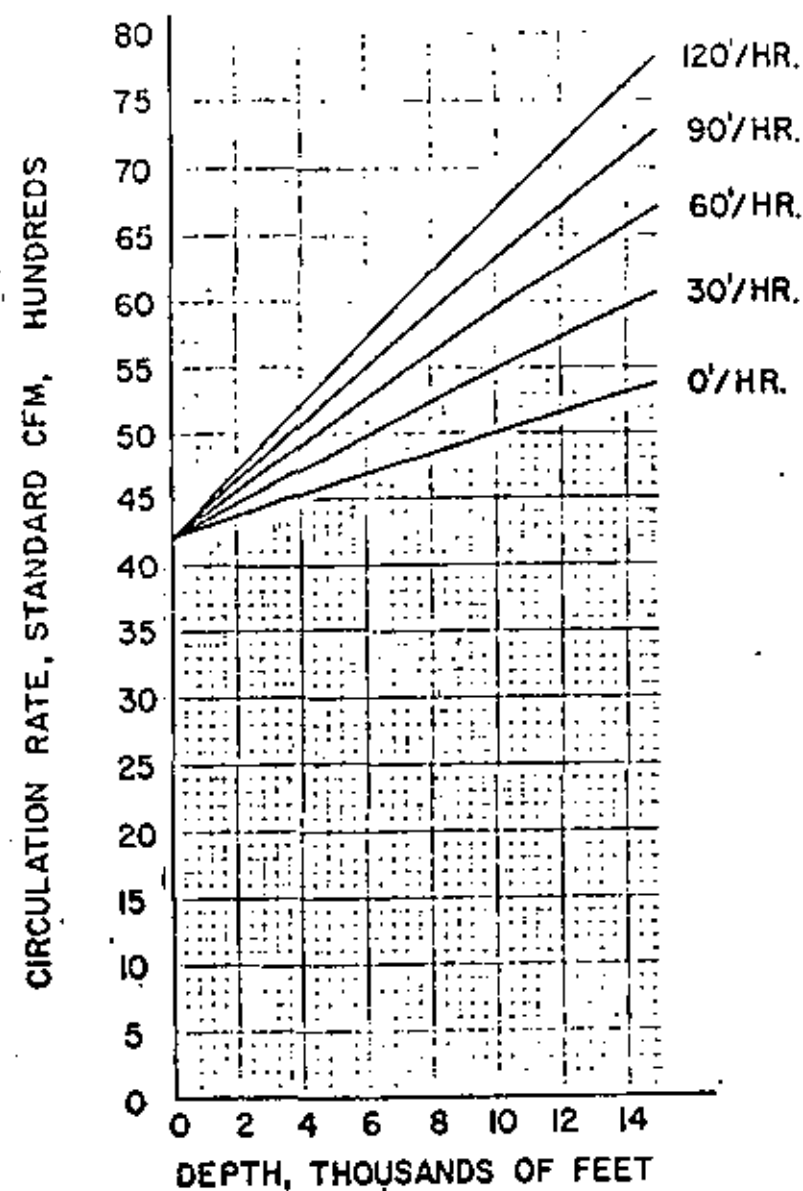
This equation includes the effect of the drilled solids on down hole pressures and velocities. It was derived by applying the Weymouth friction factor to vertical flow. This derivation was presented in the author's paper 873-G, "Volume Requirements for Air or Gas Drilling" at the annual fall meeting of AIME in Dallas, Texas, on October 8, 1957.

The solutions that are presented in this book were obtained on a digital computer. The use of this computer saved about six months of slide rule calculating.

HOLE SIZE 17 1/2" DRILL PIPE O.D. 6 5/8"

VOLUME REQUIREMENTS
FOR AIR & GAS DRILLING

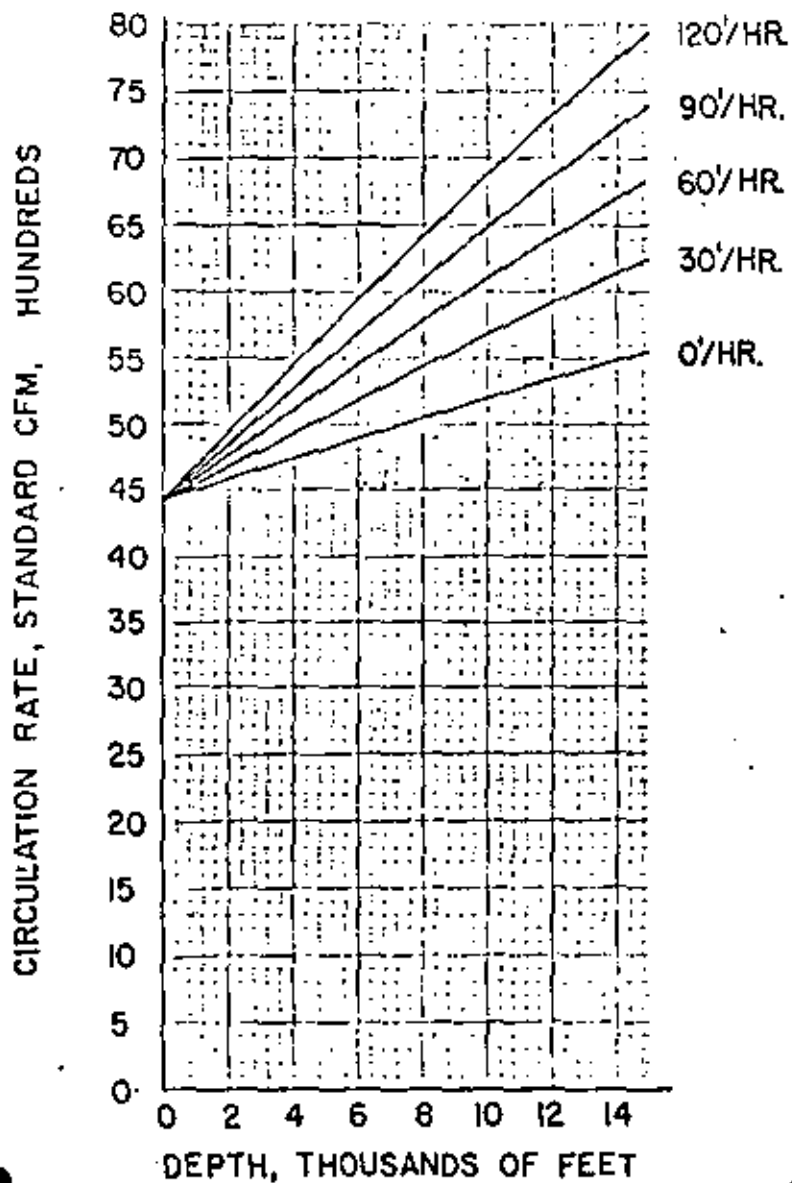
Copyright © 1958, by The Gulf Publishing Company.
Printed in the United States of America. All rights
reserved. This book, or parts thereof, may not be
reproduced in any form without permission of the
publishers.



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 17 1/2"

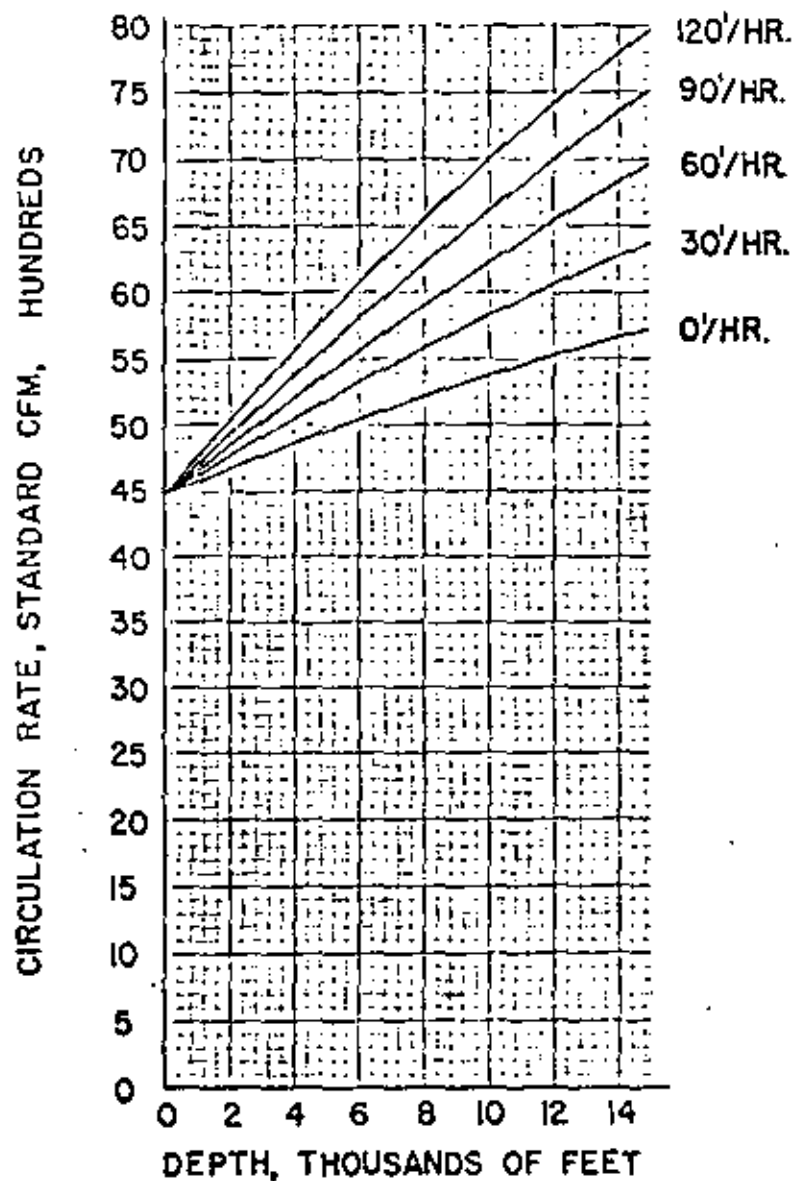
DRILL PIPE OD. 5 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 17 1/2"

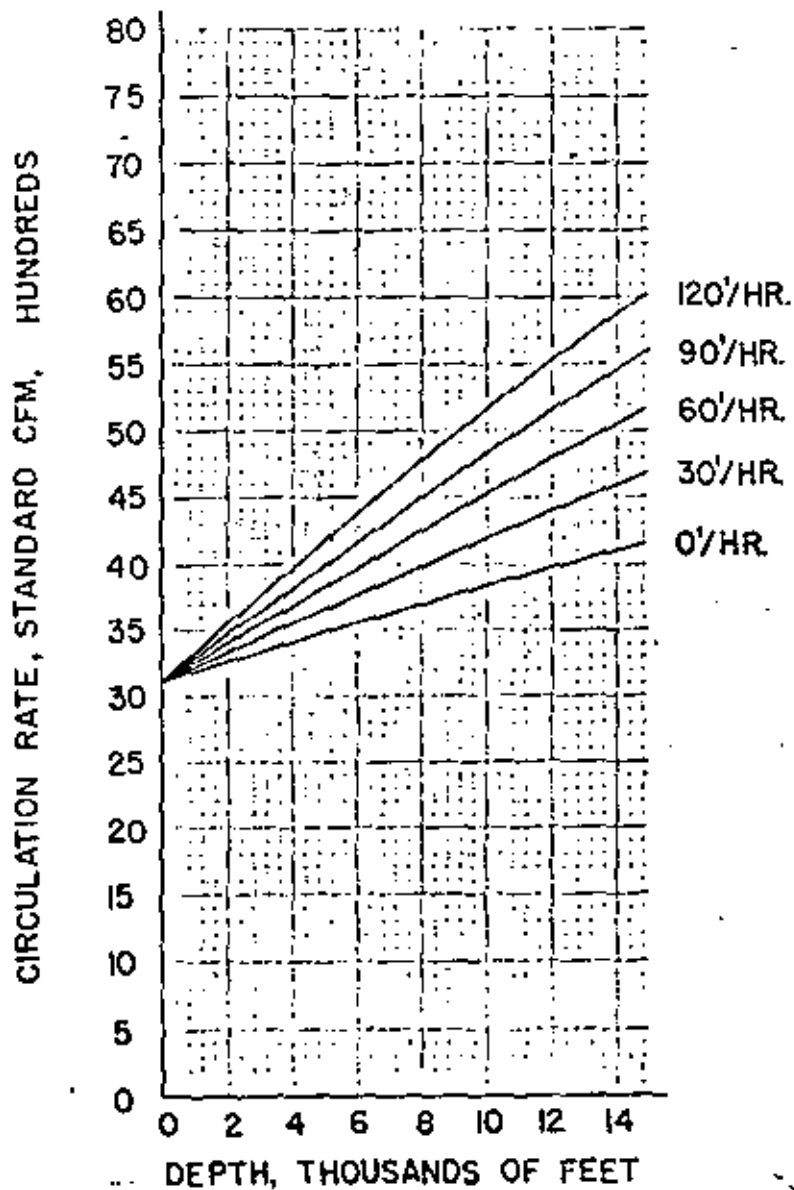
DRILL PIPE OD. 4 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 15"

DRILL PIPE O.D. 5 1/2"

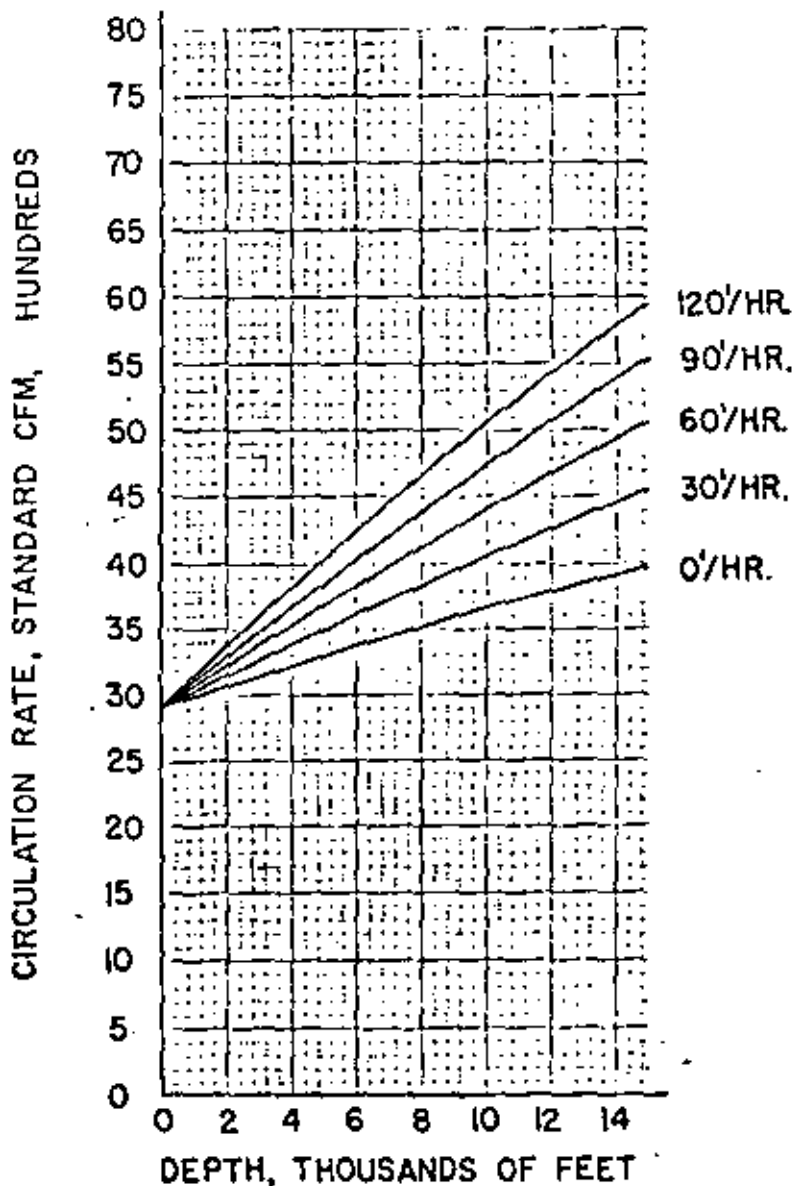


VOLUME REQUIREMENTS

GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 15"

DRILL PIPE O.D. 6 5/8"

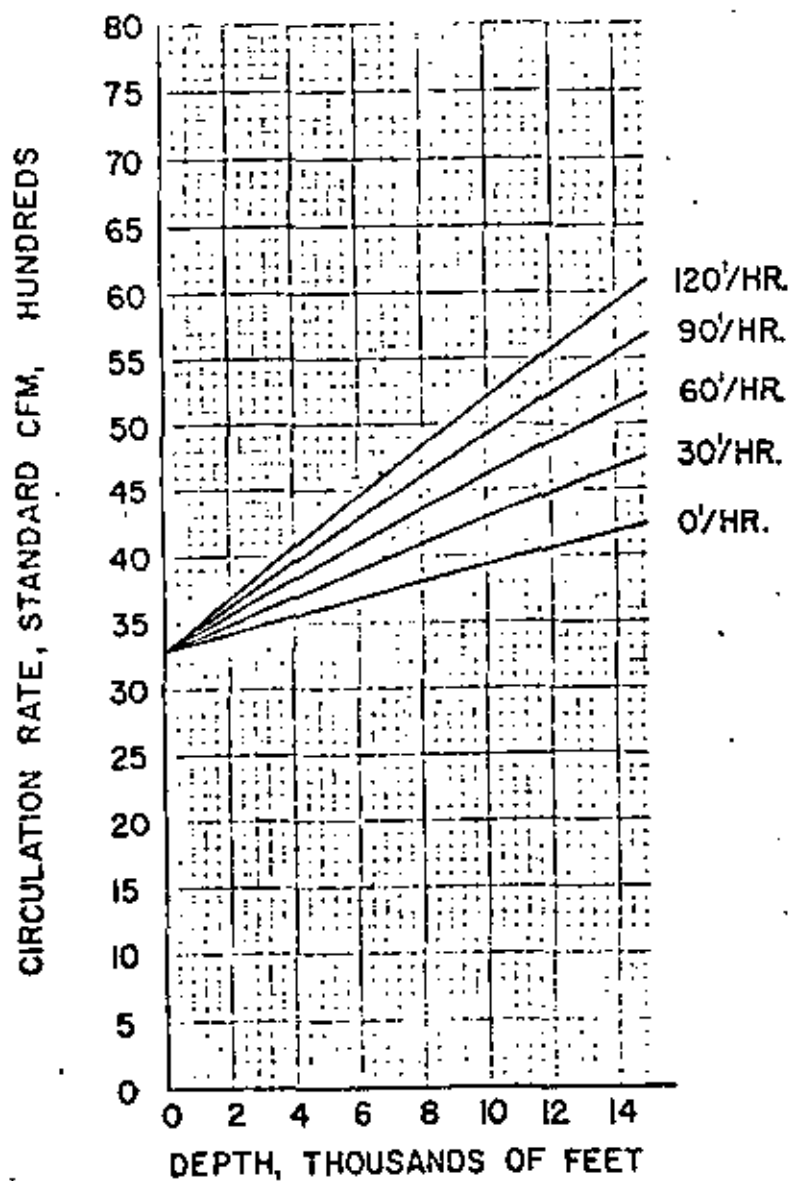


4 - VOLUME REQUIREMENTS

GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 15"

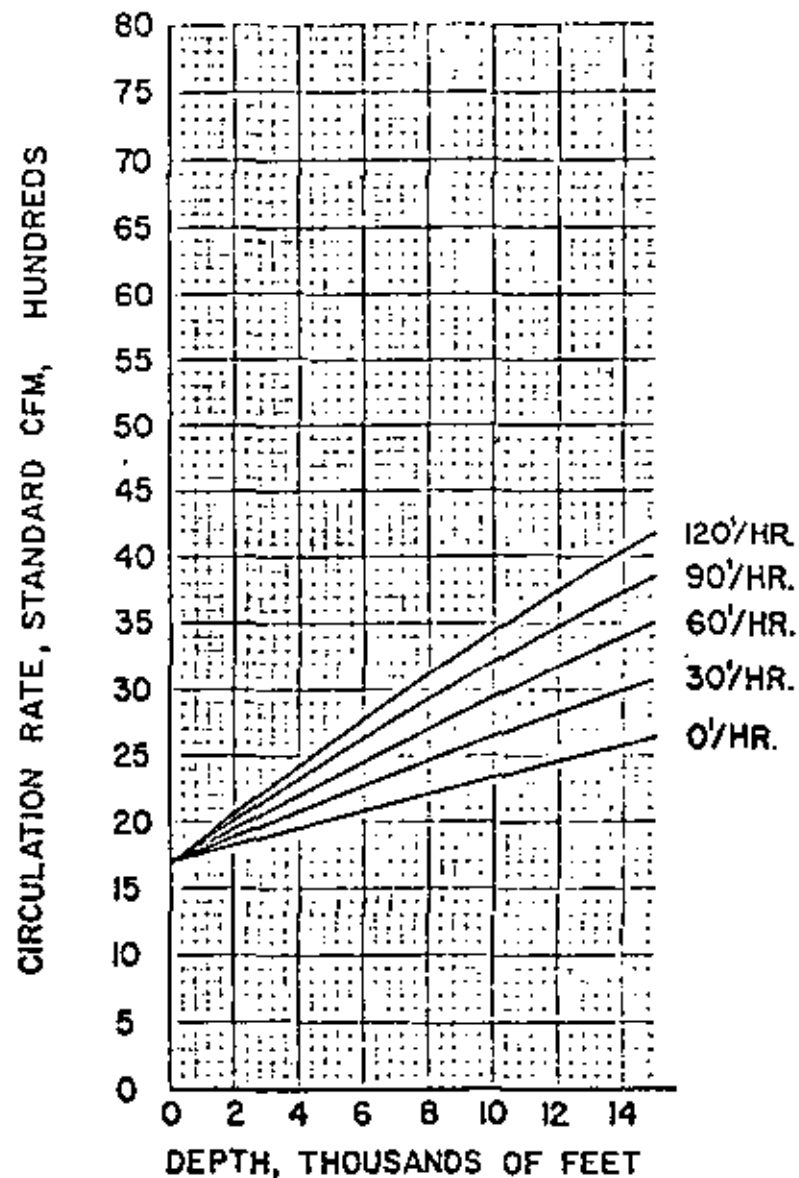
DRILL PIPE O.D. 4 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 12 1/4"

DRILL PIPE O.D. 6 5/8"

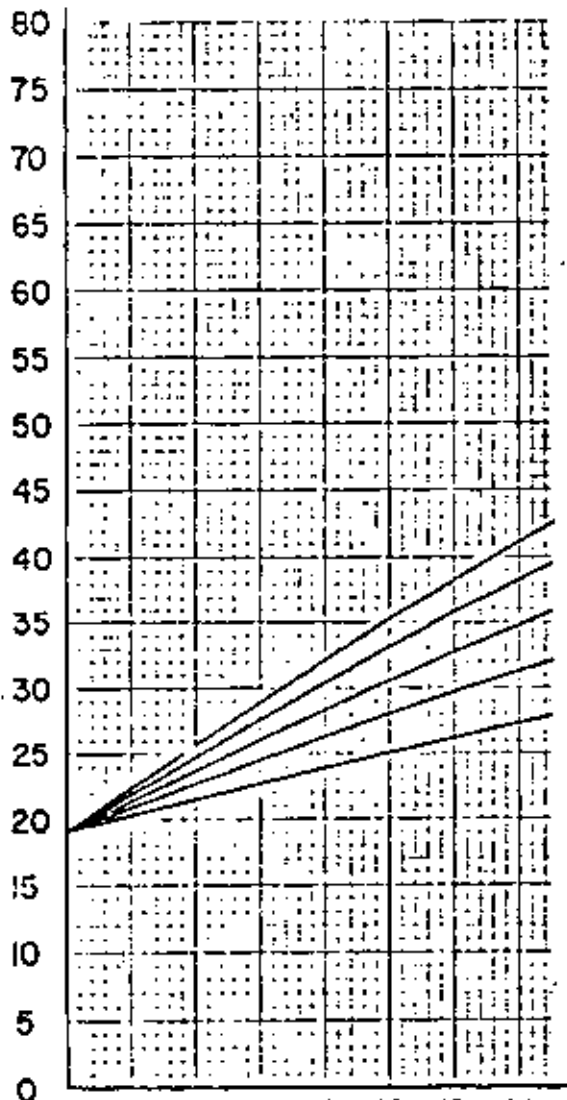


GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 12 1/4"

DRILL PIPE O.D. 5 1/2"

CIRCULATION RATE, STANDARD CFM, HUNDREDS



120'/HR.
90'/HR.
60'/HR.
30'/HR.
0'/HR.

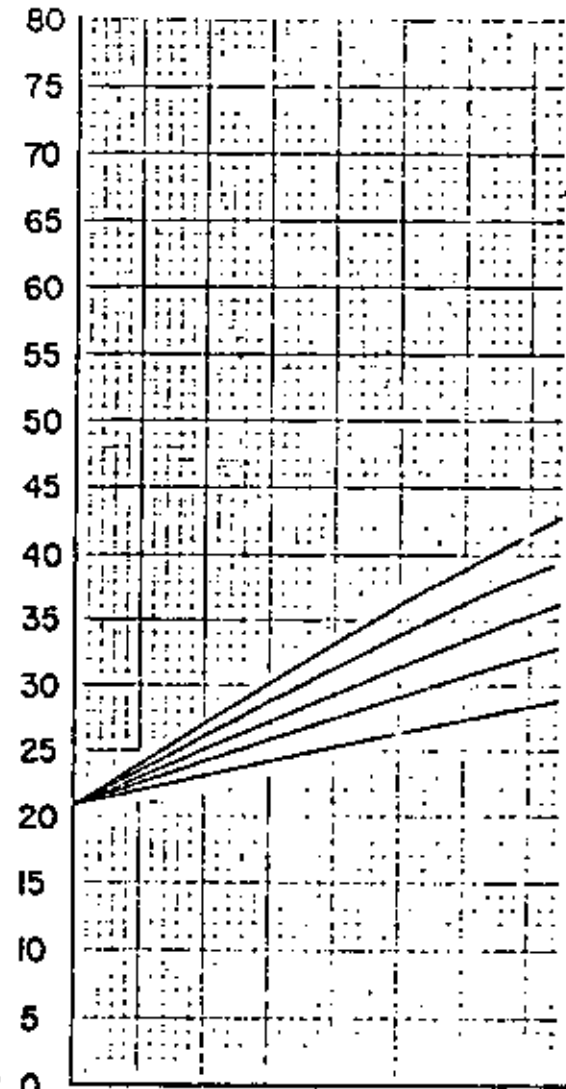
DEPTH, THOUSANDS OF FEET

GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 12 1/4"

DRILL PIPE O.D. 4 1/2"

CIRCULATION RATE, STANDARD CFM, HUNDREDS



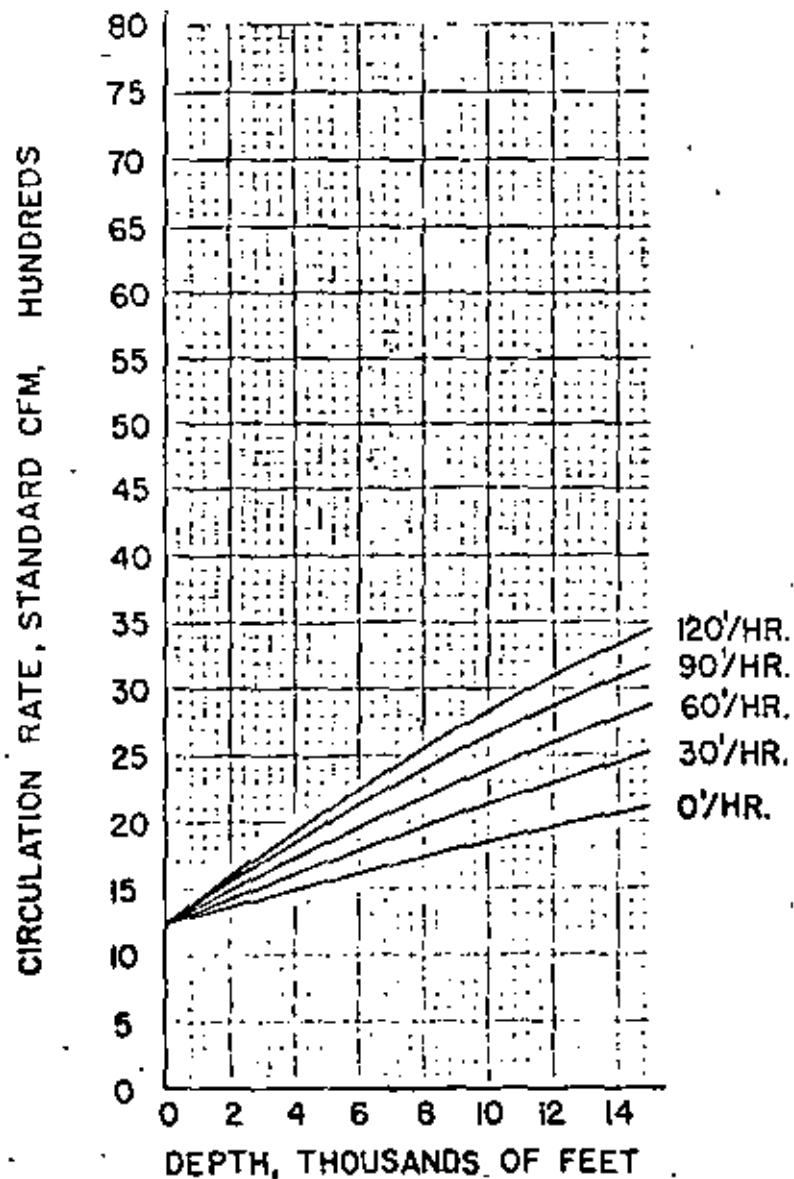
120'/HR.
90'/HR.
60'/HR.
30'/HR.
0'/HR.

DEPTH, THOUSANDS OF FEET

GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 11"

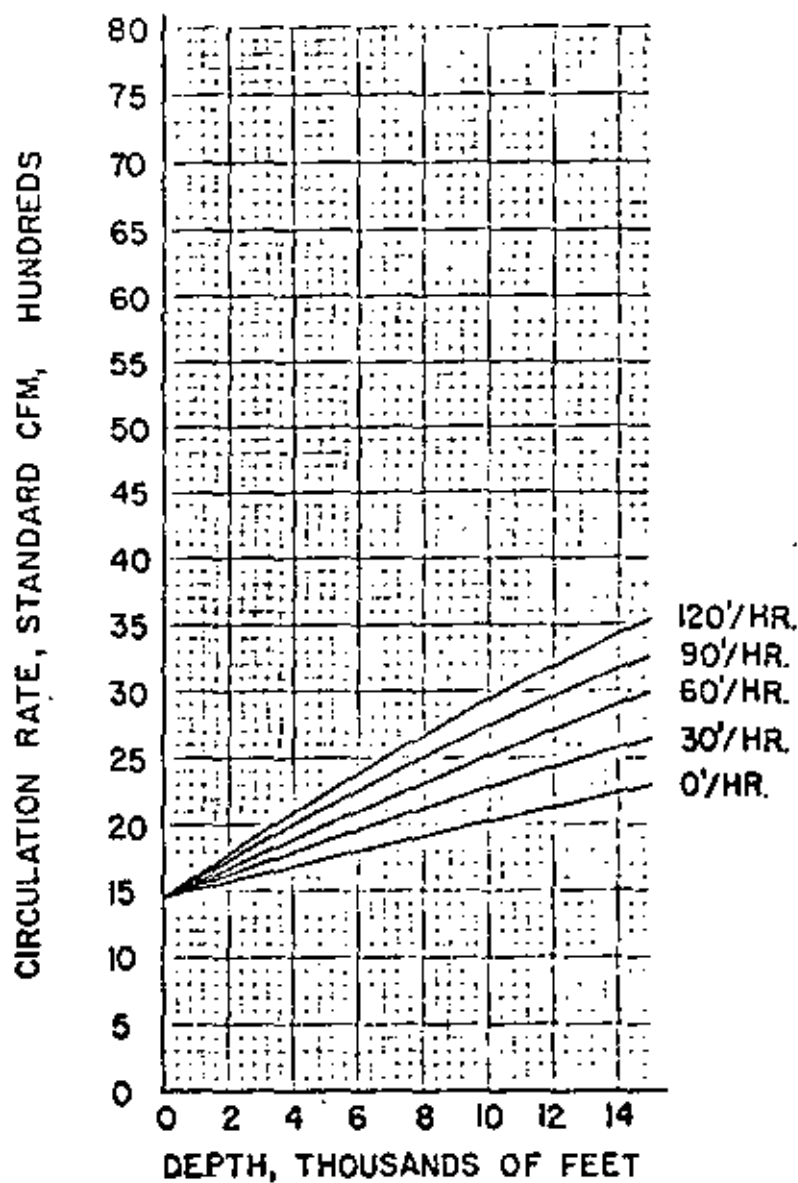
DRILL PIPE OD. 6 5/8"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 11"

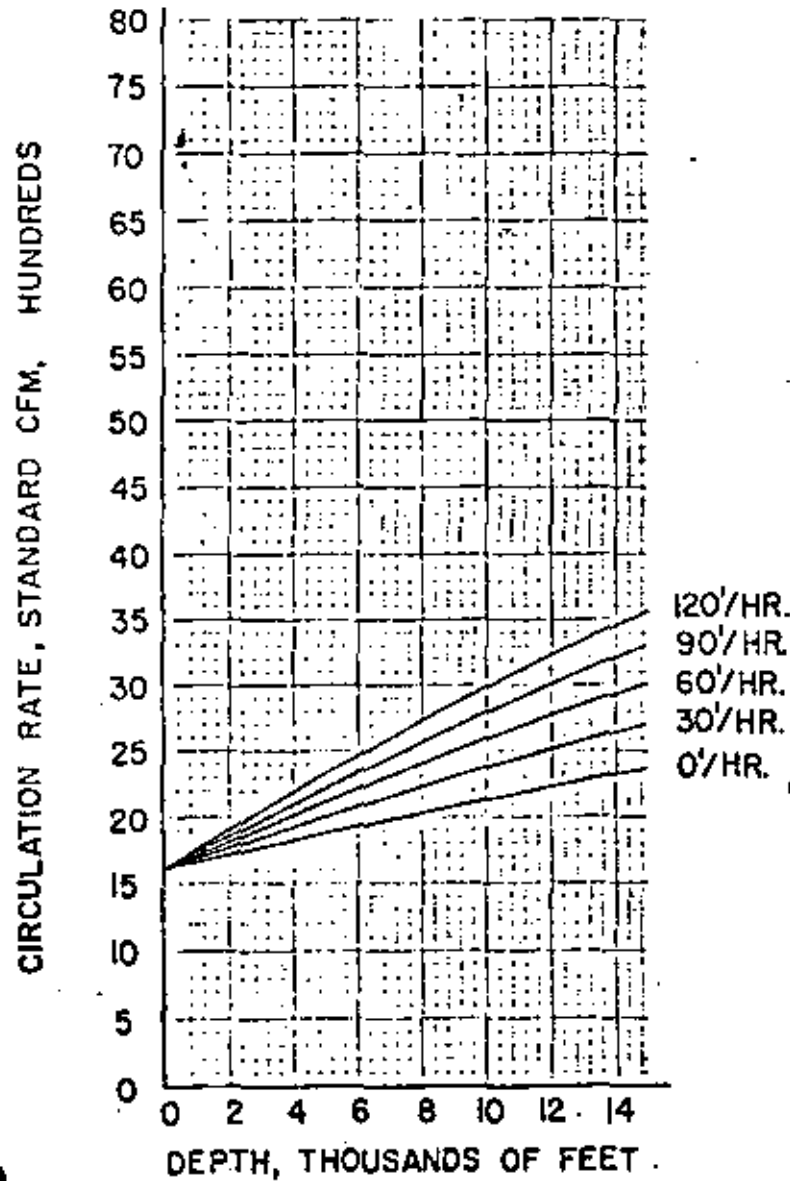
DRILL PIPE OD. 5 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 11"

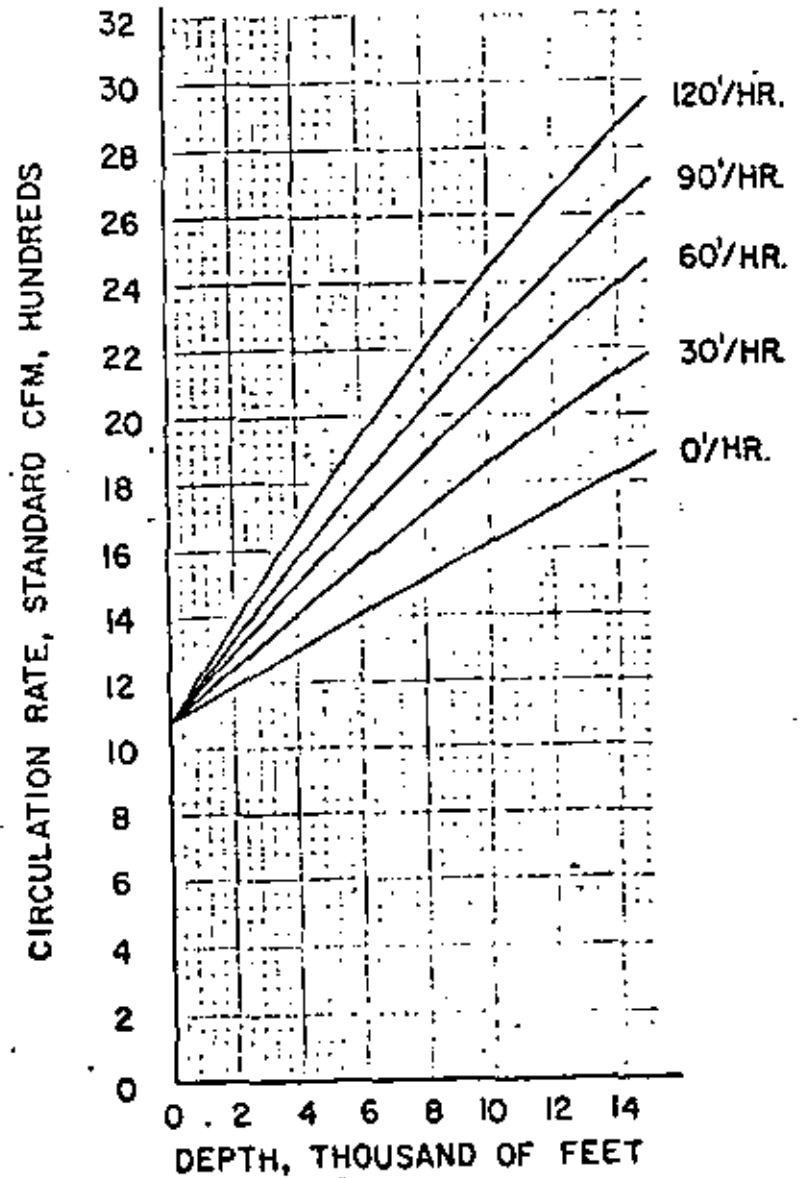
DRILL PIPE O.D. 4 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

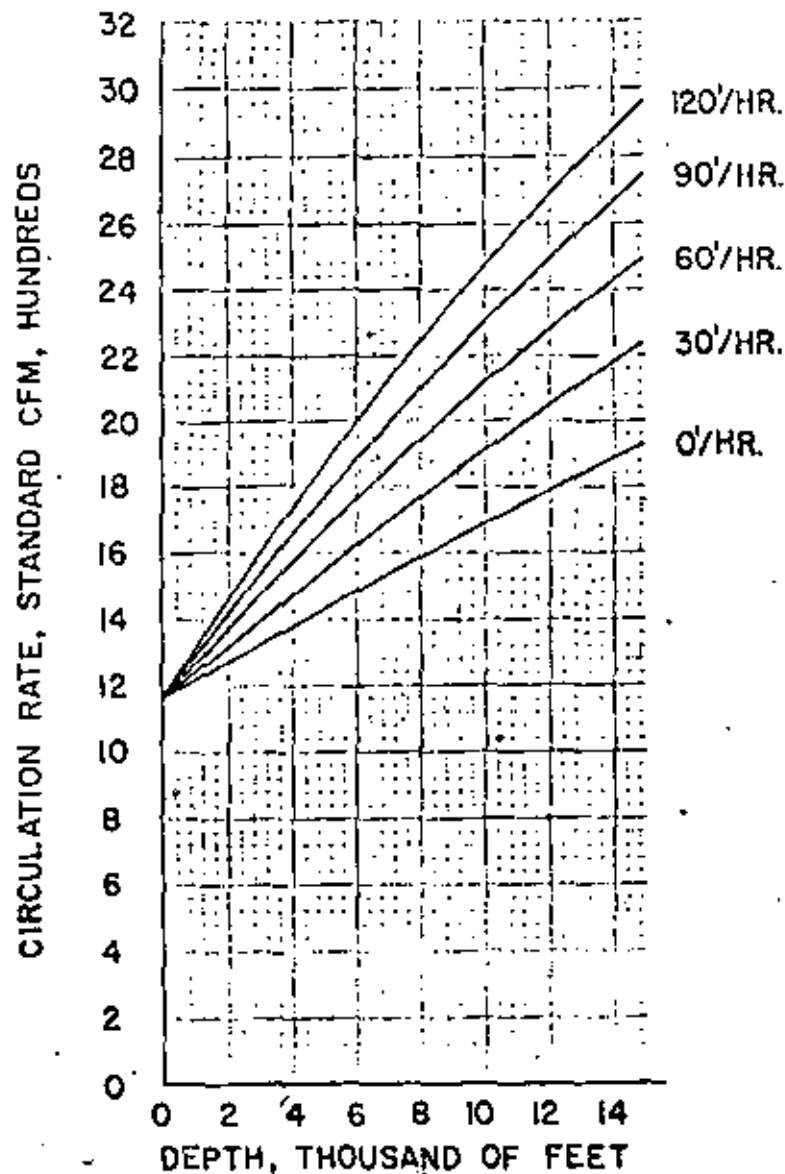
HOLE SIZE 9 7/8"

DRILL PIPE O.D. 5 1/2"



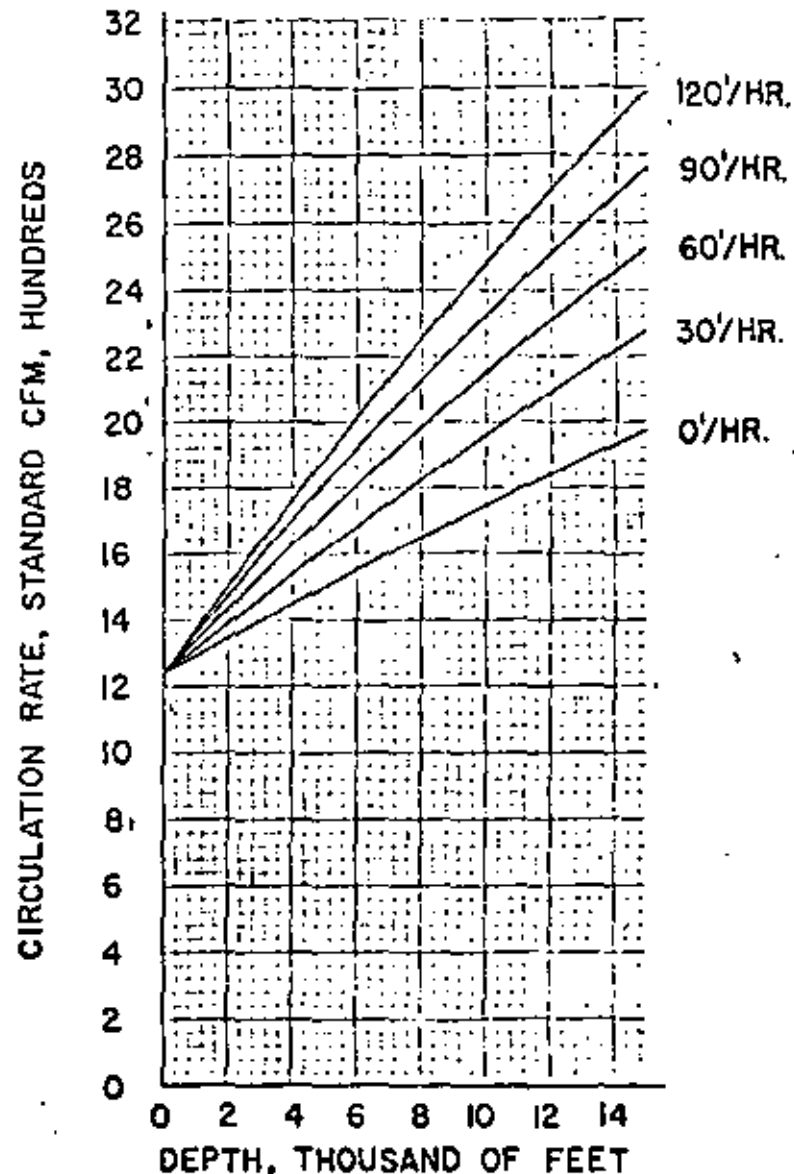
GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 9 7/8" DRILL PIPE O.D. 5"



GAS GRAVITY 1.0

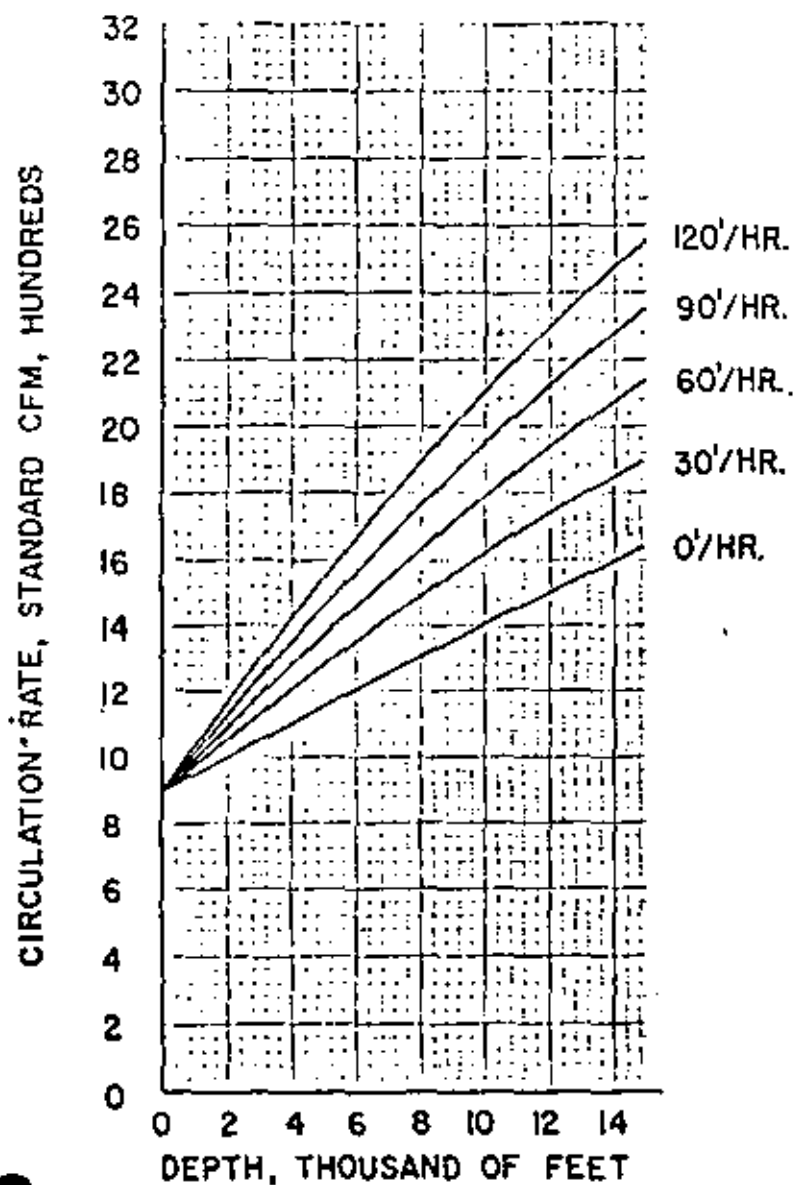
HOLE SIZE 9 7/8" DRILL PIPE O.D. 4 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 9"

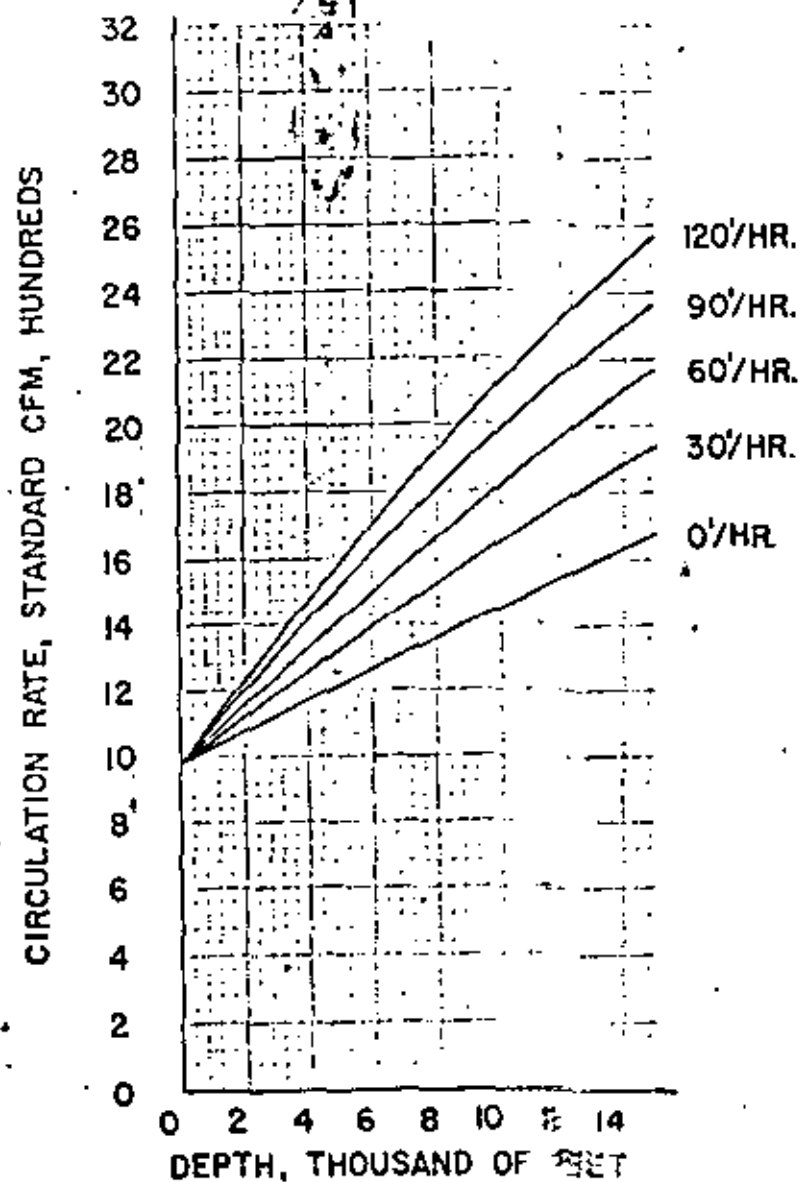
DRILL PIPE OD 5"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 9"

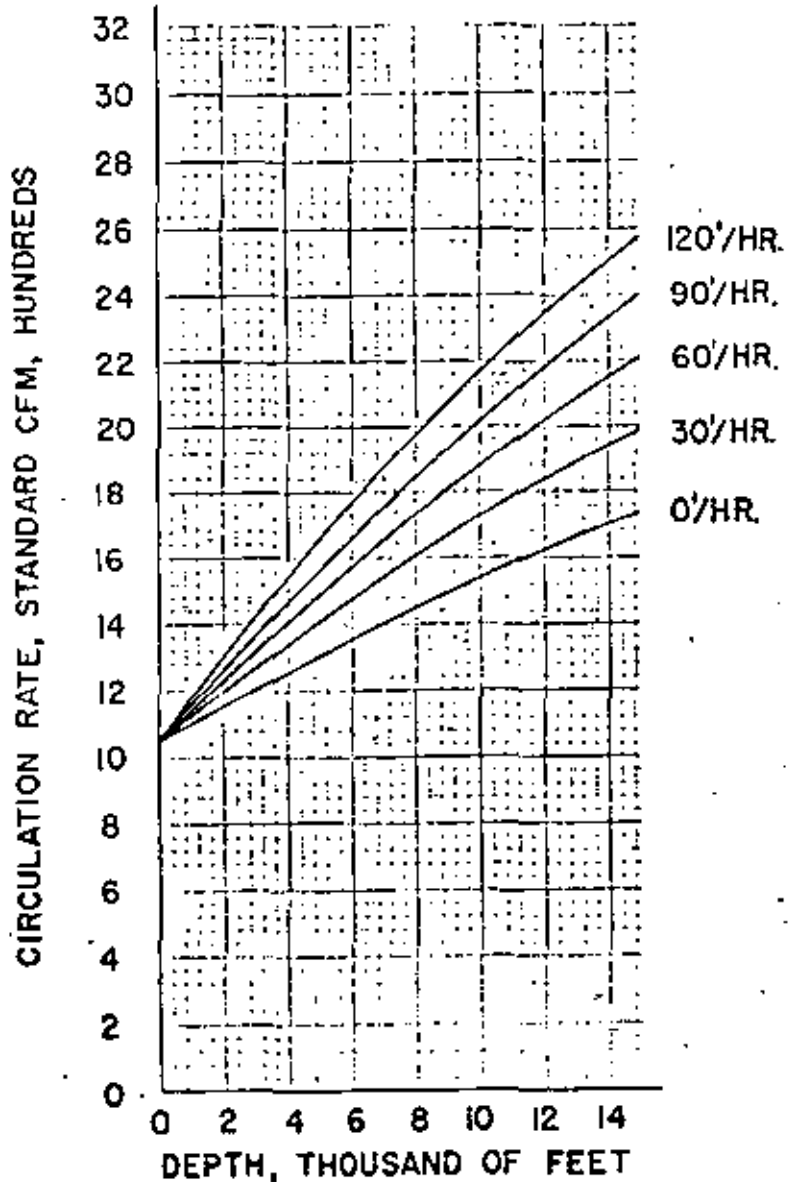
DRILL PIPE OD 4 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 9"

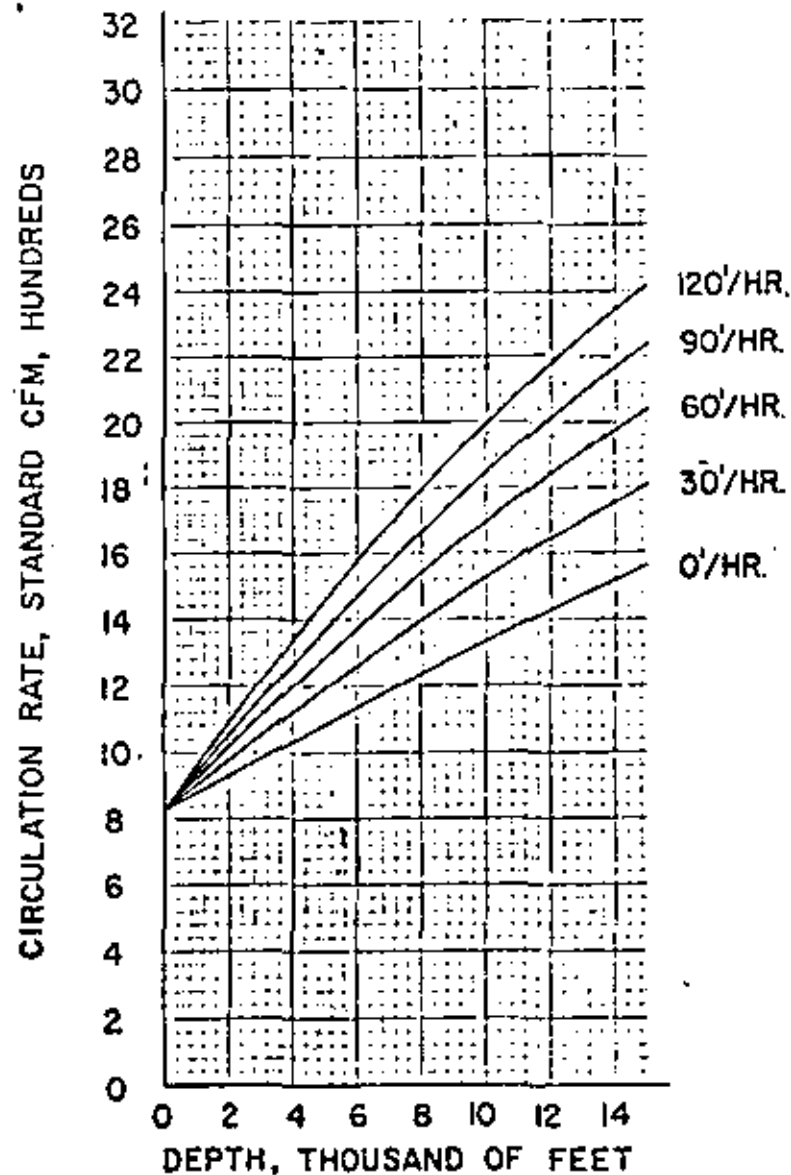
DRILL PIPE O.D. 3 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

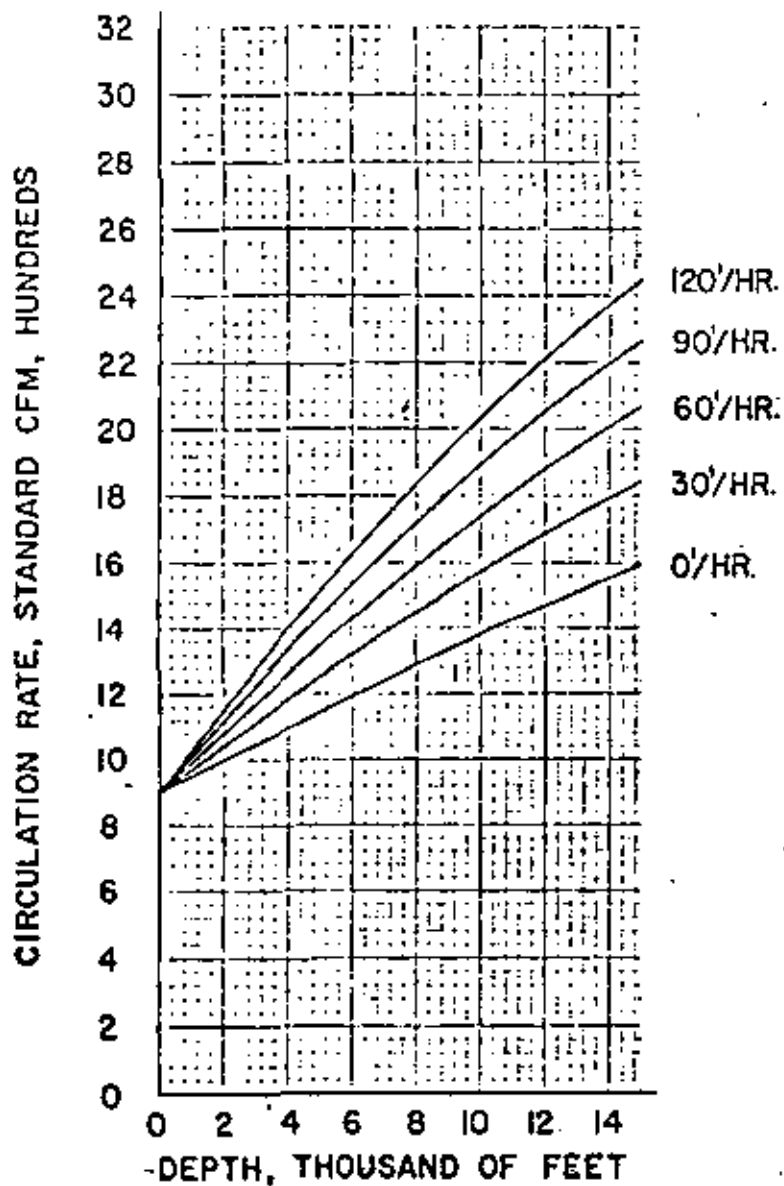
HOLE SIZE 8 3/4"

DRILL PIPE O.D. 5"



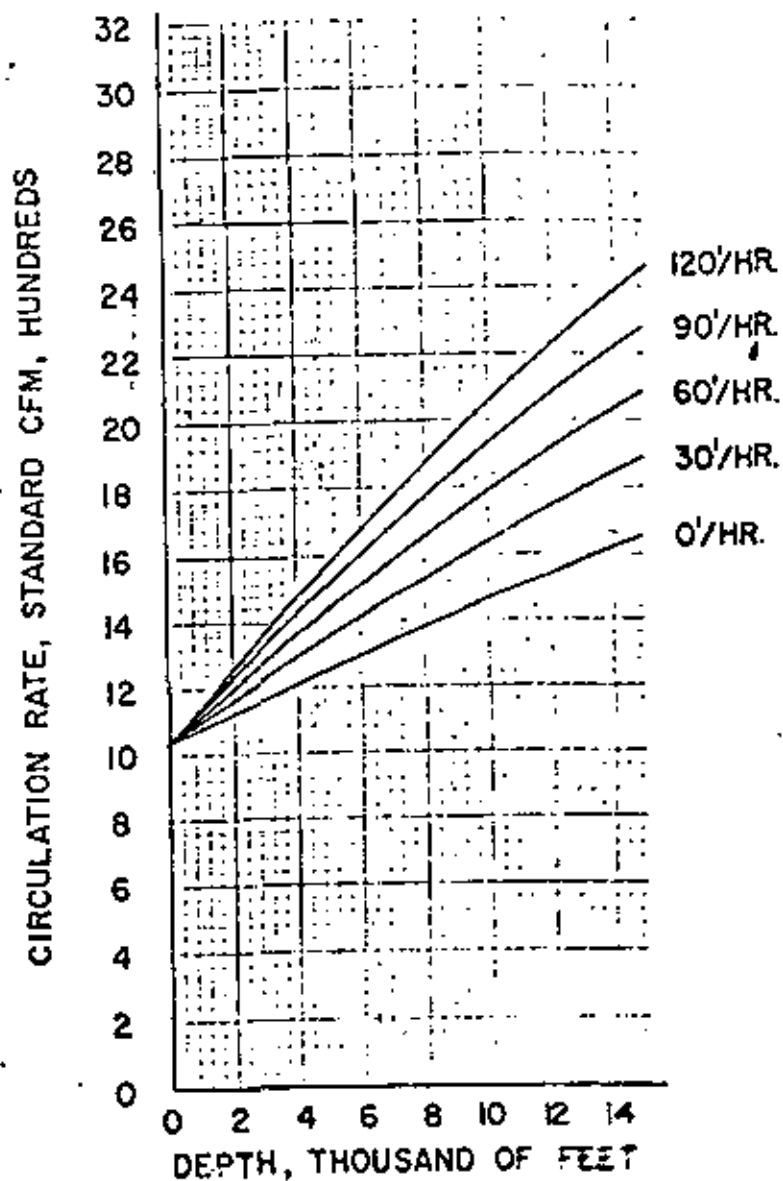
GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 8 3/4" DRILL PIPE O.D. 4 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

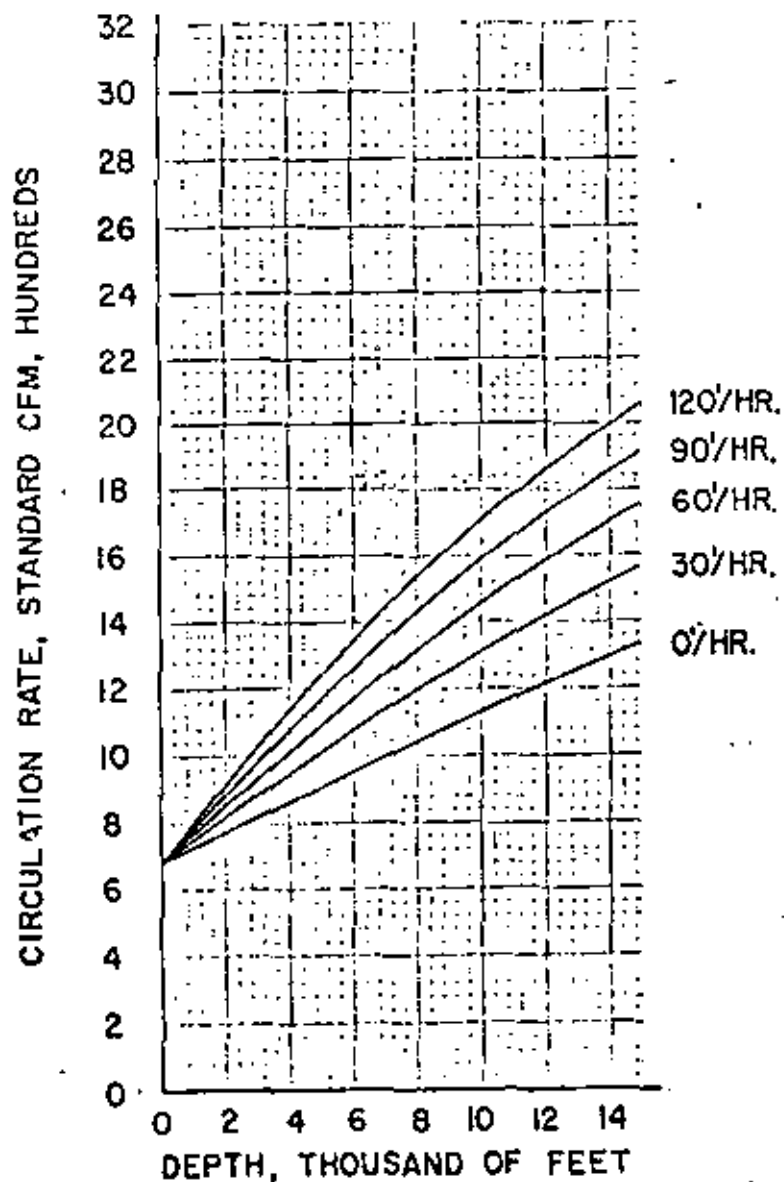
HOLE SIZE 8 3/4" DRILL PIPE O.D. 3 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 7 7/8"

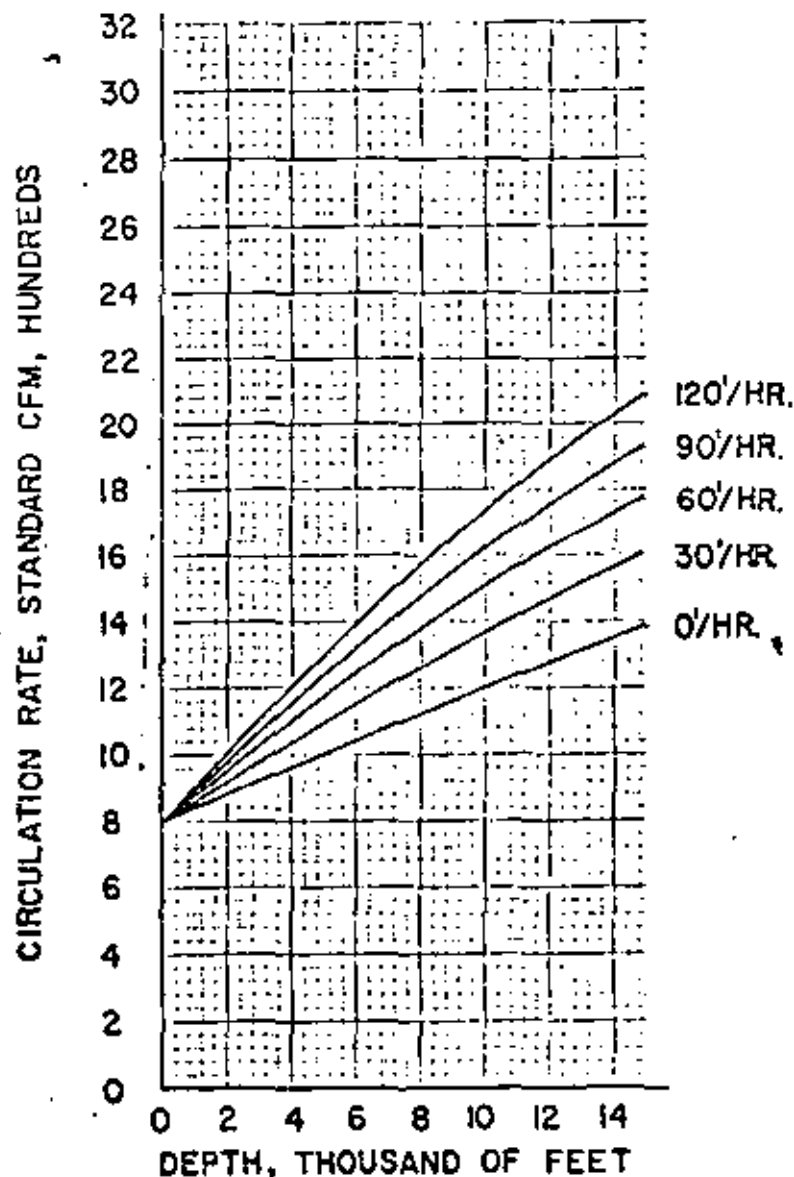
DRILL PIPE O.D. 4 1/2"



GAS GRAVITY 1.0

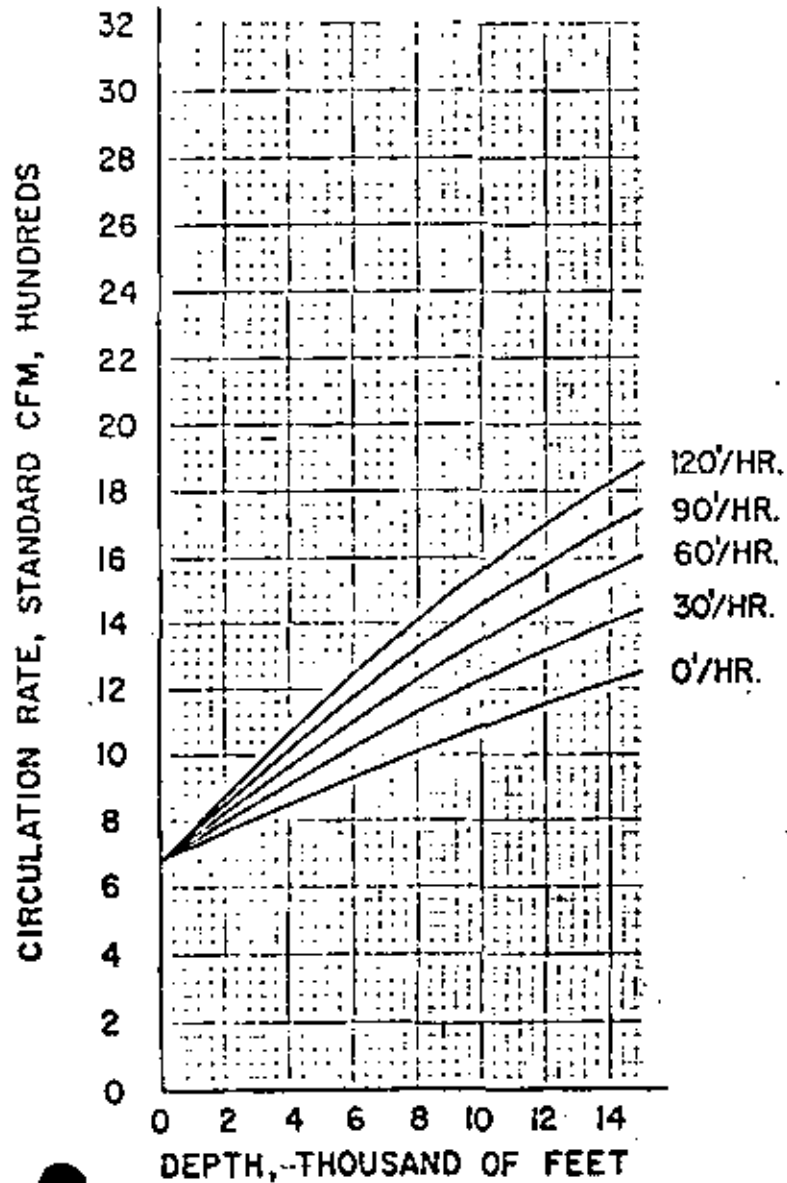
HOLE SIZE 7 7/8"

DRILL PIPE O.D. 3 1/2"



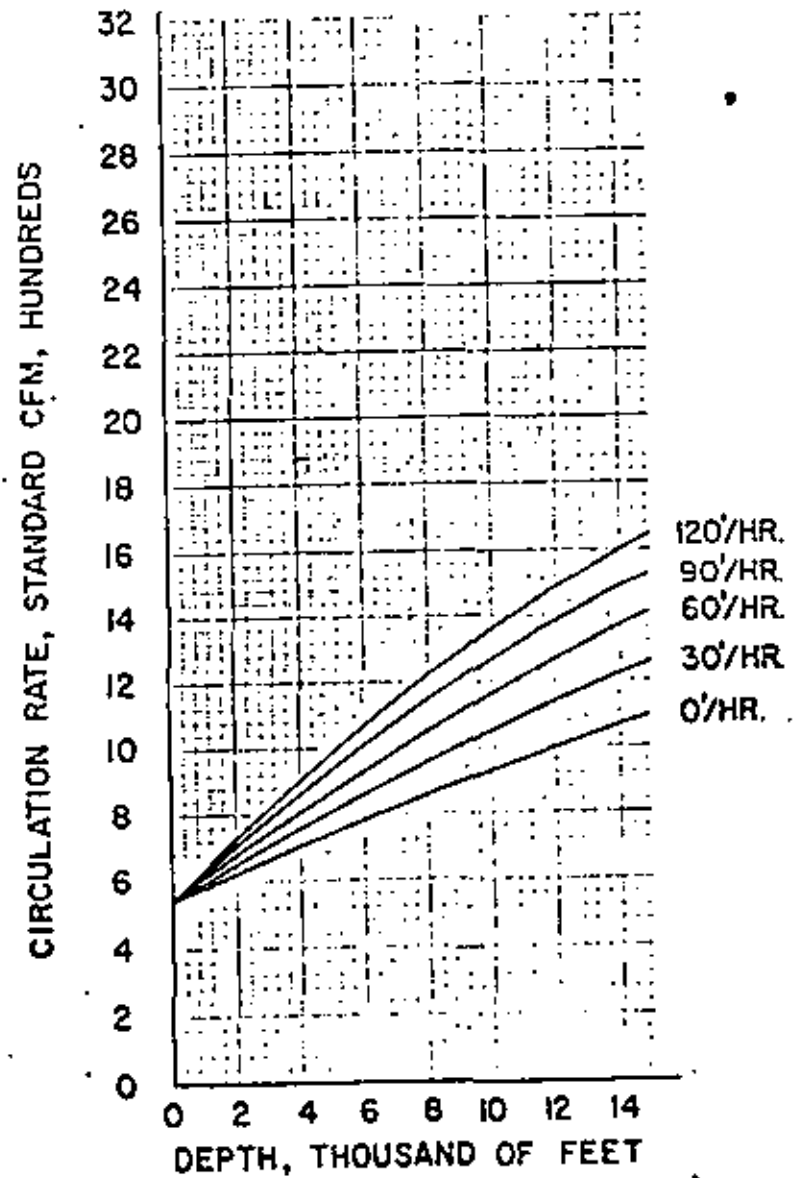
GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 7 3/8" DRILL PIPE O.D. 3 1/2"



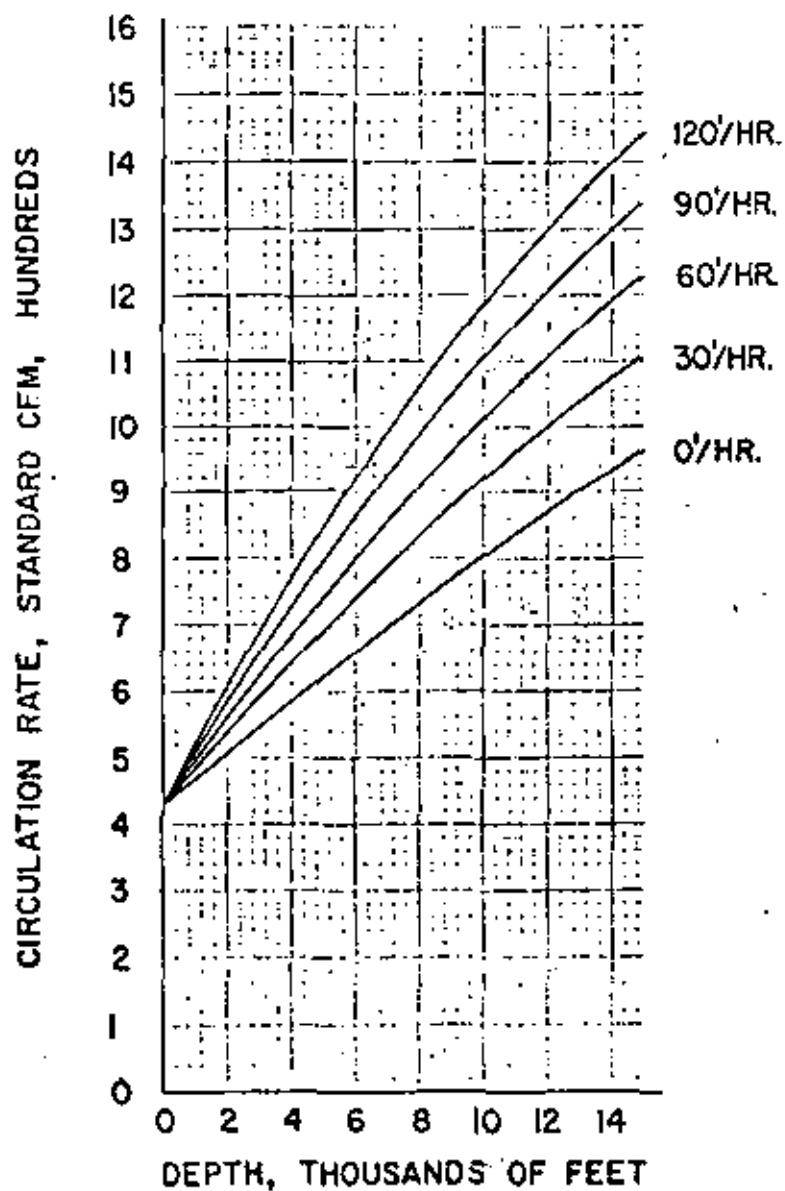
GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 6 3/4" DRILL PIPE O.D. 3 1/2"



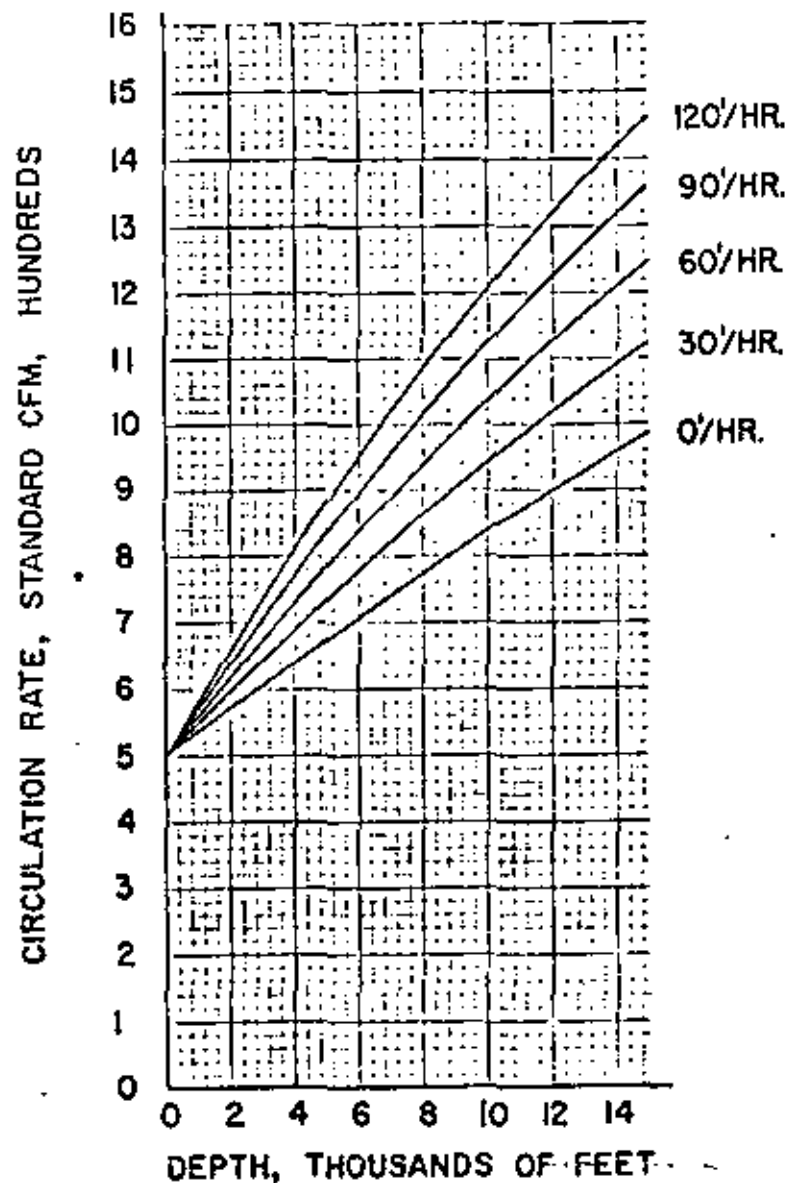
GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 6 1/4" DRILL PIPE OD. 3 1/2"



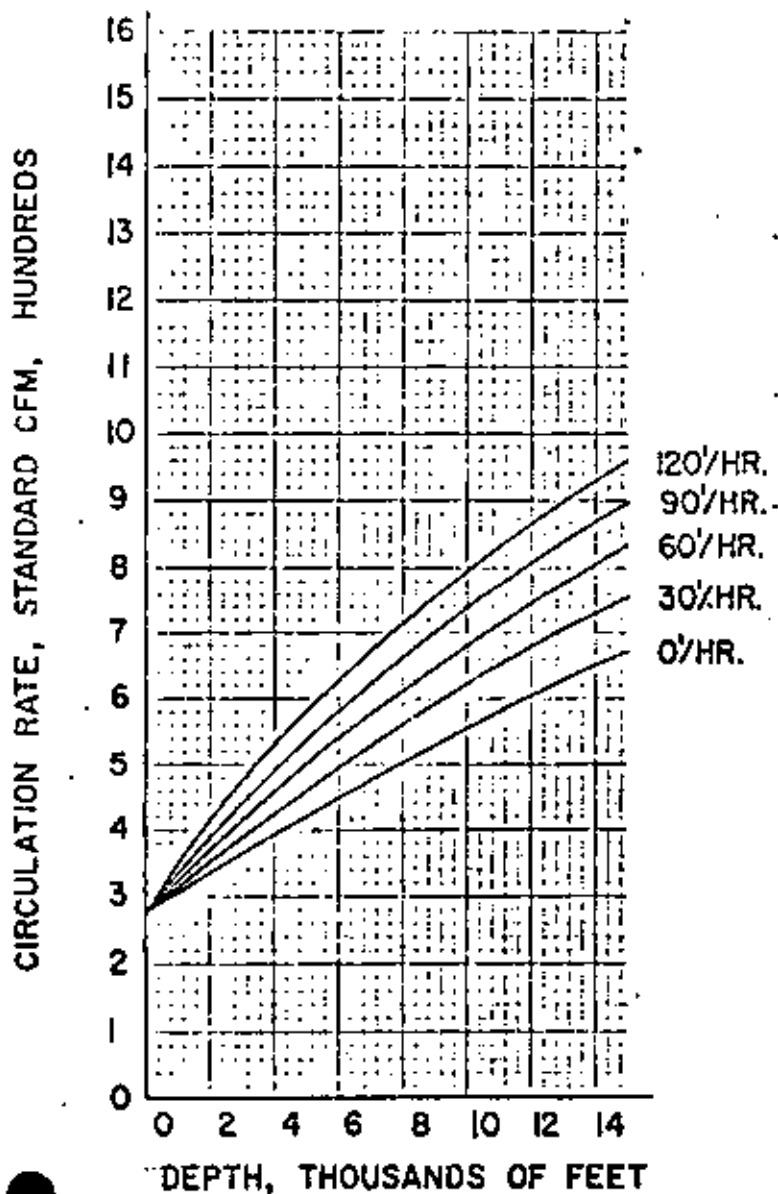
GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 6 1/4" DRILL PIPE OD. 2 7/8"



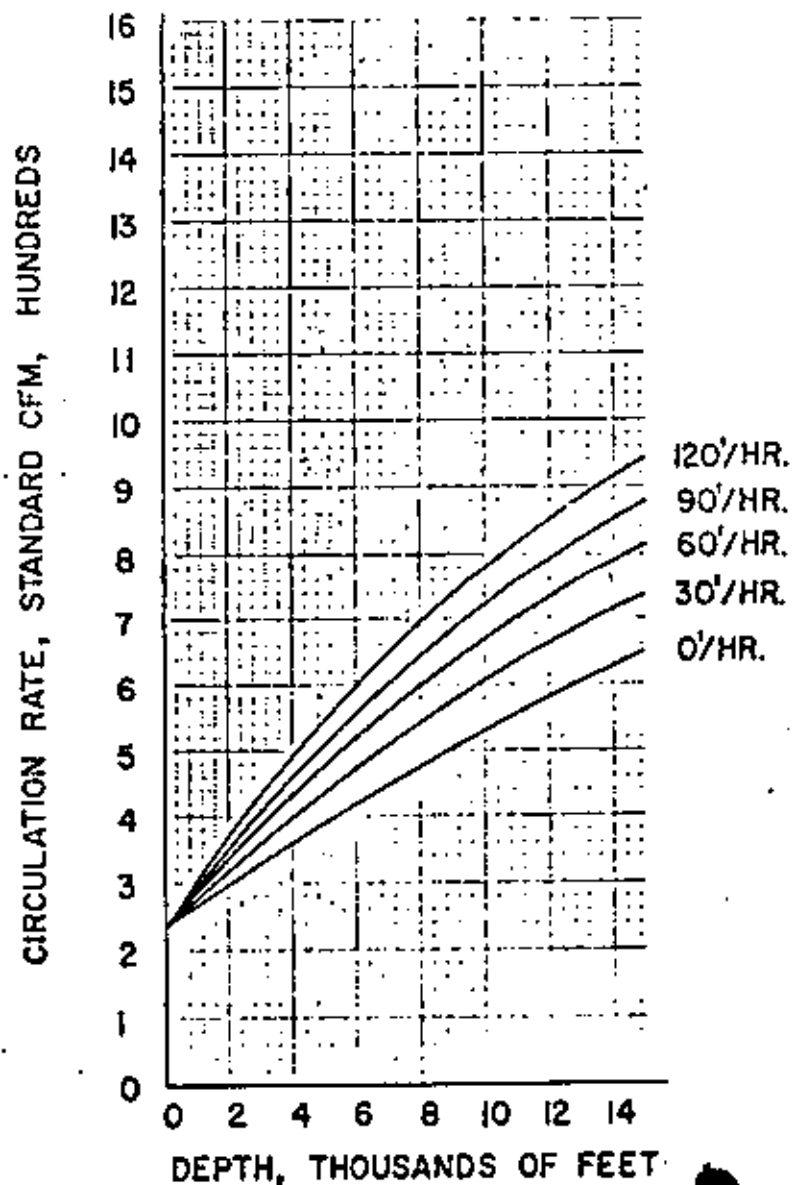
GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 4 3/4" DRILL PIPE OD. 2 7/8"



GAS GRAVITY 1.0

HOLE SIZE 4 3/4" DRILL PIPE OD. 2 3/8"



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 reciprocante 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 telescopea 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 boleos 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.

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

621

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 recibe 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/pulg²) 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/pulg², 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 conexio--
nes son lentas.

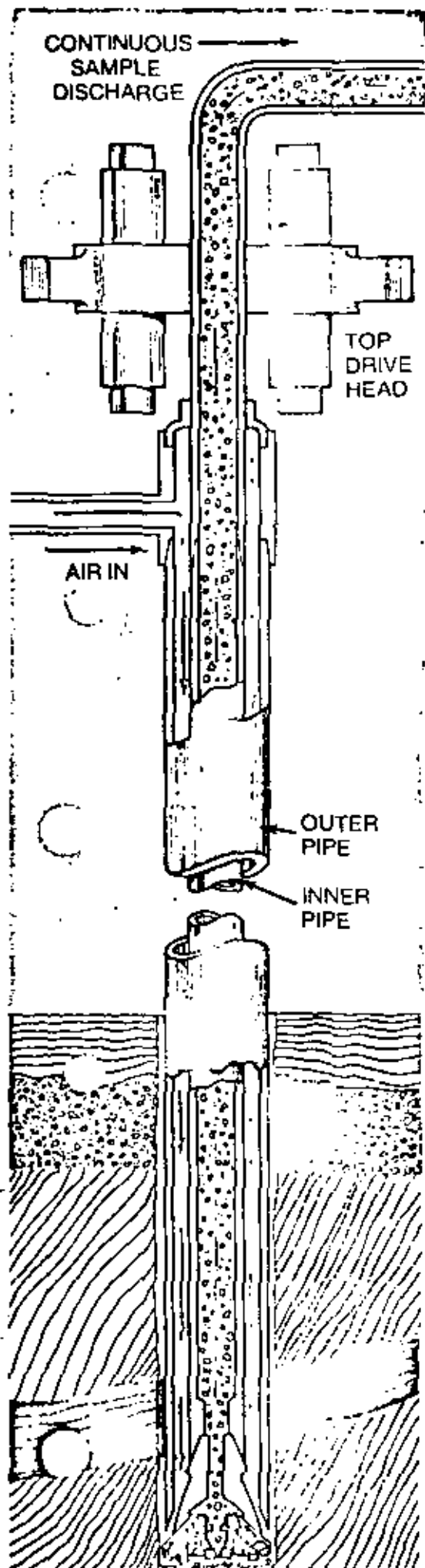
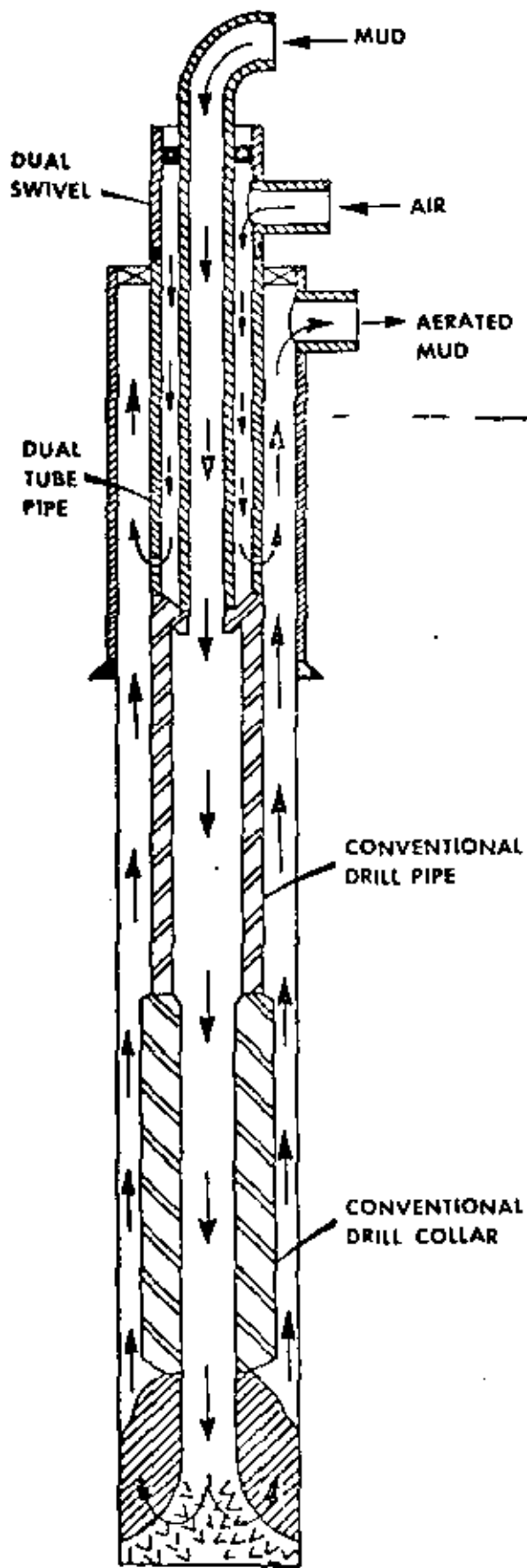
Actualmente se han desarrollado dos sistemas con tubos concén--
tricos llamados Duo-Tube y Con-Core que presentan la ventaja de
poder añadir tubos con conexiones del tipo usual y empaques adecu
ados que son unidos y desconectados rápidamente, lo que nos --
permite una mayor eficiencia en los tiempos de conexión.

El sistema Duo-Tube permite el acoplamiento de lastrabarrenas,-
con lo que es posible acelerar los tiempos de perforación donde
los materiales son mas grandes y duros, asimilándose este procede
dimiento en estos casos, al utilizado durante la perforación dire
cta, de hacer un agujero exploratorio que sirve de guía y poste
riormente su ampliación.

Este último método no ha sido muy usado y aún presenta dificulta
dades 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 é
ste procedimiento es muy efectivo, particularmente en zonas donde

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.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam.



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EVALUACION DE POZOS

ING. CARLOS CRUICKSHANK VILLANUEVA

JUNIO, 1979



EVALUACION DE POZOS

Comentarios de Carlos Cruickshank

1. Pruebas de bombeo

1.1 Desarrollo

Una vez terminado el pozo se realiza su desarrollo; esto es una fase de limpieza del lodo que ha quedado de la perforación entre la tubería ranurada y el acuífero, que se llena normalmente con un filtro de grava y gravilla. Aparte de desarrollos especiales con hielo seco y de otro tipo, se acostumbra agitar el pozo por medio del bombeo alternado, ya sea que se incremente el bombeo escalonadamente o bien se inicie y suspenda alternativamente.

Si se observan los niveles dinámicos durante esta fase, se tiene una primera información valiosa acerca del comportamiento del pozo; realmente, estos bombeos constituyen pruebas cortas de bombeo, cuya interpretación da además, una estimación de las pérdidas por entrada y flujo en la tubería del pozo, como se indica en las notas.

1.2 Prueba formal de bombeo

El objetivo de las pruebas de bombeo es estimar características de la formación acuífera como son su transmisividad, coeficiente de almacenamiento y algunas otras como la influencia de fronteras laterales y verticales del acuífero. La

metodología para su interpretación se basa en el ajuste del comportamiento del pozo a una situación ideal para la que se conoce la solución teórica. Dicha solución ideal puede tener dos tipos de comportamiento hipotético: el de flujo establecido o bien el de flujo no permanente; el primero de ellos es el más simple en cuanto a observaciones por realizar: basta determinar el gasto bombeado y niveles piezométricos después de un tiempo largo de bombeo; sin embargo, la información que puede obtenerse con el segundo tipo de análisis y que requiere de un mayor número de observaciones piezométricas es mucho más completo y se basa en hipótesis menos restrictivas que en el primer tipo. Es por esta razón que hoy en día se realizan siempre las observaciones conducentes a analizar el comportamiento del acuífero como un fenómeno no permanente.

Existe desde hace tiempo en México, un instructivo para la realización de pruebas de bombeo elaborado en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por el Departamento de Aguas Subterráneas de la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas. Se refiere ahí al equipo que conviene utilizar, la frecuencia de las observaciones piezométricas, etc.; una prueba de bombeo debe cumplir con la constancia del gasto bombeado desde su inicio, ya que alguna variación llevaría a interpretación errónea de la prueba, frecuencia alta en las observaciones al principio de la prueba, sobre todo en el pozo de bombeo y en los pozos de observación cercanos al mismo. Por lo anterior conviene que el personal que rea

liza la prueba tenga experiencia y que en cualquier caso efectúe pruebas preliminares con su equipo. Se debe también evitar en lo posible la interferencia de otros pozos de bombeo cercanos, por lo que, si la prueba se realiza en un acuífero en explotación, conviene hacer la prueba en una época en que la mayor parte de los pozos no bombeen (período lluvioso, de reparación, etc.).

La interpretación, como se indicó, es el ajuste del comportamiento del pozo durante la prueba de bombeo al que tendría un pozo en un acuífero esquematizado lo suficiente como para tener solución analítica. El caso más simple es el de un acuífero confinado de espesor constante y características homogéneas en toda su extensión. La solución al flujo en este caso la dió Theis en 1935 adaptándola de una ya existente para el flujo de calor en una placa a la que se enfría en un punto. La solución es una relación funcional entre dos parámetros adimensionales:

$U = r^2 S / 4Tt$ y $Q_a = 4\pi Ta / Q$ donde S- coeficiente de almacenamiento, a- abatimiento piezométrico, r- distancia al punto de bombeo, T- transmisividad, t- tiempo desde el inicio de bombeo, Q- gasto de bombeo. Como estos dos parámetros son proporcionales a dos variables medidas en la prueba, a y t, se pueden superponer, hasta hacerlas coincidir, la llamada curva tipo de la función solución al problema -- $Q_a = W(U)$ y los puntos definidos por las parejas de valores a y $1/t$ medidos durante la prueba de bombeo. En esta forma con la equivalencia de $W(U) = 4\pi Ta / Q$, se despeja T en fun

ción de a y Q conocidos y con la equivalencia $U=r^2S/4Tt$, se despeja S en función de r , t y T también conocidos.

Un procedimiento similar se sigue para otras situaciones diferentes a las del acuífero confinado, para el que existen soluciones teóricas. Tal es el caso de acuíferos semiconfinados (cuya solución es función de tres parámetros adimensionales), de pozos parcialmente penetrantes, de pozos en acuíferos freáticos, etc. A qué tipo de situación debe ajustarse el comportamiento del pozo depende en gran parte del conocimiento de la geología y de la estratigrafía que se tenga de la zona y la solución que se obtenga debe ser congruente con la situación física.

También, cuando se tiene la posibilidad de observar la evolución del abatimiento en más de un pozo de observación, los resultados deberían coincidir, o diferir en forma que pueda explicarse con una variación razonable de las condiciones del acuífero.

Cuando las fronteras del acuífero pueden influir sobre el pozo, la interpretación de la prueba de bombeo ayuda a definir su influencia; así, de un acuífero semiconfinado, se obtiene la influencia de la capa semiconfinante, su aportación, características físicas, etc.; de una frontera impermeable o de recarga, su distancia al pozo.

2. Cuantificación y explotación

Como se ve de la discusión anterior, la información que proporciona una prueba de bombeo se refiere a las características físicas del acuífero en las inmediaciones del pozo pero no tiene ninguna relación con la potencialidad del acuífero, o sea, con la cantidad total de agua que puede aprovecharse del mismo sin producir efectos adversos como abatimientos excesivos, contaminación salina, etc. Para esto, es necesario realizar análisis sobre áreas de mayor extensión que la que influencia a un pozo, de ser posible, la extensión total del acuífero.

Los análisis de cuantificación son en esencia balances de masa sobre un volumen de control que es la parte del acuífero analizada. Como siempre, un balance de masa está expresado por la fórmula: $\text{entradas} - \text{salidas} = \text{cambio de almacenamiento}$ en un período determinado. Las entradas posibles a un acuífero son flujos subterráneos, infiltraciones y aportaciones de otras formaciones como pueden ser acuíferos o acuitardos sub o suprayacentes al analizado. Las salidas pueden ser flujos subterráneos, descargas a corrientes o a la atmósfera, aportación a otras formaciones y extracciones por bombeo. El cambio de almacenamiento queda definido por la evolución global de la superficie piezométrica y la distribución de coeficientes de almacenamiento. Esto se expresa

b

con la siguiente suma de volúmenes

$$F_e + I + V_+ - F_s - D - V_- - B = SA\Delta H_m$$

donde:

F_e volumen por flujo subterráneo de entrada

I infiltraciones directas o de corrientes superficiales

V_+ aportación de otras formaciones

F_s volumen por flujo subterráneo de salida

D descargas a la atmósfera (evapotranspiración):

V_- aportación a otras formaciones

B volumen extraído por bombeo

S coeficiente de almacenamiento

A área del acuífero

ΔH_m incremento medio del nivel piezométrico en el volumen de control considerado.

Todos estos términos varían con el tiempo, aun en un acuífero virgen sin explotación, más entre mayor sea su comunicación con la superficie, por las variaciones estacionales y anuales de los flujos superficiales.

En cuanto el acuífero empieza a ser explotado, la variación es obligada aún en los más desconectados del flujo superficial.

En casos normales de acuíferos conectados con la superficie, los términos más importantes del miembro izquierdo de la ecuación del balance son I y D , si se comparan con F_e y F_s y en su mayor parte se relacionan con corrientes superficiales. Los casos normales de acuíferos no conectados con la superficie,

tienen como términos relevantes a V_+ y V_- . En el primer caso, cuando se realiza una explotación por bombeo, el agua proviene en su mayor parte de un incremento en la infiltración y de una disminución de la descarga producidos por el abatimiento y del almacenamiento del acuífero. En el segundo caso, el volumen extraído proviene generalmente de la aportación de acuitardos y del almacenamiento del acuífero. Cuando sistemáticamente después de hacer balances por algún tiempo (años), se obtiene que la mayor parte del volumen bombeado proviene del almacenamiento, se sabe que el acuífero está siendo minado o sobreexplotado y que eventualmente llegará el día en que no sea posible extraer más agua, ya sea porque es antieconómico, porque se ha producido contaminación con agua salina (por ejemplo por un incremento importante de la aportación de un acuitardo con agua salina) o por algún otro efecto del abatimiento. Si no puede pararse la sobreexplotación por razones económicas, con el conocimiento anterior se está al menos en la posibilidad de estimar el momento del agotamiento del acuífero y tener para entonces fuentes alternativas de agua o el cambio de las actividades económicas de la región.

Normalmente, los estudios que se requieren para determinar el comportamiento del acuífero no pueden basarse sólo en la ecuación global del balance planteada arriba; es necesario ir a mayor detalle con los llamados modelos matemáticos distribuidos del acuífero. Estos están basados, sin embargo, en la aplicación de la misma ecuación anterior en áreas pequeñas del acuífero interconectadas entre sí.

En cualquier caso, para poder determinar los términos del balance es indispensable disponer de una gran cantidad de información de campo. De ella, la de mayor importancia es la proporcionada por las pruebas de bombeo, la de evoluciones piezométricas antes de y durante la explotación y la evolución y distribución del bombeo durante la explotación. Esto significa que además de las observaciones iniciales obtenidas al perforar los pozos, la planeación de la explotación de un acuífero necesita de un esfuerzo continuo de medición de niveles en pozos piloto, varias veces al año y la instalación de medidores de volumen en los pozos de bombeo. Esta información es la base para alimentar y calibrar los modelos matemáticos que pueden prever el comportamiento futuro del acuífero y permitir su explotación racional, ya sea como fuente renovable o no renovable.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de Ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

BANCO NACIONAL DE INFORMACION
GEOHIDROLOGICA

ING. JORGE E. ALVARADO ORTUÑO

JUNIO, 1979.



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 ADEMÉ, 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 DE FINITIVAMENTE 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.

TRABAJOS 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.

NOS ESTÁ POR DEMÁS ASENTAR QUE ESTE BANCO DEBERÁ ESTARSE ACTUALIZANDO, DEBIDO A QUE TANTO LOS ACUÍFEROS

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 USUARIOS ENTENDERÁN LO VALIOSO Y LA UTILIDAD PRÁCTICA DE CONOCER Y REGISTRAR LOS PORMENORES Y EXPERIENCIAS OBTENIDAS AL DESARROLLAR SUS

BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEHIDROLOGICAEL 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.

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.

EL SUELO PATRÓN DE LA TIERRA DE LOS
ELEMENTOS HA TENIDO DOS DIFERENTES ASPECTOS, POR UN LADO, LOS ASPECTOS
CULTURALES MEXICANOS, LAS GRANDES LUNEDS, CENTROS TURÍSTICOS, HAN
CONSIDERADO CON MUCHO ÉXITO LA EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA, CON
NIVELLOS, PITZOMETRÍCOS SE HA EXIGIDO UN CUIDADO DE LA CALIDAD
DE LA EXTRACTACIÓN DE AGUA QUE CONSIDERAN EN APLICACIÓN DE LA
DE LA TIERRA, EN LOS NIVELES Y GRAN PROFUNDIDAD DE LA ATENCIÓN CA
DE LA TIERRA. EN ZONAS COSTERAS SE PUEDE PRESENTAR AGUA DE MAR
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.

A TRAVÉS DE PLATICAS ANTERIORES SE LE 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-ARIDAS 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.

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 KM^2 Y OTRA CUARTA PARTE DE MÉXICO, CON RECORRIDOS DE RECONOCIMIENTOS GENERALES, HACIENDO UN TOTAL DE 1'000,000 KM^2 , CONTRA LOS 2'000,000 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), CONTANDO 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.

EL 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 DI SUELTOS Y SU UBICACIÓN O CUÁLES TIPOS O 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 ESTA 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 INSTRUC-

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 PRÉTENDA SER TAN AVISADO QUE NO NECESITE DATOS Y MEDIDAS, HIPÓTESIS, CALCULOS 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.

I.- 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 TERCIARIOS.
- 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. II) 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 SUBEXPLOTADA. EN LA MAYORÍA DE LAS 124 ZONAS ESTUDIADAS SE CUENTA YA CON CIFRAS CONSIGNADAS EN ESTE TIPO DE ESTUDIOS. AL 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, ACARRIÁNDOLE 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.

ÉN REALIDAD HEMOS COMENTADO QUE LA ESCASES DE INFORMACIÓN NO ES TAN CRÍTICA, ÉN 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 MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS SUBTERRÁNEOS. SIN EMBARGO, PUESTO QUE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS DICHS 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 COMPRESIBLE 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 PÓTENCIALES 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 PUE- DAN PUBLICARSE EL MAYOR NÚMERO DE ESTAS CARTAS GEOHIDROLÓGICAS, DEBI- DO A QUE EL FACTOR PRINCIPAL QUE SON LOS DATOS, YA SE CUENTA CON -- ELLOS.

DICTAMENES GEOHIDROLOGICOS

FRECUENTEMENTE LOS CAMPESINOS SEAN EJIDATA- RIOS, COMUNEROS O PARTICULARES, ASÍ COMO INDUSTRIALES O DEPENDENCIAS FEDERALES, SOLICITAN A TRAVÉS DE ESCRITOS O VERBALMENTE LES SEA INDI- CADO, SI EN UN LUGAR O SITIO EN PARTICULAR, ES FACTIBLE REALIZAR UNA -- PERFORACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA, EXPONIENDO SUS NE- CESIDADES.

EL PROCEDIMIENTO PARA CONTESTAR ÉSTA PREGUN- TA, 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 "DICTA-- MEN GEOHIDROLOGICO", CUYOS DATOS SE ENCUENTRAN EN PROCESO DE COMPU-- TARSE DEBIDO A QUE SUMAN YA MAS DE 3 000 DE ELLOS. ESTE TRABAJO TIE


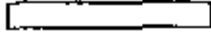


NE POR OBJETO EL EVITAR DUPLICAR LAS VISITAS AL CAMPO POR DIFERENTES TÉCNICOS DE DIVERSAS OFICINAS QUE NO TIENEN COMUNICACIÓN DIRECTA ENTRE SÍ, SIRVIENDO ADEMÁS COMO UNA GUÍA Y ARCHIVO DE ESTOS DICTÁMENES TAN VALIOSOS POR EL TIEMPO Y GASTO DEDICADO A CADA UNO DE ELLOS.

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.

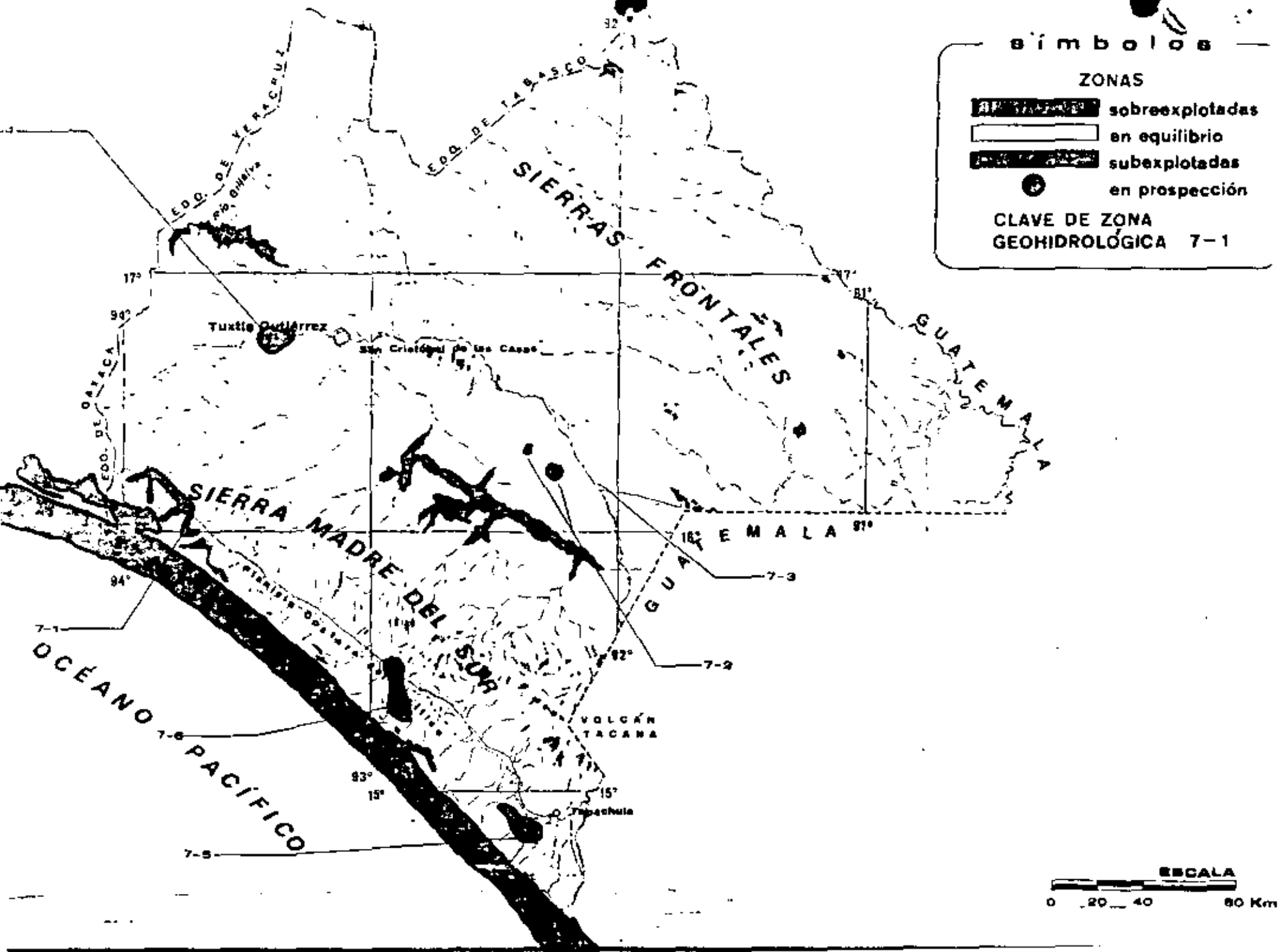
MUCHAS GRACIAS

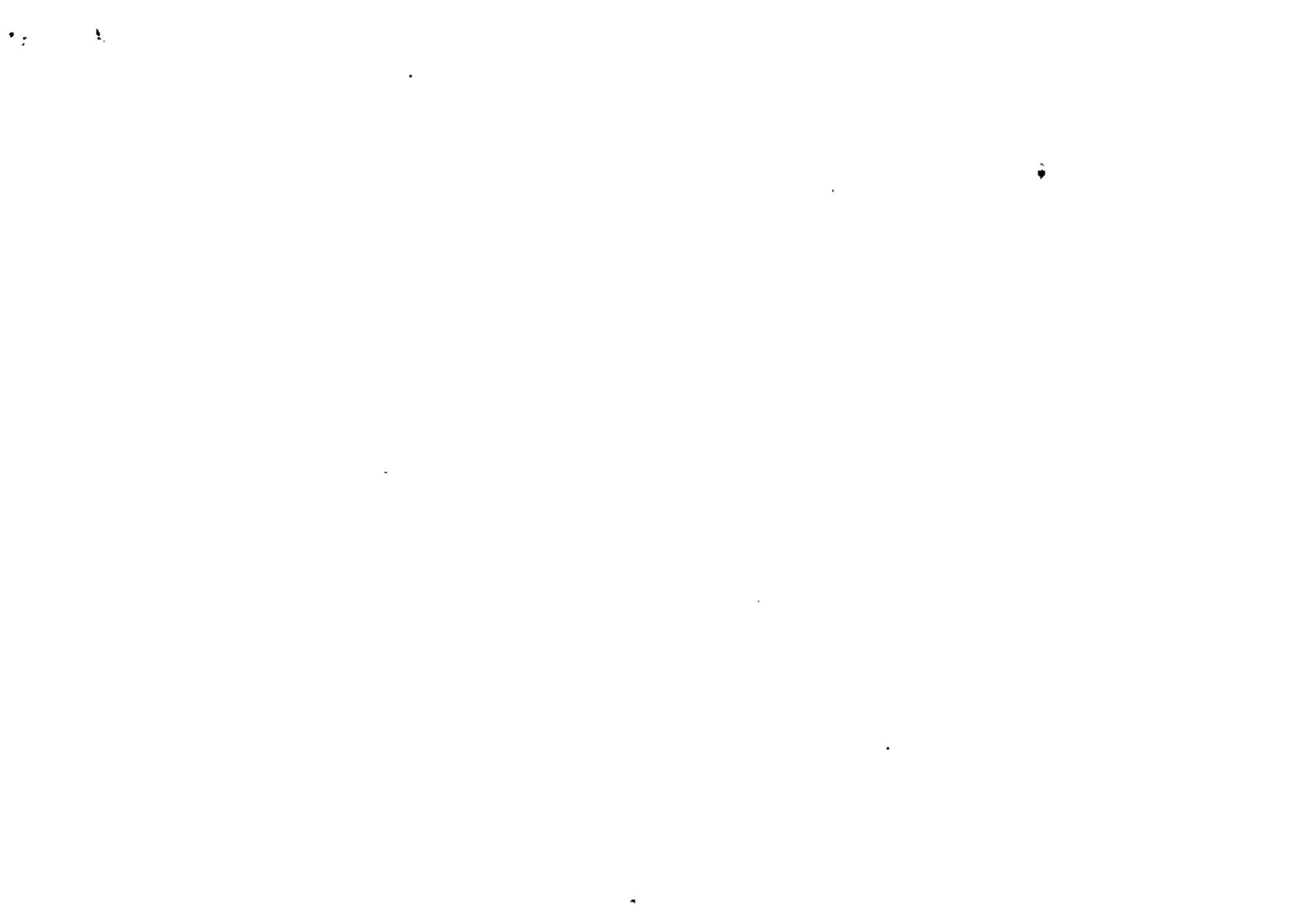
símbolos

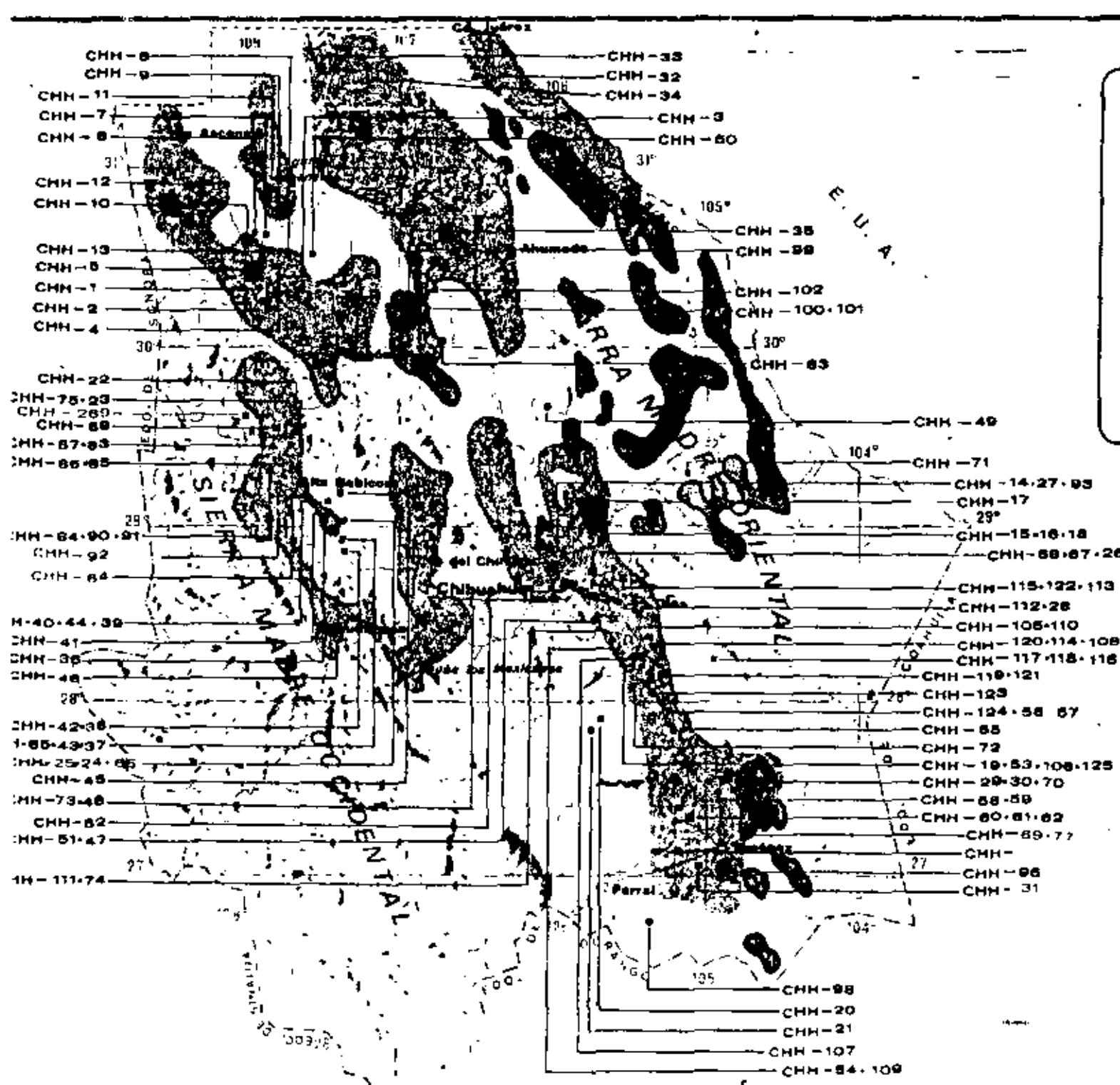
ZONAS

-  sobreexplotadas
-  en equilibrio
-  subexplotadas
-  en prospección

CLAVE DE ZONA
GEOHIDROLÓGICA 7-1







símbolos

ÁREAS

-  aluviones
-  terciarias
-  calizas

POZOS (1971 - 1977)

-  explotación
-  exploración
-  sondajes

CLAVE NACIONAL DE POZOS CHH-1

ESCALA

0 5 100 150 Km

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.

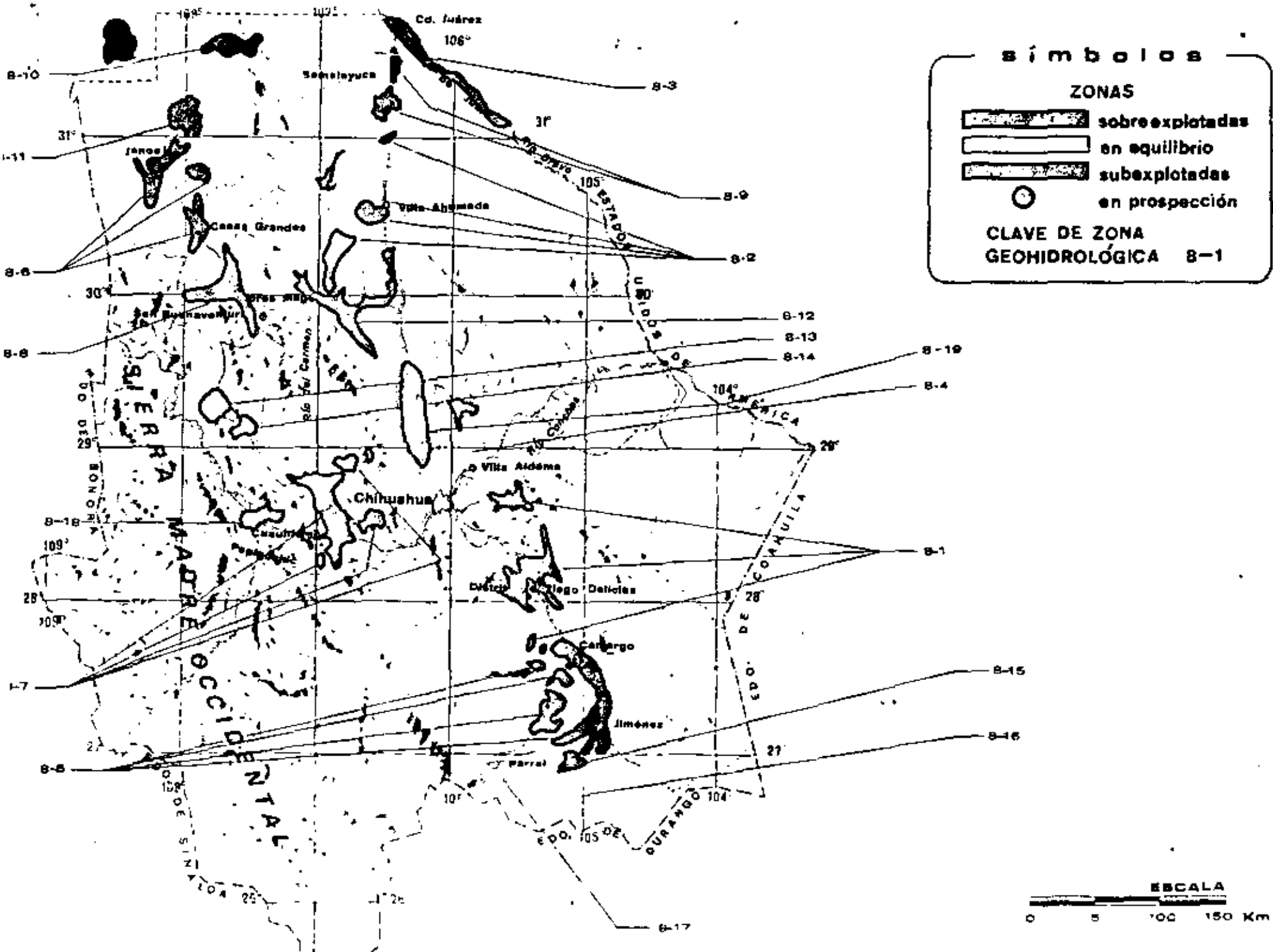
En **Nombre de Dios y Ojos del Chuvistar**, cerca de la Ciudad de Chihuahua se ha perforado sobre calizas con buenos resultados y se considera que muchas de las estructuras calcáreas de la porción este y noreste podrían tener condiciones geohidrológicas favorables.

símbolos

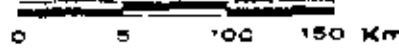
ZONAS

-  sobreexplotadas
-  en equilibrio
-  subexplotadas
-  en prospección

CLAVE DE ZONA
GEOHIDROLÓGICA B-1



ESCALA



CHIHUAHUA

Estudios

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.

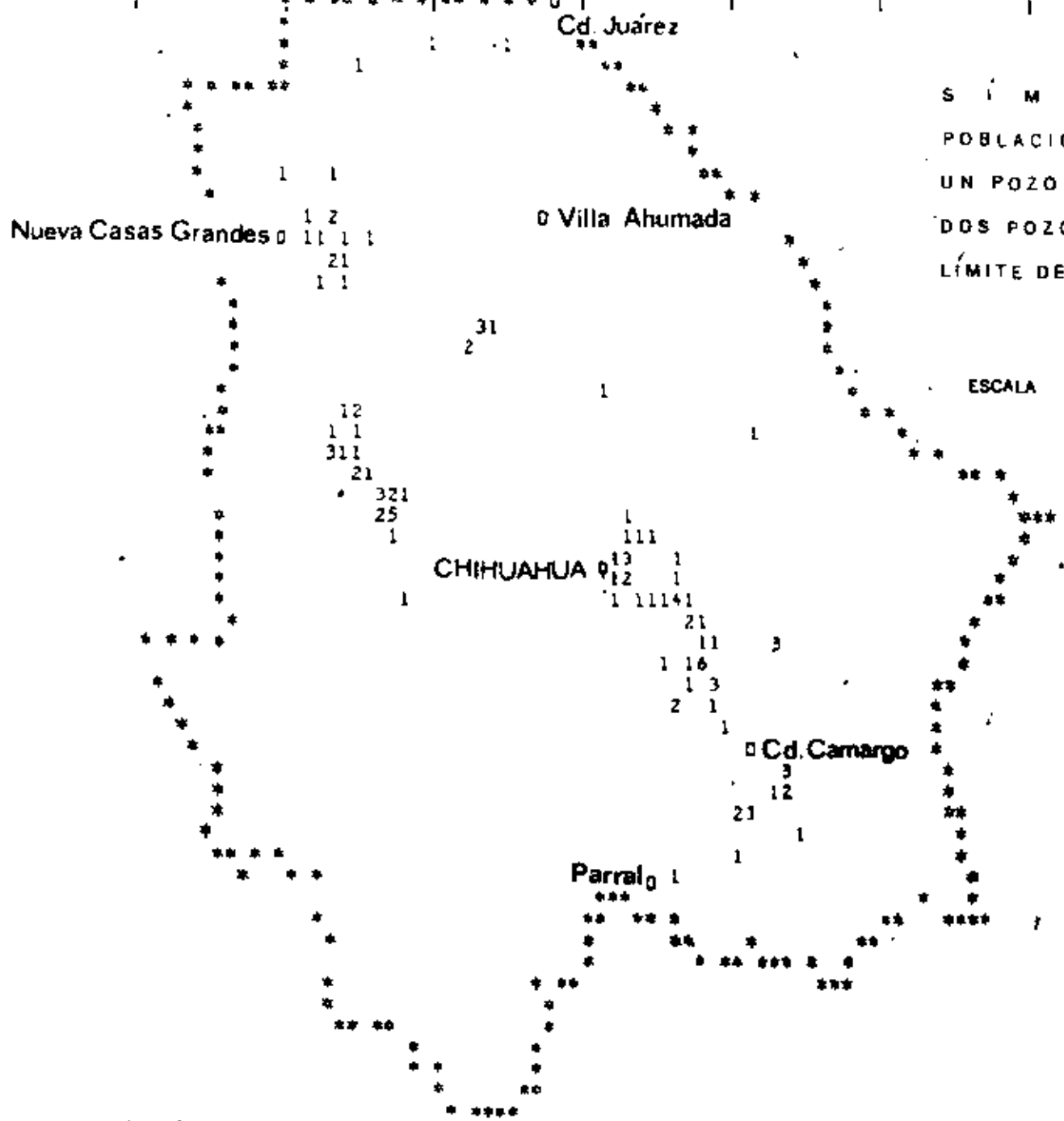
También es de gran importancia el distrito de riego del Valle de Juárez,

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, Cuauhtémoc, San Buenaventura, Samalayuca y Janos, en las cuales los volúmenes extraídos del subsuelo no exceden al volumen renovable de sus acuíferos, y las de Villa Aldama, Casas Grandes y Jiménez Camargo, afectadas ya por sobreexplotación, pero todavía aprovechables por mucho tiempo si se frena 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.

LAVES		N O M B R E	PROFUNDIDAD EN METROS	NIVELES EN METROS		CAUDAL l. p. s.	SITUACIÓN GEOGRÁFICA		
DNAL	LOCAL			ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACIÓN m. s. n. m.	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
1-1	PCGO-1	COLONIA MADERO	389	1.0*	15.1	71.5	1489	30 18 26	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 MENDONITA	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 JEROMIN	331	66.8	83.0	0.9	1223	28 53 0	105 45 48
1-19	PDO-20	CIUDAD MILITAR	151	46.1	59.9	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 0	105 39 0
1-22	PCHIZA-1	TRES CASTILLOS	150	12.4	61.1	1.0	2126*	29 32 9	107 43 48
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 52
1-25	PCHNA-2	COL. OSCAR SOTO MAYNEZ	62	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 26
1-31	PCHVI-1	ESC. TEC. AGROP. 168	152	15.4	28.5	101.0	1512*	27 2 20	105 11 47
1-32	PCHJ-30	NVO. CUAUHTEMOC 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. CUAUHTEMOC 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

31G17M085
30G41M255
30G05M425
29G29M595
28G54M175
28G18M345
27G42M515
27G07M085
26G31M255
25G55M425
25G20M005



S Í M B O L O S

POBLACIÓN	0
UN POZO	1
DOS POZOS	2
LÍMITE DE ESTADO	*

ESCALA 1:3817,123

LAVE F QUAL	POZOS C A L	N O M B R E	PROFUNDIDAD EN METROS	N.I.V.E.L.E.S EN METROS		CAUDAL l.p.s.	SITUACION ELEVACION m. s. n. m.	G R A F I C O		LONGITUD DESTE
				ESTÁTICO	DINÁMICO			LATITUD NORTE	LONGITUD DESTE	
H-43	PCHNA-10	COL. ADOLFO R. CORTINES 2	200	24.7	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	21.3	79.7	22.0	1878	29 6 44	107 26 52	
H-46	PCHGUE-1	CONAFRUT	150	66.4	76.5	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 AVALOS	150	92.6	87.9	34.0	1350*	28 38 40	105 58 45	
H-49	PCHCH-5	LA ESPERANZA	152	34.6	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 CONCHOS	152	50.2	70.9	25.0	1231*	27 57 20	105 23 52	
H-57	PCHSA-2	COL. PUÍZ CORTINEZ	151	10.2	72.8	0.0	1270*	27 56 34	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	62.1	93.9	19.2	1373*	27 17 6	105 10 52	
H-61	PCHVA-2	PLAN DE AYALA	152	59.5	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	33.0	1380*	30 2 24	106 49 38	
H-64	PCHGOG-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 29 28	
H-66	PCHNA-14	LA TRASQUILLA	152	72.0	84.0	0.5	1385	29 1 36	107 33 20	
H-67	PCHVAL-6	SECC. EJIDO LOS LEONES	150	62.0	76.4	0.5	1330	28 43 47	105 55 3	
H-68	PCHD-25	DELICIAS	265	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 ENRAMADA 2	153	13.4	26.2	59.0	1287	27 30 15	104 56 24	
H-71	PCHCDY-1	RODRIGENO	150	25.1	96.0	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 LLANCO	400	60.9	73.5	70.4	1300*	28 27 44	105 36 35	
H-75	PCHIZA-3	TRES CASTILLOS	251	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	66.2	75.0	2150	29 16 32	107 54 7	
H-85	PCHMA-3	COL. ALAMILLO	125	4.7	9.8	88.0	2152	29 24 14	107 53 30	
H-86	PCHGOF-2	PENA BLANCA	200	18.8	66.4	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 PORVENIR DEL CAMPESINO	200	10.3	17.0	81.0	1715	29 25 3	107 45 45	
H-90	PCHMA-7	SAN JOSE DE BABICORNA	173	19.1	23.7	91.0	2166*	29 15 39	107 43 13	
H-91	PCHMA-8	COLONIA LIBERTAD	200	5.7	24.2	103.0	2152	29 15 40	107 44 50	
H-92	PCHMA-9	LA PINTA	454	41.6	52.7	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	

LAVE DE POZOS		N O M B R E	PROFUNDIDAD EN METROS	NIVELES EN METROS		CAUDAL L.P.S.	SITUACION GEOGRAFICA		
UNAL	LOCAL			ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACION m. s. n. m.	LATITUD "NORTE"	LONGITUD OESTE
4-98	PCHPA-2	TECNOLOGICO DE PARRAL	250	71.5	111.4		1715*	26 55 35	105 34 11
4-99	PCHBU-3	RICARDO FLORES MAGON	251	23.1			1497	25 57 7	106 58 59
4-100	PCHBU-4	SAN ISIDRO 1	135	15.0	39.5	67.0	1399	30 2 20	106 56 12
4-101	PCHBU-5	SAN ISIDRO 2	262	16.3*			1395	30 3 12	106 55 3
4-102	PCHBU-6	SAN ISIDRO 3	261	15.9			1389	30 4 6	106 53 46
4-105	P8B00-1	BARRANCO BLANCO	400	18.0*			1187	28 26 15	105 36 20
4-106	PDB-2	LA GARITA	400	12.1	39.8	105.0	1220	28 8 10	105 34 18
4-107	P00-3	KILOMETRO 3	400	2.0			1200	28 10 0	105 29 30
4-108	PDB-4	MEOQUI	381	-1.0		55.0	1172	28 16 42	105 28 47
4-109	P8B08-5	BARRANCO BLANCO	425	43.2	43.2	75.6	1186	28 26 50	105 36 21
4-110	P00-6	LA ESCUADRA	400	4.1			1259	28 22 56	105 33 20
4-111	P00-7	NUEVO SAN LUCAS	400	3.1	7.8	12.4	1158	28 21 25	105 34 37
4-112	P00-8	LAS PALMAS	282	19.6	42.9	30.6	1170	28 30 29	105 35 20
4-113	P00-9	SAN DIEGO DE ALCALA	400	17.4	40.4	15.9	1139	28 37 30	105 35 23
4-114	P00-10	COL. ABRAHAM GONZALEZ	400	22.6	39.8	4.8	1180	28 13 14	105 22 34
4-115	P00-11	LA GALERA	400	13.0	15.0	10.0	1140	28 42 16	105 35 25
4-116	P00-12	CONGREGACION ORTIZ 1	400	2.2	12.2	50.0	1155	28 14 30	105 0 55
4-117	PDB-12A	CONGREGACION ORTIZ 2	425	1.3	36.6	106.0	1150	28 14 53	105 0 51
4-118	PDB-12B	CONGREGACION ORTIZ 3	100	6.9	27.6	105.0	1152	28 14 55	105 1 15
4-119	PCB-13	COL. ORIBE DE ALBA 1	400	70.0*			1445	28 6 27	105 27 48
4-120	P00-14	COL. GUADALUPE VICTORIA	400	6.7	23.2	23.3	1150	28 19 26	105 27 46
4-121	P00-15	COL. ORIBE DE ALBA 2	400	109.3			1399	28 4 17	105 31 24
4-122	P00-16	NCP. PEDRO CONTRERAS	400	13.7	21.8	10.0	1200	28 32 20	105 40 10
4-123	P00-17	COL. ORIBE DE ALBA 3	409	112.3*			1452	28 0 35	105 25 40
4-124	P00-18	LAGUNA SECA	400	72.9			1257	27 48 50	105 42 5
4-125	P00-19	COL. DIVISION DEL NORTE	114	26.0	43.3	97.0	1186	28 11 2	105 28 14
4-259	PCHMA-10	PRESCA DEL TORO	87	85.0			2173	25 26 45	108 3 50
		VALORES MINIMOS	61	-1.0	4.1	0.0	1139	26 55 35	104 51 0
		* = * POZO TEEFICO 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 O T A L * * *	113	POZOS		4551.8 LPS	27095	METROS PERFORADOS	

VALORES ESTIMADOS *

ZONA GEOHIDROLÓGICA		ÁREAS DE ESTUDIO	ZONA DE EXPLOTACIÓN	ACUÍFERO DE POZOS	RECARGA ANUAL MILLONES DE m ³	EXTRACCIÓN ANUAL MILLONES DE m ³	CONDICIÓN GEOHIDROLÓGICA	POTENCIAL AL EXPLORABLE	NÚMERO DE POZOS	CAUDAL MEDIO POR POZO l. p. s.	MILLONES DE m ³ POR AÑO
CLAVE	NOMBRE	Km ²	Km ²								
8-1	Meoqui-Delicias	7040*	600*	242*	-	180*	Subexplotada	155*	80*	195*	
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*	1888*	1099*	-	375*	Sobreexplotada	0	0	0	
8-6	Casas Grandes - Janos	5500	2349	651	140	150	Sobreexplotada	30	40	200	
8-7	Cuauhtémoc	7000	2300	1949	120	98	Subexplotada	45	30	22	
8-8	San Buenaventura	2432	866	127	43	32	Subexplotada	20	30	11	
8-9	Samalayuca	2128	1948	99	30	18	Subexplotada	30	25	12	
8-10	Palomas	1400*	900*	134*	-	33*	Subexplotada	20*	20*	7*	
8-11	Ascensión	900*	800*	236*	-	10*	Subexplotada	15*	20*	5*	
8-12	Cuenca del Río del Carmen (Flores Magón)	5660*	3200*	218*	-	50*	Subexplotada	85*	30*	40*	
8-13	Alta Babicora	5000*	1152*	75*	-	4*	Subexplotada	30	100*	50*	
8-14	Baja Babicora	3500*	576*	216*	-	15*	Subexplotada	65*	30*	30*	
8-15	Villa López	1000*	35*	180*	-	57*	Sobreexplotada	0	0	0	
8-16	Villa Coronado	400*	10*	40*	-	13*	En equilibrio	0	0	0	
8-17	Parral	600*	50*	12*	-	2*	En equilibrio	0	0	0	
8-18	Mesa Miñaca	166*	30*	30*	-	3*	Subexplotada	6*	50*	5*	
8-19	El Sauz	3150*	2000*	400*	-	75*	Subexplotada	100*	60*	25*	
TOTAL		58938	21126	7828	378	1549		651		467	
CONFIRMADO		23422	9013	3402	378	352		125		65	
ESTIMADO		35516*	12113*	4426*	-	1197*		526*		402*	

- (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 geohidrológicas permiten recomendar la sobreexplotación del acuífero en este volumen.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

COMENTARIOS GENERALES SOBRE EQUIPOS
DE BOMBEO, ASI COMO APLICACIONES,
DISEÑO, SELECCION Y COSTO DE OPERACION
DE BOMBAS TURBINAS VERTICAL.

ING. FERNANDO LOPEZ OCHOA

JUNIO, 1979



P O N E N C I A

" COMENTARIOS GENERALES SOBRE EQUIPOS DE BOMBEO,
ASI COMO APLICACIONES, DISEÑO, SELECCION Y --
COSTO DE OPERACION DE BOMBAS TURBINA VERTICAL"

ING. FERNANDO LOPEZ OCHOA.

Junio 1979

C O N T E N I D O

1. DEFINICION DE EQUIPO DE BOMBEO.
2. CLASIFICACION DE TIPOS DE BOMBAS
3. BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
 - a) Rotatorias
 - b) Recíprocantes
4. BOMBAS DINAMICAS.

Clasificación de las bombas por el tipo de Succión.
Clasificación de las bombas por su dirección de flujo.
Carcasa
Impulsores.
5. BOMBAS TURBINA VERTICAL.

Generalidades.
Conjunto o Juego de tazones.
Conjunto de la columna
Conjunto de cabezal de descarga.
Diagrama de partes.
6. DEFINICIONES DE BOMBEO.
7. CALCULO DE UN EQUIPO DE BOMBEO (Bomba tipo turbina vertical).
8. ESPECIFICACIONES DE EQUIPO DE BOMBEO CON MOTOR ELECTRICO.
9. ESTUDIO DE COSTOS DE OPERACION.
10. BIBLIOGRAFIA.

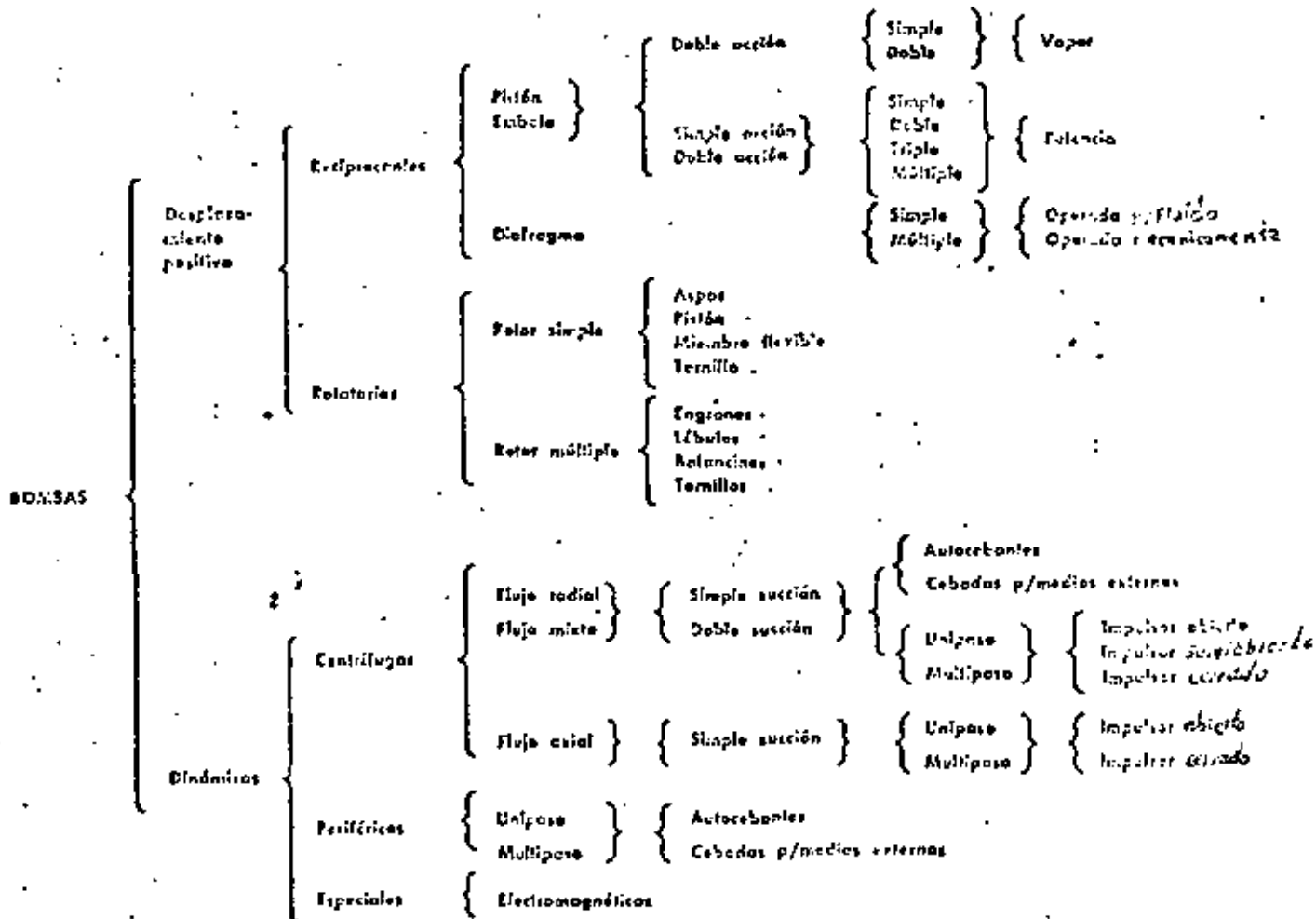
T A B L A S Y C U R V A S

- a. Tabla de pérdidas por fricción en columnas de turbina.
- b. Tabla de selección de flechas.
- c. Tabla de fricción mecánica en las flechas de las bombas turbinas
- d. Curva característica del impulsor empleado en el diseño del Equipo.
- e. Tabla de consumo eléctrico para diferentes gastos y niveles de bombeo.

CLASIFICACION

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación. La que se considera más completa y que se usará, es la del "HYDRAULIC INSTITUTE". El mencionado Instituto tiene como miembros a más de cincuenta compañías fabricantes de equipos de bombeo en el mundo entero y se ha preocupado por mantener al día los llamados "standards". A continuación se muestra esa clasificación.

CLASIFICACION DE BOMBAS



DEFINICION DE EQUIPO DE BOMBEO

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

Así tendremos bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido. Un ejemplo lo constituye una bomba de pozos profundos, que adiciona energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie.

Un ejemplo de bombas que adicionan energía de presión sería una bomba en un oleoducto, en donde las cotas de altura, así como los diámetros de tuberías y consecuentemente las velocidades fuesen iguales en tanto que la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tuviesen en la conducción.

Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan energía de velocidad. Sin embargo, a este respecto, hay muchas confusiones en los términos presión y velocidad, por la acepción que llevan implícita de las expresiones fuerza tiempo. En la mayoría de las aplicaciones de energía conferida por una bomba es una mezcla de las tres, las cuales se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos.

Lo inverso a lo que sucede en una bomba se tiene en una máquina llamada comúnmente turbina, la cual transforma la energía de un fluido, en sus diferentes componentes citados, en energía mecánica.

Para una mayor claridad, buscando una analogía con las máquinas eléctricas, y para el caso específico del agua, una bomba sería un generador hidráulico, en tanto que una turbina sería un motor hidráulico.

Normalmente un generador hidrúulico { bomba } es accionado por un motor eléctrico, térmico, etc., mientras que un motor - hidrúulico { turbina } acciona un generador eléctrico.

BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Este tipo de bombas se emplea en algunos casos en que se requieren muy altas cargas.

En estas bombas, el fluido que se desplaza siempre está contenido entre el elemento impulsor que puede ser émbolo, un diente de engrane, un aspa, etc., y la carcasa o el cilindro. En el caso de las centrífugas el fluido es impulsado y no guiado a lo largo de toda su trayectoria entre el elemento impulsor y la carcasa.

Las bombas de desplazamiento positivo se dividen en dos grupos principales: el de las bombas reciprocantes para manejo de líquidos y gases, operadas por vapor y mecánicamente; y el de las bombas rotatorias (engranes, aspas, levas, tornillos, etc.), que constituye un grupo cada vez más numeroso y variado, ya que no hay industria que no tenga algún tipo de ellas. Además cabe mencionar las transmisiones y controles hidráulicos y neumáticos, así como muchos de los mecanismos de control automático.

En el área de las transmisiones y controles, las máquinas de desplazamiento positivo tienen un dominio casi exclusivo, mientras que las turbomáquinas han invadido, y seguirán invadiendo cada vez más, el área de bombeo de líquidos y gases que, en otro tiempo fue el dominio exclusivo de las máquinas de émbolo. Uno y otro hecho se fundan en distinto principio de funcionamiento de estas bombas.

Entre las bombas de desplazamiento positivo rotatorias más comunes, se encuentran las de engrane, de pistón y aspas, llevando todas ellas en un montaje rotatorio el fluido y la admisión de la bomba a la salida, diferenciándose por el tipo de elemento que transporta el fluido.

En el caso de la bomba de álabes se encuentra formada de --
 álabes radiales tallados sobre la periferia de un disco metálico o im-
 pulsor, con caras planas, bien paralelas. Cada dos álabes consecutivos
 forman una celdilla; el conjunto de estas se van llenando y descargan-
 do en su rotación, por las lumbreras de aspiración y de descarga res-
 pectivamente, situadas radialmente en la carcasa. Las celdillas suelen
 ser un número suficientemente grande para dar una continuidad a la ve-
 locidad de descarga. Después de la descarga y antes de producirse la
 aspiración, hay un espacio muerto que suele ser de un octavo de la me-
 dia circunferencial del impulsor. El gasto de estas bombas es, en gene-
 ral, pequeño comparado con la carga que, en general, es muy alta, la
 que obliga a una construcción robusta y al empleo de sellos mecánicos-
 muy eficaces de neopreno y cerámicas con resortes de presión de acero
 especial inoxidable. En las superficies sometidas a fricción producida
 por el giro del rotor sobre el estator, se emplean anillos de un plásti-
 co especial que resiste el efecto abrasivo, los cuales pueden ser cam-
 biados fácilmente en caso de deterioro.

El gasto se calcula como sigue: Sea v el volumen de una -
 celdilla de un lado del impulsor; en los dos lados habrá $2v$. Si la má-
 quina gira a N rpm y η es el rendimiento volumétrico, el gasto volumé-
 trico por segundo será

$$Q = \frac{7}{8} (2nv) \frac{N}{60}$$

ya que sólo se cargan $7/8$ de celdillas por vuelta, supuesto un espacio
 muerto de $1/8$. El rendimiento volumétrico en estas bombas es del orden
 del 80%. La velocidad de rotación puede ser alta, pues no se presentan
 problemas de cavitación, ya que no hay zonas de bajas presiones; N es-
 del orden de 4,000 rpm.

La carga efectiva se compone, como en otras bombas, de la
 carga piezométrica h , de la carga de velocidad $V^2/2g$ y de las pérdidas
 en la tubería de descarga.

La carga piezométrica, como se sabe, es el resultado de la carga de presión p más la carga de posición z . Estas bombas se aplican, en general, para lograr unas determinadas condiciones de presión en ciertos recipientes contenidos líquidos, siendo de poca importancia la carga de posición e importando fundamentalmente la carga de presión. Trabajan con frecuencia con la descarga cerrada a un valor de presión fijado, alcanzando valores del orden de 20 kg/cm^2 .

El rendimiento hidráulico se aproxima al 60% y podría mejorarse si se da menos rotación al fluido, acortando la descarga respecto a la aspiración, esto es, multiplicando las lumbreras de aspiración y de descarga, pues se reducirían las pérdidas por recirculación y turbulencias; pero bajaría el caudal al disminuir el acarreo de agua por vuelta, ya que será menor el número de celdillas periféricas en transporte útil debido a los espacios muertos necesarios.

La potencia del motor se calcula, como en cualquier otra bomba, por la expresión.

$$P_m = \frac{\dots}{\dots}$$

en la que N_m representa el rendimiento mecánico, N_v el rendimiento volumétrico, N_h el rendimiento hidráulico y N_g el rendimiento global.

Estas bombas rotativas positivas tienen aplicación en la alimentación de calderas, sistemas de refrigeración y torres de enfriamiento; así como en lecherías, cervecerías, lavanderías, destilerías, hoteles, etc.

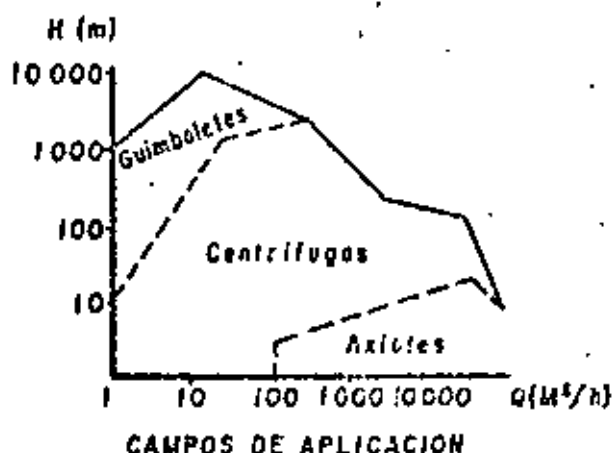
Otra bomba de desplazamiento positivo, de alta presión, que se emplea en pozos profundos de hasta mil pies con caudales pequeños de 5 a 55 gpm, es la "hi-lift". El elemento impulsor consiste en un rotor metálico de gran resistencia mecánica y a la oxidación generalmente de acero al cromo, que presenta un contorno helicoidal-redondeado, el cual gira dentro de un estator de contornos semejantes, pero construido de un hule especial resistente a la abrasión,

protegido por una caja de bronce. El agua atrapada entre ambos va siendo empujada hacia arriba por la tubería de descarga. Como el rotor tiene un movimiento excéntrico, el acoplamiento a la flecha del motor no es rígido sino flexible, estando constituido por un cable recubierto de hule -- que amortigua los efectos vibratorios del rotor y de la flecha. La velocidad de giro es del orden de 1,760 rpm.

El motor que acciona la flecha puede estar a nivel del terreno o sumergido en el pozo, colocado debajo del impulsor. Es de fácil operación y puede trabajar por largo tiempo sin revisión.

Entre las bombas de desplazamiento positivo recíprocante se puede enumerar a los molinos de viento y gimbaletes con aplicaciones agropecuarias debido a su importancia nos referiremos detalladamente a continuación.

Es importante saber las características de cada uno de los diferentes tipos de bombas que existen en el mercado, ya que cada tipo de bomba, sólo es eficiente para determinados rangos de presión y gasto.

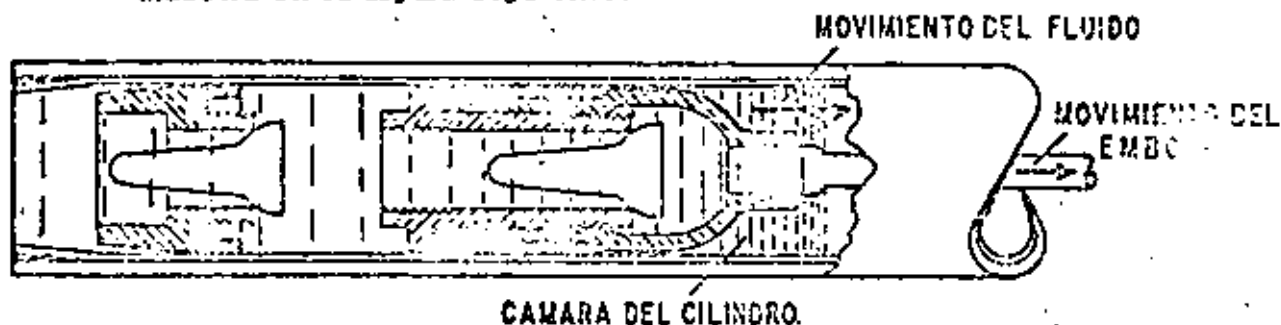


El Guimbalete es el tipo de bomba ideal para pozo profundo (hasta 500 Mts.) y de poco gasto (Hasta 3 Lts. por segundo). En esta área es más económico, tanto en inversión inicial como en costo de consumo de energía y mantenimiento. En otras palabras, el cliente obtendrá más beneficios por cada peso que invierta en bombeo.

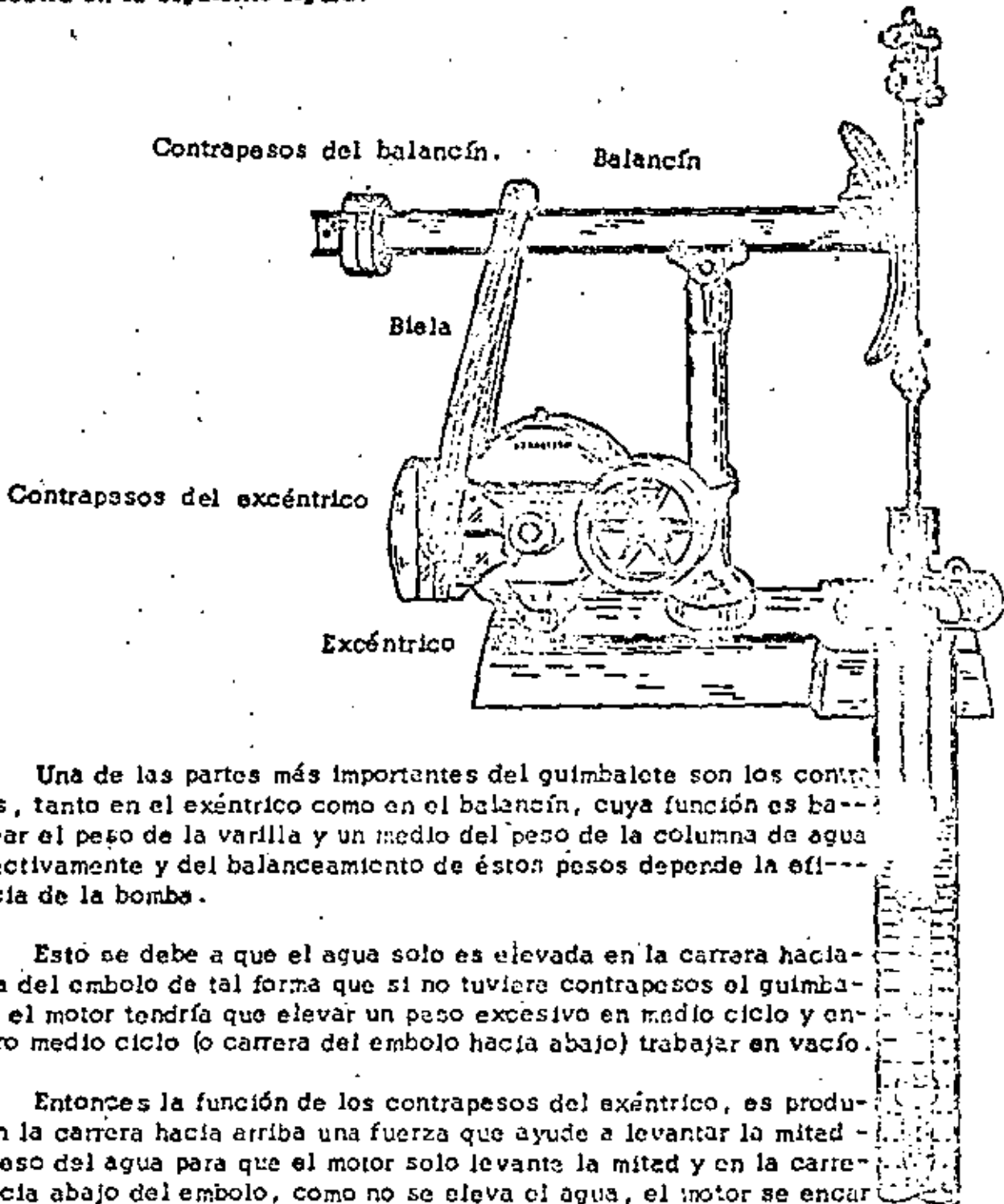
Los Guimbaletes están diseñados bajo un estudio profundo en ingeniería y la experiencia de más de 30 años de estarlos fabricando. En esta forma, ofrecen en el mercado bombas de émbolo -- (Guimbalete) que darán servicio por muchos años, tanto en la Industria, agricultura, ganadería, etc.

PRINCIPIO TECNICO DEL GUIMBALETE.

Su funcionamiento está basado en el principio del desplazamiento positivo, que consiste en un movimiento de un fluido (agua), -- causado por una disminución del volumen de un cilindro tal como se -- muestra en la figura siguiente:



El movimiento del embolo es proporcionado por el balancín, el cual a su vez, es movido por un exéntrico a través de las bielas, como se muestra en la siguiente figura:



Una de las partes más importantes del guimbaote son los contrapesos, tanto en el exéntrico como en el balancín, cuya función es balancear el peso de la varilla y un medio del peso de la columna de agua respectivamente y del balanceamiento de éstos pesos depende la eficiencia de la bomba.

Esto se debe a que el agua solo es elevada en la carrera hacia arriba del embolo de tal forma que si no tuviere contrapesos el guimbaote, el motor tendría que elevar un peso excesivo en medio ciclo y en el otro medio ciclo (o carrera del embolo hacia abajo) trabajar en vacío.

Entonces la función de los contrapesos del exéntrico, es producir en la carrera hacia arriba una fuerza que ayude a levantar la mitad del peso del agua para que el motor solo levante la mitad y en la carrera hacia abajo del embolo, como no se eleva el agua, el motor se encargará de volver a levantar los contrapesos para que lo ayuden cuando se tenga que volver a levantar el agua.

Los contrapesos del balancín, sirven únicamente para balancear el peso de la varilla.

REQUISITOS DE AGUA.

Los siguientes requisitos, son aproximaciones solamente, puesto que el consumo de los individuos y de los animales variará con las condiciones climatológicas y las estaciones del año.

Es aconsejable, que al escoger un guimbaleta, este exceda en -- cierto grado al máximo de los requisitos con el fin de tener una reserva -- tomando en cuenta futuras compras de animales, o terrenos de riego.

Datos de consumo de agua (litros) diarios por persona para fines-domésticos:

Bebida, cocina, limpieza, etc.....	20 a 30
Lavado de ropa.....	10 a 15
Un baño de pila.....	350
Un baño de asiento.....	40
Una ducha.....	40 a 80
Riego de patios, jardines y aceras por metro cuadrado.....	105
Limpieza de coche o automóvil.....	200 a 300
Limpieza de un carro de 4 ruedas.....	80

Consumo en litros de algunos edificios y servicios públicos:

Escuelas, un alumno por día.....	2
Fuentes públicas con grafito, por día.....	3,000
Hoteles.....	3.02 L.P.M.
Edificios de apartamentos.....	1.13 L.P.M.
Hospitales.....	1.51 L.P.M.
Edificios de oficinas.....	2.67 L.P.M.
Mercantiles.....	2.25 L.P.M.

NOTA: A la salida de las válvulas se requiere una presión por lo-menos de 1 Kg/Cm^2

Consumo en litros de agua diarios de algunos animales:

Vacas (en bebederos).....	56
Ovejas.....	113
Puercos.....	19
Pollos (100).....	19

Datos sobre el agua necesaria en ~~21~~ ~~cuas~~ para algunos cultivos:

Cultivo	Galones por Min. en 100 Hectáreas.	Lts. por Seg. en 1 Hectárea.
Acelga.....	920	0.50
Aguacate.....	363	0.23
Ajo.....	620-920	0.39 a 0.77
Alonjolf.....	920	0.58
Alfalfa.....	932-1110	0.62 a 0.77
Algodón.....	730-920	0.46 a 0.58
Algodón húmedo.....	982	0.62
Algodón seco.....	790	0.50
Alpiste.....	720-910	0.46 a 0.58
Avena.....	730	0.46
Arroz.....	2440-3640	1.54 a 2.3
Arvejón.....	730	0.46
Betabel.....	1840	1.16
Cacahuate.....	920	0.58
Café.....	920	0.58
Calabaza.....	730-920	0.46 a 0.58
Camote.....	730-920	0.46 a 0.58
Caña de azúcar.....	1110-1220	0.70 a 0.77
Cebada.....	730	0.46
Cebolla.....	620-730	0.39 a 0.46
Coco de aceite.....	1220	0.77
Coco de agua.....	1220	0.77
Col.....	1220-1840	0.77 a 1.16
Comino.....	491	0.31
Chicharo.....	620-730	0.39 a 0.46
Chile.....	730-110	0.46 a 0.70
Chipotle.....	620	0.39
Ejote.....	620	0.39
Forrajes.....	730-920	0.46 a 0.58
Fresa.....	855-920	0.54 a 0.58
Frijol.....	491-620	0.31 a 0.39
Frutales.....	920	0.58
Garbanzo.....	730-982	0.46 a 0.62
Girasol.....	620-920	0.39 a 0.58
Haba.....	620-730	0.39 a 0.46
Higuertilla.....	730-920	0.46 a 0.58
Hortalizas.....	982-1220	0.62 a 0.77
Jícama.....	730	0.46
Jitomate.....	730	0.46
Lenteja.....	620-730	0.39 a 0.46
Linaza.....	620-730	0.39 a 0.46
Lino.....	491-920	0.31 a 0.58
Limonero.....	920-1540	0.58 a 0.97
Lechuga.....	1220	0.77

Cultivo	SALIDA DE S' POR MIL. en 100 Hectáreas.	Lts. por Seg. en 1 Hectárea.
Maíz.....	730-920	0.46 a 0.58
Maíz humedo.....	855	0.54
Maíz seco.....	730	0.46
Maíz tardío.....	730-1 220	0.46 a 0.77
Maíz temprano.....	730-1 220	0.46 a 0.77

TRANSMISION DE MOVIMIENTO.

La transmisión de movimiento se lleva a cabo en dos partes principales:

- Un reductor de velocidad que está formado por 2 engranes helicoidales y 2 poleas de bandas en 'V' (Figura 1).
- Convertidor de movimiento circular en movimiento lineal de -- valven. Es una forma especial del mecanismo biela manibela, formado por los siguientes eslabones o elementos: (Figura 2)
 - 2 Exéntricos
 - 1 Biela
 - 1 Balancín (con nariz)
 - Flacha de columna.

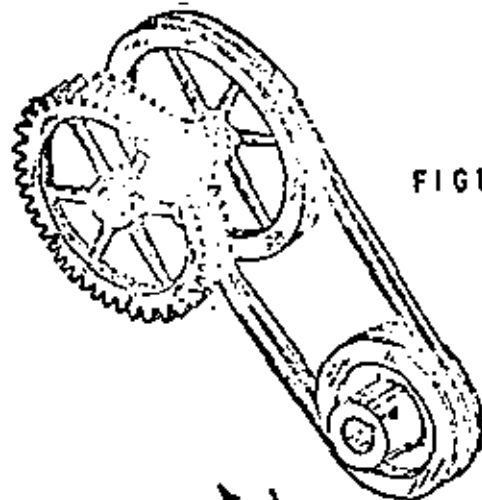


FIGURA No. 1

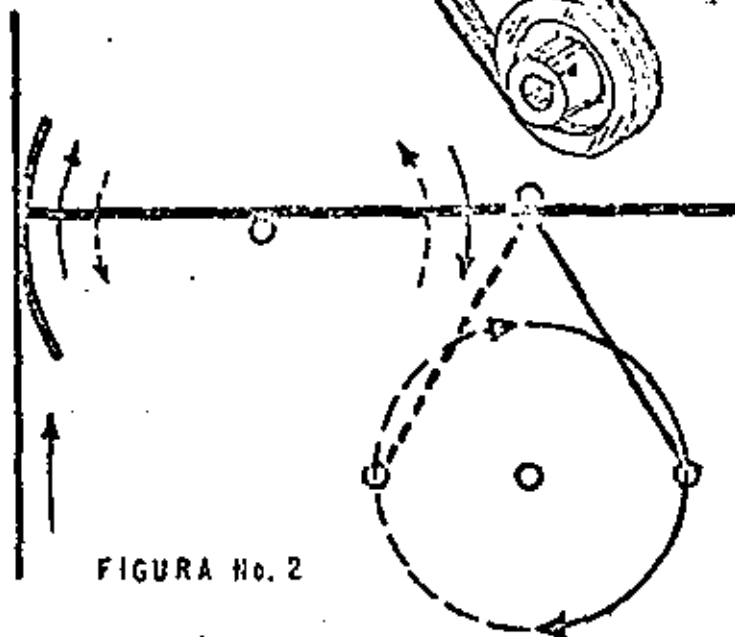


FIGURA No. 2

ADITAMENTOS ESPECIALES

CONTRAPISTON.

Es un pistón que se coloca en el cabezal de descarga, con la característica de que impulsará el agua en la carrera hacia abajo, contrario al pistón principal (que va colocado al final de la tubería de columna) -- que impulsa el agua en la carrera hacia arriba.

Ventajas que se obtienen con el uso del Contrapistón:

- a).- Se tendrá un gasto más uniforme a la salida del agua en la --
descarga.
- b).- Se evitarán fugas en el cabezal de descarga, una forma más --
efectiva que cuando se usan estoperos.
- c).- Se usará menos contrapeso en el exéntrico para el balanceo de
la columna de agua y de ésta forma se podrá aumentar los gop-
pes por minuto en caso de que se quiera aumentar el gasto.

Se recomienda el uso de Contrapistón cuando existe una considera-
ble longitud en tubería de descarga.

COMPENSADOR NEUMATICO.

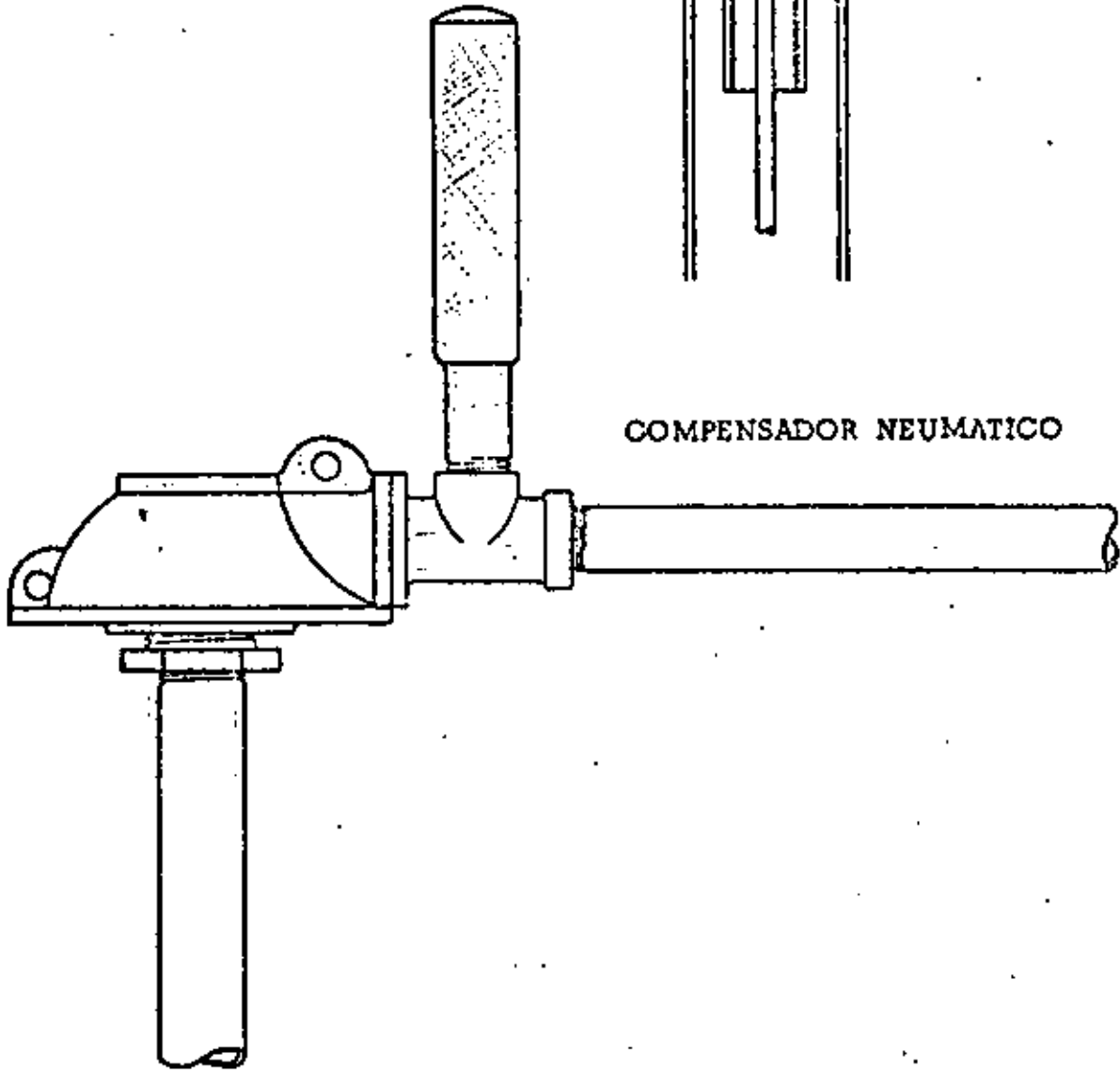
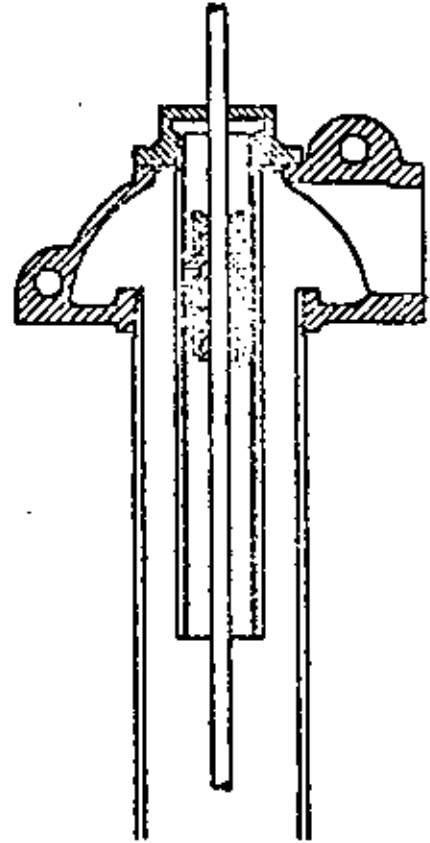
Es un recipiente de aire que se coloca en el cabezal de descarga. -
Su función es formar un colchón de aire que amortigua las aceleraciones --
del agua. :

Ventajas en la tubería de descarga:

- 1).- Se tiene un gasto más uniforme.
- 2).- Se evita el golpe de arlete.
- 3).- Se reduce la carga por fricción hidráulica al no tener veloci-
dades del agua, elevados en determinadas posiciones del exón-
trico del guimbaleta.

Se recomienda su uso cuando la tubería de descarga tiene una consi-
derable longitud.

CONTRAPISTON



COMPENSADOR NEUMATICO

INSTRUCTIVO

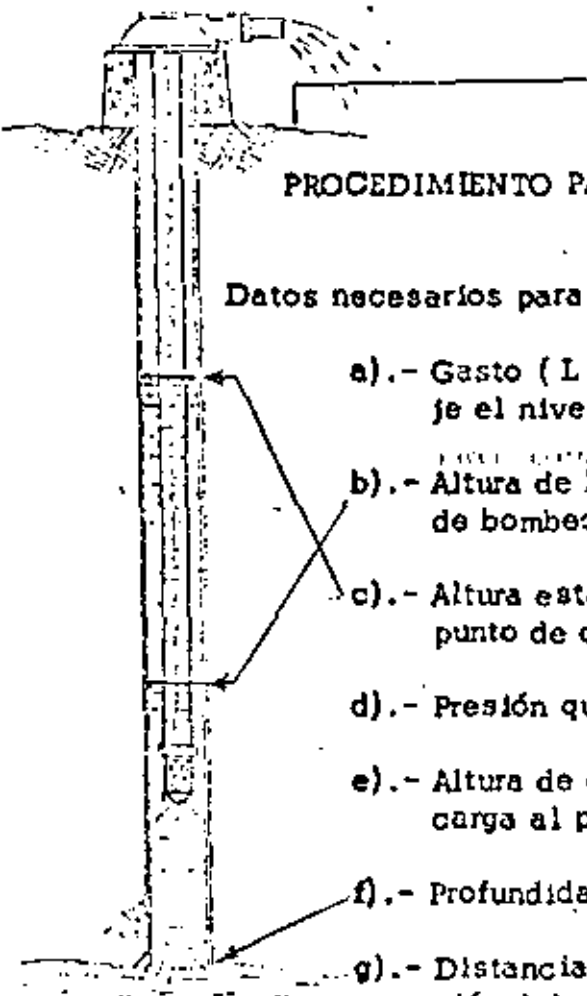
PARA CALCULO

DE UN

GUIMBALETE.

PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR UN GUIMBALETE.

Datos necesarios para el cálculo:

- 
- a).- Gasto (L.P.S. que se pueden extraer del pozo sin que baje el nivel de bombeo).
 - b).- Altura de bombeo (distancia vertical del nivel del agua o de bombeo al punto de descarga cuando está bombeando).
 - c).- Altura estática (distancia vertical del nivel del agua al punto de descarga cuando no se está bombeando).
 - d).- Presión que se desea a la salida del agua .
 - e).- Altura de descarga (distancia vertical del cabezal de descarga al punto de salida del agua).
 - f).- Profundidad total del pozo .
 - g).- Distancia del nivel del agua al suelo (lugar de colocación del cabezal de descarga).

En base a estos datos , se calcula lo siguiente:

- a).- Modelo apropiado (B-64, B-101, B-151, B-201, B-251).
- b).- El cilindro (diámetro de 47.25 mm., 60.325 mm., 69.85 mm. ó 95.25 mm.).
- c).- Golpes por minuto (revoluciones a que debe girar el excéntrico para proporcionar el gasto deseado).
- d).- Altura manométrica total .
- e).- Potencia al freno necesaria (que deberá aportar el motor).
- f).- Polea del motor (diámetro).
- g).- Longitud de la columna .
- h).- Los contrapesos que deberá llevar el guimbaleta en el excéntrico y en el balancín .

Procedimiento:

a).- Modelo apropiado:

$$\frac{\text{Nivel de bombeo} \times \text{Gasto}}{41.8} = \text{Igual o menor que.}$$

- 1/2 Se usará el B-64 con varilla de 13 mm.
 1-1/2 Se usará el B-101 con varilla de 16 mm.
 3 Se usará el B-151 con varilla de 16 mm.
 7-1/2 Se usará el B-201 con varilla de 19 mm.
 10 Se usará el B-251 con varilla de 19 mm.

El nivel de bombeo se especifica en metros.
 El gasto se especifica en litros por segundo.

b).- Diámetro del cilindro y los golpes por minuto se la Gráfica I en la cual se encuentra el cilindro y los golpes por minuto necesarios para obtener el gasto deseado. (Litros por Segundo).
 Se recomienda usar el cilindro mayor con el número de G.P.M.

c).- Altura manométrica total es igual a la suma.

- 1.- Altura de bombeo (que proporciona el cliente).
- 2.- Fricciones hidráulicas.

Se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Velocidad del agua} = \text{GPM} \times \text{Ct} \times \text{Ca}$$

- GPM Golpes por minuto
 Ct Constante que encontramos en la Tabla I
 Ca Constante que encontramos en la Tabla II

TABLA I CONSTANTE "I"

MODELO	Ct.
B-64	0151
B-101	0213
B-151	0284
B-201	0372
B-251	0372

TABLA II CONSTANTE "Ca"

TUBO Diam. Nominal	CILINDRO Diámetro interior en mm.	DIAM. DE LA VARILLA		
		13 mm.	16 mm.	19 mm.
4"	95.25	.8653	.8642	.863
3"	69.85	.7977	.7946	.79
2-1/2"	60.32	.9218	.92	.92
2"	47.25	.8109	.804	.795

Encontrando la velocidad del agua, se consulta la Gráfica II y -- de acuerdo con el diámetro del tubo (Tabla II), encontramos las pérdidas por fricción por cada metro de tubería.

Pérdidas por fricción
totales en la tubería
de columna y descarga = $\frac{\text{Dato encontrado en la Gráfica II} \times \text{Longitud de tubería}}{100}$

Longitud de Tubería = $\frac{\text{Longitud de Tubería de Columna} + \text{Longitud de Tubería de Descarga.}}{100}$

3.- La presión a la salida del agua la proporciona el cliente. Por lo general se expresa en Kilogramos por centímetro -- Cuad. o en Libras por pulgada Cuad. y deberá convertirse a metros con la siguiente fórmula:

$\text{Kg. por Cm. Cuad.} \times 10 = \text{Metros}$

$\frac{\text{Libras por Pulgada Cuad.}}{1.422} = \text{Metros}$

Altura manométrica total.

Altura Man. Total = $\frac{\text{Altura de bombeo} + \text{Pérdidas por fricción} + \text{Presión a la salida}}{100}$

Tabla III

La altura manométrica máxima (Mts.) permitida deberá ser igual o menor a la máxima permitida por el modelo que se escogió y la cual se especifica en la Tabla III.

Modelo	Diámetro inferior del cilindro (mm.)			
	47.62	60.325	69.85	95.25
B-64	88	59	43	22
B-101	162	130	101	60
B-151	292	235	201	107
B-201	377	318	262	130
B-251	510	373	262	130

Si la altura manométrica que tendrá que vencer el guimbaleta es mayor que la permitida por el modelo que se escogió, se deberá volver a efectuar todo el cálculo, pero con el modelo inmediato mayor.

d).- Potencia al freno. Se calcula utilizando la Gráfica III.

La altura manométrica deberá expresarse en metros.

El gasto deberá expresarse en litros por segundo.

e).- Diámetro de la polca del motor.

$$\text{Diam. polca en centímetros.} = \frac{K_p (\text{Tabla IV}) \times \text{GPM}}{\text{RPM del Motor}}$$

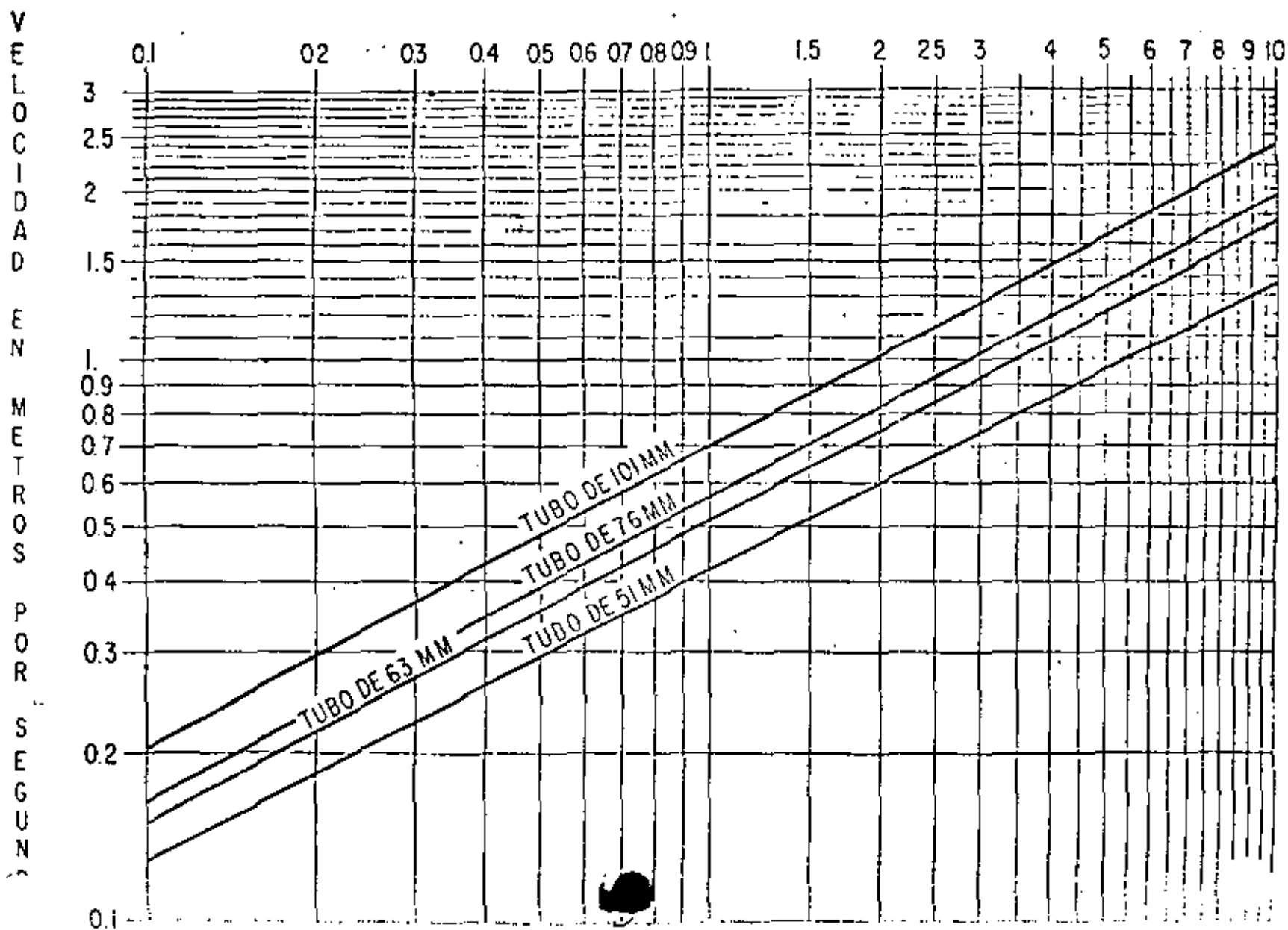
TABLA IV CONSTANTE "Kp "

Modelo	Constante
B-64	444.5
B-101	566.5
B-151	696
B-201	899
B-251	899

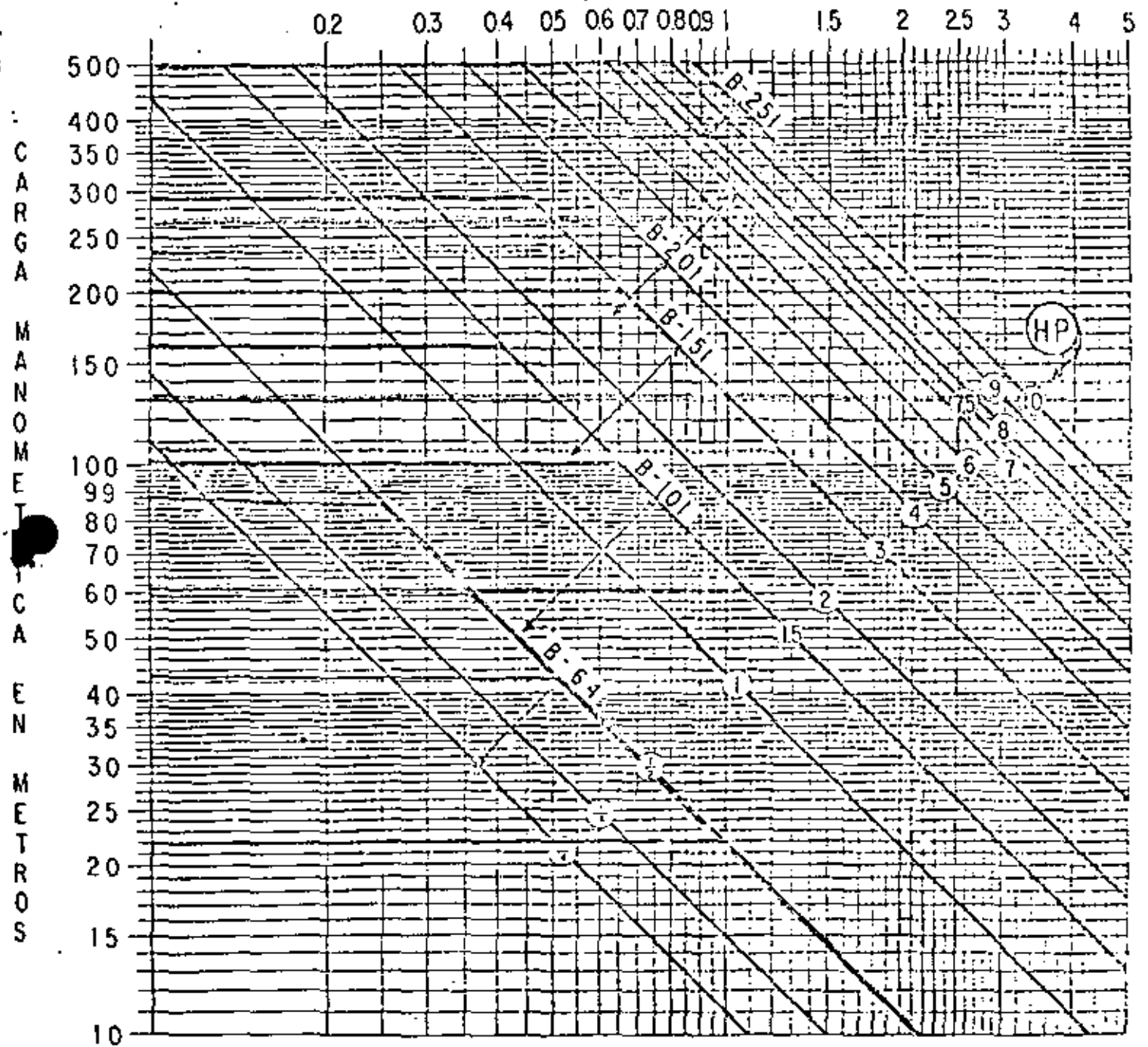
PERDIDA POR FRICCION EN TUBERIA DE

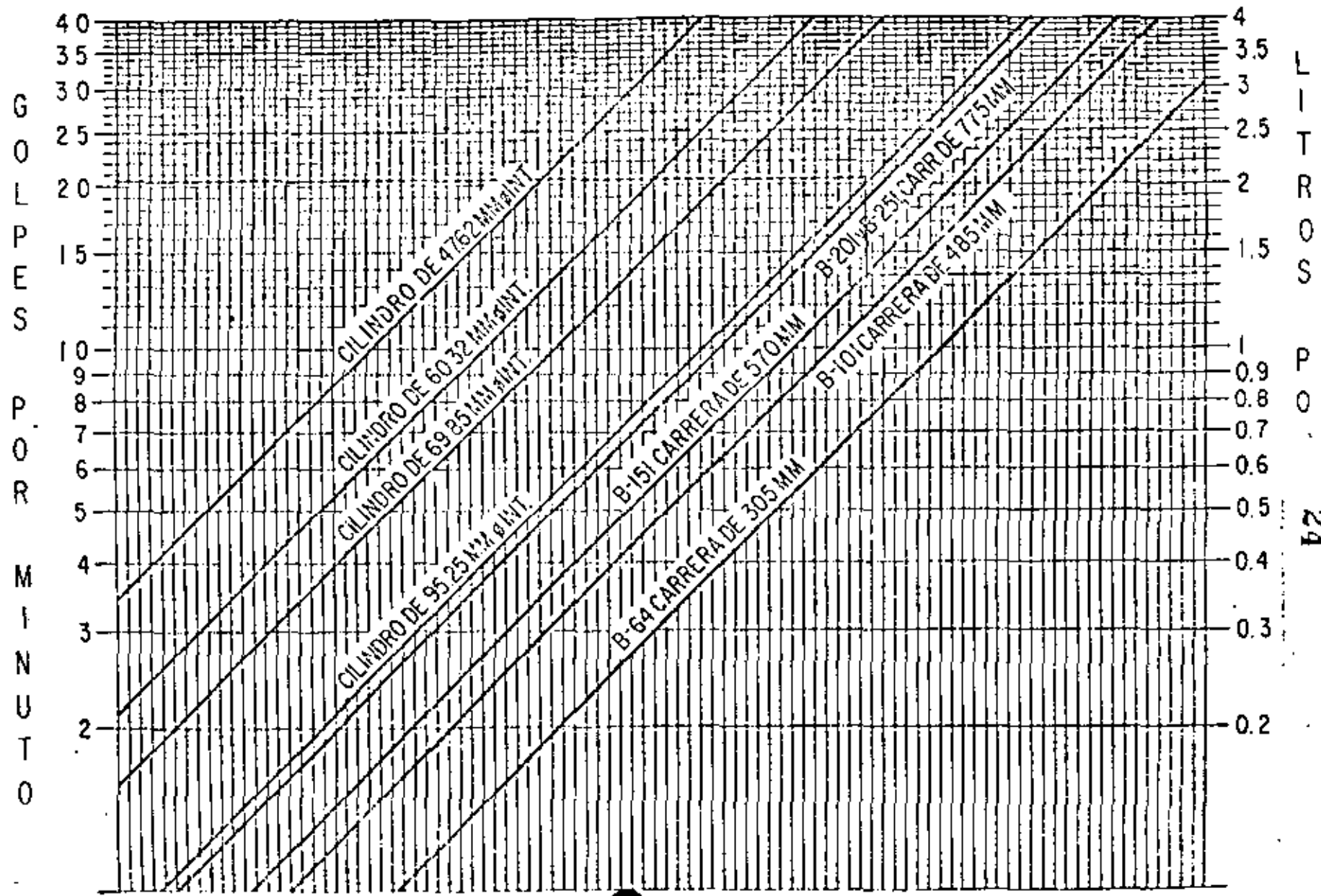
COLUMNA Y DESCARGA.

EN CENTIMETROS POR CADA METRO DE TUBO.



GASTO EN LITROS POR SEGUNDO





f).- Longitud de la tubería y varilla de columna.

Long. de columna recomendada = nivel de bombeo + 1 metro (por lo menos)

Longitud de varilla = Longitud de la columna

A la longitud de la varilla de columna, se le agregará una varilla- (flecha de cabezal) al final en la parte superior con las medidas siguientes:

Flechas de cabezal en metros.	Modelo
1.75	B-64
2.32	B-101
2.82	B-151
3.32	B-201
3.32	B-251

Longitud total de la varilla = Profundidad de bombeo + 1 metro (por lo menos) + Longitud de flecha cabezal

g).- Balanceo de la columna de agua y varilla.

1.- Columna de agua.

Primeramente es necesario encontrar el peso de la columna de agua con la constante " Ka " que encontramos en la Tabla V.

Peso de la columna de agua que se va a balancear = Mitad de altura manométrica X " Ka "

TABLA V CONSTANTE "Ka"

Diam. del cilindro	Diámetro de la varilla		
	13 mm.	16 mm.	19 mm.
45.62	1.5156	1.3789	1.2196
60.325	2.5927	2.456	2.2910
69.85	3.566	3.4299	3.2647
95.25	6.86	6.7235	6.5583

El peso de la columna de agua que se va a balancear cuando el cabezal de descarga lleva contrapistón

Peso a balancear en la tubería de descarga	=	$\frac{1}{2}$	Longitud vertical del cabezal de descarga al punto de salida del agua	X " Kc "
Peso a balancear en la tubería de descarga	=	$\frac{1}{2}$	Longitud del nivel de bombeo al cabezal de descarga	X " Ka "

TABLA V-a CONSTANTE "Kc"

Diam. del cilindro (mm.)	Diámetro de la varilla			
	13 mm.	16 mm.	19 mm.	
45.62	- 1.647 -	1.579 -	1.497	
60.325	- .5710 -	.502 -	.419	
69.85	+ .402 +	.472 +	.554	
95.25	+ 3.696 +	3.765 +	3.847	
Peso de la columna a balancear	=	Peso en Tubería de columna	+	Peso en tubería de descarga

(+) Cuando la constante Kc sea positiva en la Tabla V-a

(-) Cuando la constante Kc sea negativa en la Tabla V-a

El peso de la columna de agua que se va a balancear, se compara con los pesos que pueden balancear los contrapesos del exéntrico que se expresan en la Tabla VI

TABLA VI

Nos indica el peso que nos pueden balancear los contrapesos del exéntrico.

Num. de contrapesos del exéntrico	M O D E L O S				
	B-64	B-101	B-151	B-201	B-251
E.....	13.4	38.5	61.3	97.4	97.4
E + 2 P.....	27.1	82.5	134.8	200	200
E + 2 P + 2 R.....	41.1	116.5	172.6	296.3	296.3
E + 2 P + 4 R.....	57.7	158.3	246.7	368.8	368.8
E + 2 P + 6 R.....	76.1	200	360.4	422.9	422.9

E = Exéntrico, P = Parabólicos, R = Rectangulares

Si no encontramos el número de contrapesos que nos balancee exactamente el peso de las columnas de agua, se escogerá el inmediato mayor y se encontrará la diferencia que llamaremos "peso excedente".

Peso excedente = $\text{Peso que pueden balancear los contrapesos del exéntrico} - \text{Peso de la columna de agua que se va a balancear}$

Checar en la Tabla VI-a si de acuerdo con el número de contrapesos no se ha excedido el número de GPM máximo permitido, Si se excedió, se volverá a efectuar el cálculo, pero con el modelo inmediato mayor.

TABLA VI-a

Número máximo de golpes por minuto permitido a diferentes números de contrapesos.

Diferentes números de contrapesos del exéntrico.	M O D E L O S				
	B-64	B-101	B-151	B-201	B-251
E.....	36	34	30	28	26
E + 2 P.....	35	33	30	27	27
E + 2 P + 2 R.....	34	32	29	25	26
E + 2 P + 4 R.....	33	31	26	28	25
E + 2 P + 6 R.....	32	30	27	24	27

2.- Balanceo del peso de la varilla de columna.

Peso total de la varilla. Longitud de la varilla. X " Kv "

TABLA VII CONSTANTE " Kv "

Diam. de la varilla en mm.	Constante " Kv "
13	1.0072
16	1.582
19	2.2935

Peso a balancear Peso total de la varilla Peso excedente Peso desbalanceado

TABLA VIII
Peso desbalanceado del Gulmbalote.

Módulo	Peso desbalanceado
B-64	0
B-101	6
B-151	10
B-201	40
B-251	50

El peso a balancear se compara con los pesos que pueden balancear los contrapesos cilíndricos del balancín que encontramos en la tabla IX. Si no se encuentra uno igual, se escoge el inmediato mayor al peso a balancear y se recorta la distancia máxima de colocación de los contrapesos cilíndricos que se mide de la mitad de la longitud de los contrapesos al apoyo del balancín.

La distancia máxima que se especifica en la Tabla IX es a la distancia en que los contrapesos cilíndricos balancearán el peso especificado.

Distancia disminuida $\frac{\text{Peso que necesitamos balancear}}{\text{Peso máximo especificado en la Tabla IX}} \times \text{Distancia máxima}$

TABLA IX
Para el balanceo de la varilla en
el balancín.

Número de Contrapeso del balancín	Peso Máx. que puede aportar a una distancia Kg.	Distancia Max. de la long. de los contrapesos al apoyo del balancín. Cm.	Dist. Máxima a que se puede disminuir la distancia máx. Cm.	
B-64	1.....	21.9	80.5	61.5
	2.....	42.3	28	64
	3.....	62	75.7	66
	4.....	80	23.3	69
	5.....	96	71	71
B-101	1.....	37.65	107	79
	2.....	73.3	104	81
	3.....	107	101	84
	4.....	138.6	98	87
	5.....	168	95	90
B-151	1.....	56	140.3	76.5
	2.....	100	137.6	73.9
	3.....	161.5	135	71.3
	4.....	211	132.2	68.5
	5.....	258	129.5	65.8
	6.....	303.5	126.8	63.1
	7.....	346	124	60.44
B-201	1.....	125	205	122
	2.....	215	200.8	127
	3.....	359	195	131
	4.....	467	198	136
	5.....	570	187	141
	6.....	667	182.4	146
B-251	1.....	194	205.5	122.7
	2.....	378	200.3	127.9
	3.....	552	195.1	133
	4.....	717	190	138.2
	5.....	872	184.8	143.8
	6.....	1017	179.6	148.6
	7.....	1152	174.4	153.7

B O M B A S D I N A M I C A S

En esta clasificación se incluyen las Bombas tan comúnmente utilizadas como son las Centrífugas, sustituyendo además en su aplicación por la Bomba de Desplazamiento Positivo en actividades en que eran irremplazables.

B O M B A S C E N T R I F U G A SINTRODUCCION:

Las bombas centrífugas comprenden una clase de maquinaria -- de bombeo, en la cual el bombeo de líquidos ó generación de carga se -- efectúa por movimiento rotatorio de uno ó más impulsores. La gran va- -- riedad de bombas centrífugas puede reducirse a unos pocos tipos funda- -- mentales. Cada bomba consta de tres partes principales: Un impulsor el -- cual fuerza el líquido a un movimiento rotatorio; la cubierta de la -- bomba la cual dirige el, líquido al impulsor y la eleva a alta pre- -- sión; y una gula para poner al impulsor en movimiento rotatorio. La -- última incluye la de la bomba, soportada por baleros y dirigida a -- través de un acoplamiento rígido ó flexible con la gula.

La cajas rellenadoras se colocan en lugares donde la flecha se extiende fuera de la cubierta de la bomba.

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA

El volumen del líquido bombeado por unidad de tiempo se refiere a su capacidad, generalmente medida en galones por minuto - (G. P. M.). Para capacidades grandes frecuentemente se establece en pies cúbicos por segundo ó millares de galones por día. Los productos del petróleo son medidas en barriles (42 Gal.) por día. -- Los siguientes son factores de conversión.

1 pie cúbico por segundo: 448.8 g.p.m.

1'000,000 galones por día: 694.4 g.p.m.

1000 barriles por día = 29.2 g.p.m.

1 litro por segundo = 15.85 g.p.m.

La altura a la cual el líquido puede ser elevado por una bomba centrífuga se llama CARGA medida en pies. Esta no depende de la gravedad específica del líquido. La carga se puede expresar en libras por pulgadas cuadradas. Para una bomba horizontal la carga dinámica total es:

$$H = H_d - H_s + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}$$

Donde H_d es la carga en la descarga en pies y H_s es la carga de succión en pies ambas referidas a la línea central de la flecha de la bomba Las velocidades de descarga y succión V_d y V_s , respectivamente. Si la carga de succión es negativa (elevada). H_s es aditiva en la ecuación 1. Los dos últimos términos representan la dife--

rencia de energía cinética ó velocidad de carga entre los orificios de carga y descarga. Para una bomba vertical con el elemento de bombeo sumergible la carga dinámica total es $H = H_d + H_b + (V_d^2/2g)$. En este caso las pérdidas en la campana de succión y columna de descarga, arriba del punto donde la carga de descarga se mide y se anexa de nuevo a la bomba. El código del Instituto de pruebas Hidráulicas da un procedimiento detallado de la carga y medidas de capacidad para todos los casos prácticos.

EFICIENCIA:

El funcionamiento hidráulico y mecánico de una bomba se juzga por su eficiencia, definida como:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida de la bomba}}{\text{bhp.}} = \frac{Q \cdot H}{550 \times \text{bhp.}}$$

Donde Q = es la capacidad de pies cúbicos por segundo -- es el peso específico del líquido (para agua fría es igual a 62.4 libras, por pie cúbico); bhp es la potencia al freno de la máquina impulsora ó la potencia de entrada de la bomba. La potencia de salida de la bomba de agua, expresada en caballos potencia, es referida como caballos potencia agua (WHP). Si un líquido diferente del agua fría se usa, los whp se multiplicaron por la gravedad específica del líquido para obtener la potencia de salida de la bomba.

Funcionamiento de las curvas y leyes de afinidad. La variación de la carga con la capacidad a una velocidad constante es una característica de la bomba (fig.2). Un conjunto completo de --

características de la bomba incluye eficiencia y curvas bhp.

Carga, capacidad, y bhp de una bomba varían con la velocidad, en tal caso el comportamiento de las curvas retienen sus características de operación. Esta variación sigue leyes conocidas como leyes de afinidad. Aplicables a cualquier punto de la curva capacidad-carga estas leyes establecen que (1) cuando la velocidad cambia la capacidad varía directamente con la velocidad; (2) la carga varía directamente al cuadrado de la velocidad, (3) los bhp varían directamente al cubo de la velocidad.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} ; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} ; \quad \frac{(bhp)_1}{(bhp)_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$$

Para cambios usuales en velocidad. La eficiencia permanece constante para cada punto.

Clasificación de las bombas por el tipo de succión. Las bombas, de acuerdo con su tipo de succión, pueden ser catalogadas en:

- 1) Simple succión.
- 2) Doble succión (ambos lados del impulsor)
- 3) Succión negativa (nivel del líquido inferior al de la bomba)
- 4) Succión positiva (nivel del líquido superior al de la bomba)
- 5) Succión de presión (la bomba succiona el líquido de una cámara herméticamente donde se encuentra ahogada y a donde llega el líquido a presión)

Clasificación de las bombas por su dirección de flujo - -

Las bombas se dividen en:

- 1.- Bombas de flujo radial
- 2.- Bombas de flujo mixto
- 3.- Bombas de flujo axial

Las bombas de flujo radial tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica, que desarrollan cargas altas. El flujo es casi totalmente radial y la presión desarrollada es debida principalmente a la fuerza centrífuga.

En las bombas de flujo mixto el flujo cambia de axial a radial. - Son bombas para gastos y cargas intermedias y la velocidad específica de los impulsores es mayor que las de flujo radial.

En las bombas de flujo axial llamadas de hélice el flujo es completamente axial y sus impulsores son de alta velocidad específica.

C A R C A S A

Función. La función de la carcasa en una bomba centrífuga es convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

La carcasa tipo voluta. Es llamada así por su forma de espiral. - Su área es incrementada a lo largo de los 360° que rodean al impulsor - hasta llegar a la garganta de la carcasa donde conecta con la descarga.

Debido a que la voluta no es simétrica, existe un desbalanceo de presiones, lo cual origina una fuerza radial muy apreciable sobre todo si la bomba se trabaja con gastos alejados y menores del gasto del punto de máxima eficiencia.

La magnitud de este empuje radial es una función de la carga, diámetro del impulsor, ancho del mismo diseño de la misma carcasa. Cuando se quiere eliminar el problema del empuje radial que se produce en una bomba de simple voluta, se usa una bomba de doble voluta en la cual cada voluta toma la mitad del gasto y cada una de ellas tiene su garganta colocada 180° distante.

Esta variante se usa solamente en bombas grandes.

La carcasa tipo difusor. Consiste en una serie de aspas fijas que además de hacer el cambio de energía de velocidad a presión, guían el líquido de un impulsor a otro.

Su aplicación más importante es en las bombas de pozo profundo -- que son bombas de varios pasos con impulsores en serie.

Según su construcción las carcasas pueden ser de una sola pieza o partidas.

Las carcasas de una sola pieza, por supuesto, deben tener una parte abierta por donde entra el líquido.

Sin embargo, para poder introducir el impulsor, es necesario que la carcasa esté partida y ello puede ser a través de un plano vertical, horizontal o inclinado.

Las carcasas que están partidas por un plano horizontal tienen la gran ventaja que pueden ser inspeccionadas las partes internas sin tener que quitar las tuberías, y son designadas como bombas de caja partida. Son usadas para abastecimiento de agua en grandes cantidades.

Las bombas con carcasa inclinada se usan mucho en aquellos casos en que se manejan pulpas o pastas que continuamente están obstruyendo el impulsor y cuya revisión es continua, pero su uso es para fábricas de papel o ingenios y sale del objeto de este estudio.

Según sus características de succión las carcasas pueden ser de simple o doble succión, correspondiendo a las características del impulsor que succionará el agua por uno o ambos extremos.

Pero por lo que se refiere propiamente a la carcasa, se puede tener succión lateral superior e inferior.

Las ventajas de las distintas disposiciones dependen del uso específico a que se vaya a destinar la bomba centrífuga y dependen, principalmente, de las necesidades y colocación de las tuberías de succión y descarga.

Por último, la carcasa puede ser de uno o varios pasos según contenga uno o más impulsores.

Un caso ya citado fue el de la bomba de pozo profundo, pero en ella cada tazón lleva su propio impulsor, por lo cual, aun cuando la bomba es de varios pasos, el tazón sólo está construido para alojar un solo impulsor.

Existen carcasas de bombas centrífugas mucho más complicadas las cuales deben alojar varios impulsores. Estas bombas se usan para altas presiones y las carcasas deben tener los conductos que comuniquen de uno a otro paso.

IMPULSORES:

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

Los impulsores se clasifican según:

Tipo de succión	Simple succión Doble succión
Forma de las aspas	Aspas curvas radiales Aspas tipo Francis Aspas para flujo mixto Aspas tipo propela
Dirección del flujo	Radial Mixto Axial
Construcción mecánica	Abierto Semi-abierto Cerrado
Velocidad es- pecífica	Baja Media Alta

En un impulsor de simple succión el líquido entra por un solo extremo, en tanto que el de doble succión podría considerarse como uno -- formado por dos de simple succión colocados espalda con espalda.

El de doble succión tiene entrada por ambos extremos y una salida común.

El impulsor de simple succión es más práctico y usado, debido a razones de manufactura y a que simplifica considerablemente la forma de la carcasa. Sin embargo, para grandes gastos, es preferible usar un im-

impulsor de doble succión, ya que para la misma carga maneja el doble de gasto.

Tiene además la ventaja de que debido a la succión por lados opuestos no se produce empuje axial; sin embargo, complica bastante la forma de la carcasa.

En cuanto a la forma de las aspas hemos visto cuatro grupos, explicándose al mismo tiempo su tipo de flujo y velocidad específicos.

Los impulsores de aspas de simple curvatura son de flujo radial y están sobre un plano perpendicular. Generalmente son impulsores para gastos pequeños y cargas altas, por lo cual son impulsores de baja velocidad específica.

Manejan líquidos limpios sin sólidos en suspensión.

En un impulsor tipo Francis, las aspas tienen doble curvatura. Son más anchas y el flujo tiende a ser ya radial, ya axial. La velocidad específica va aumentando y la curva de variación del gasto con la carga se hace más plana.

Una degeneración de este tipo lo constituye el clásico impulsor de flujo mixto, es decir, radial-axial, en el cual empieza ya a predominar el flujo mixto. Se pueden manejar líquidos con sólidos en suspensión.

Por último, tenemos los impulsores tipo propela, de flujo completamente axial para gastos altísimos y cargas reducidas, que vienen a ser los de máxima velocidad específica. Tienen pocas aspas y pueden manejar líquidos con sólidos en suspensión de tamaño relativamente grande.

La clasificación anterior, nos permite apreciar la gran diversidad de tipos que existen y si a ello agregamos materiales de construcción tamaños diferentes para manejo de gastos y presiones sumamente variables, y los diferentes líquidos de manejar, etc., entenderemos la importancia de este tipo de maquinaria.

BOMBAS TURBINA VERTICAL

No hay ninguna especificación concreta sobre la profundidad a que debe encontrarse el espejo del agua de un pozo para considerarlo como profundo. Más bien lo que se quiere significar con esta denominación es que se trata de grandes cargas con relación al caudal manejado. En consecuencia se advierten adecuados impulsores del tipo centrífugo, que son los que procuran mayor ganancia en carga. De todas maneras siempre será necesario disponer varios impulsores en serie para vencer toda la carga. La forma de la carcasa que aloja a cada impulsor se parece a la de un tazón invertido, de donde han tomado el nombre estas bombas. Otros las denominan impropriadamente bombas-turbina.

Los impulsores son generalmente del tipo abierto o semiabierto, para evitar en lo posible la obstrucción de la bomba, ya que se presentan muchas dificultades para una reparación. Pero también se emplean impulsores de tipo cerrado cuando se trata de mover aguas libres de cuerpos sólidos que pudieran producir obstrucción.

En cualquier caso, los impulsores no podrán ser de gran diámetro, pues ello obligaría a diámetros grandes de tazón y por tanto del pozo, lo que resultaría muy costoso. Como por otra parte todo el caudal debe pasar por cada impulsor, la relación del gasto a la carga suele ser mayor que en bombas centrífugas convencionales, esto es, la velocidad específica aumenta para la misma velocidad de giro. Por todo esto, los impulsores son tridireccionales en la mayor parte de los casos y con una cierta acción axial, o sea son mixtos, bien sean abiertos o cerrados.

El agua a la salida del impulsor es recibida por un sistema de álabes fijos engastados en la parte interior de la carcasa o tazón, son los que hacen el oficio de difusor y al mismo tiempo son directores del flujo a la parte central del impulsor siguiente.

Todos los impulsores están montados en serie en una flecha o árbol vertical, centrada dentro del tubo que forma la columna de descarga del zoca, por medio de cojinetes (manguitos o arañes). En la parte inferior de succión hay un colador (pichancha) y una válvula de retención (de pie o chek) que impide la descarga de la bomba cuando se para el motor, con lo cual se tienen cebados los impulsores para el arranque siguiente. Esta válvula es particularmente útil cuando se hace difícil sumergir en el agua a todos los impulsores. De todos modos es muy conveniente mantener la columna llena de agua para evitar se resequen los cojines o manguitos en aquellas bombas lubricadas por agua. En las bombas lubricadas en aceite no se presenta esta circunstancia por hallarse independizada la flecha del agua por una tubería de protección, pero sí debe estar el nivel del agua por encima de todos o de alguno de los impulsores.

Toda la columna viene colgada de una chumacera de carga acoplada en el cabezal situado en la parte superior a nivel del terreno, donde también está el motor que acciona la flecha. A veces el motor ataca directamente a la flecha formando parte del cabezal; otras veces la transmisión se hace por medio de un juego de engranes.

El nivel de bombeo es muy variable, desde menos de una decena a varias centenas de metros. En todos los pozos y particularmente en los más profundos, se hace necesario una perforación perfectamente vertical a fin de evitar vibraciones y lograr un buen funcionamiento de la bomba.

BOMBAS TURBINA VERTICAL.

Abarca un rango de velocidades específicas de 1000 a 1,500 R.P.M. En tamaños pequeños y velocidades específicas medias y bajas (1500 a 4500) se han desarrollado para proyectos de --- irrigación; se conocen como bombas para "pozo profundo" este tipo representa la clase más eficiente de bombas multipaso. Se registran eficiencias de laboratorio arriba del 90% para 1200 gpm a 1760 r.p.m. Algunos factores son los responsables para éste progreso; (1) la selección de velocidades específicas favorables; (2) el uso de impulsores abiertos; (3) el espacio libre de paso; y (4) la ausencia de fuga entre pasos y la fuga a través de los dispositivos de balance y las cajas -- rellenas de alta presión.

Debido al arreglo vertical y la limitación del diámetro -- exterior, tanto la cubierta de difusión y el corte del impulsor se extienden en dirección axial. Las aspas de difusión se fabrican en una sola pieza sin vueltas planas. Con el aumento de velocidad específica el corte del impulsor gradualmente -- cambia de un flujo radial recto a un cónico mixto y finalmente a un flujo axial recto. El ángulo del aspa de difusión y velocidades se seleccionan de acuerdo a las mismas consideraciones. -- guías velocidades mucho más altas a través del difusor son posibles con las bombas turbina vertical que con las bombas de voluta a la misma velocidad específica, requiriendo un alto -- ángulo en el aspa de difusión α_v .

44

BOMBA TURBINA VERTICAL (LUBRICADA POR ACEITE)

GENERALIDADES:

La bomba de turbina vertical consiste básicamente de tres sub-conjuntos mayores: el juego de tazones, el conjunto de columna y el conjunto del cabezal de descarga. En las bombas de diseño de "lubricación por aceite", todos los cojinetes del cabezal de descarga -- y del conjunto de la columna se lubrican con el aceite que proviene de un depósito montado sobre el cabezal de descarga.

Este depósito lubricador se puede suministrar con una válvula de solenoide de funcionamiento automático, que deja escurrir el aceite desde el depósito, cuando pasa la corriente eléctrica por la bobina del solenoide, o bien, mediante un regulador de gotas manual del tipo visible.

CONJUNTO O JUEGO DE TAZONES:

El conjunto de tazones se compone de la caja de succión, caja de descarga, tazones intermedios, impulsores, candados cónicos de los impulsores, cojinetes y eje con cople, para su conexión -- con el árbol de transmisión. Se provee un tubo adaptador con un cojinete roscado, para conectar la caja de descarga con el tubo cubier del eje.

La caja de descarga, la caja de succión y los tazones intermedios son de hierro vaciado, de grano cerrado, con los pasajes para el agua con forro de esmalte Vitriform o sin él. Los cojinetes de los tazones son del tipo de combinación de cojinetes de tipo de casquillo de bronce de alto contenido de plomo, con cojinetes de caucho, -- colocados éstos últimos precisamente debajo del cojinete de bronce de cada tazón intermedio. Los cojinetes de las cajas de succión y de descarga son de bronce de alto contenido de plomo y del tipo de casquillo. El cojinete de la caja de descarga es extralargo, proyectándose desde abajo de la caja de descarga hasta el tazón intermedio superior. El cojinete de la caja de succión también es extralargo, del tipo de casquillo, el bronce de alto contenido de plomo, con un empaque de fábrica -- de grasa repelente al agua, para asegurar una larga duración.

Los impulsores se pueden surtir del tipo cerrado o del tipo semiabierto. Los impulsores también pueden ser de bronce o de -- hierro vaciado. Los impulsores de hierro vaciado, de tipo cerrado, se suministran con forro de esmalte Vitriform o sin él. Cada impulsor del tipo cerrado se provee con un anillo de cierre, renovable, de bronce-aluminio colocado a presión sobre el faldón del impulsor. Los impu

sores se fijan firmemente al eje de la bomba mediante los candados cónicos de acero.

La caja de succión normalmente se rosca para la cuerda cónica, especificación NPT (National Pipe Thread), del tubo de succión. La caja de descarga se rosca para la cuerda recta -- standard del tubo de columna. El tubo adaptador es de hierro vaciado de alta resistencia y el cojinete del tubo adaptador es de bronce maquinado a presión y roscado para poder conectar al tubo de cubierta de la columna. Se pueden surtir las cajas de descarga y de succión para conexiones bridadas sobre pedido especial.

CONJUNTO DE LA COLUMNA:

El conjunto de la columna se compone del tubo de columna con su cople, el tubo cubierta del eje que a veces también se denomina tubería de aceite, o columna interior y el eje o árbol de transmisión con su cople. Los cojinetes de bronce con rosca exterior actúan como cojinetes lubricados por aceite y también como coples de la tubería de aceite que se suministra en tramos de 1.52 m. (5 -- pies) de largo.

Los estabilizadores del tubo de cubierta, de caucho reforzado con alea de acero se surten en cantidad suficiente para asegurar una estabilidad completa, así como el alineamiento perfecto del conjunto de tubo de cubierta, dentro de la tubería de columna.

El tubo de columna es de acero de alta calidad, maquinado para juntas a tope, con cuerda recta.

En diámetros menores y hasta 42.8 milímetros. (1-11/16") el árbol de transmisión es de acero acabado en frío, especificación C-1018. Para tamaños de 42.8 mm. (1-11/16"), inclusive, en adelante, el material standard es de acero C-1045. Todos los ejes son de acero acabado en forma especial, para su aplicación a bombas de pozo profundo.

El tubo de cubierta es de acero extra-reforzado, maquinado cuidadosamente para obtener un alineamiento perfecto de los cojinetes. Todos los cojinetes del árbol de transmisión se maquinan de un bronce especial de muy alta calidad.

CONJUNTO DE CABEZAL DE DESCARGA:

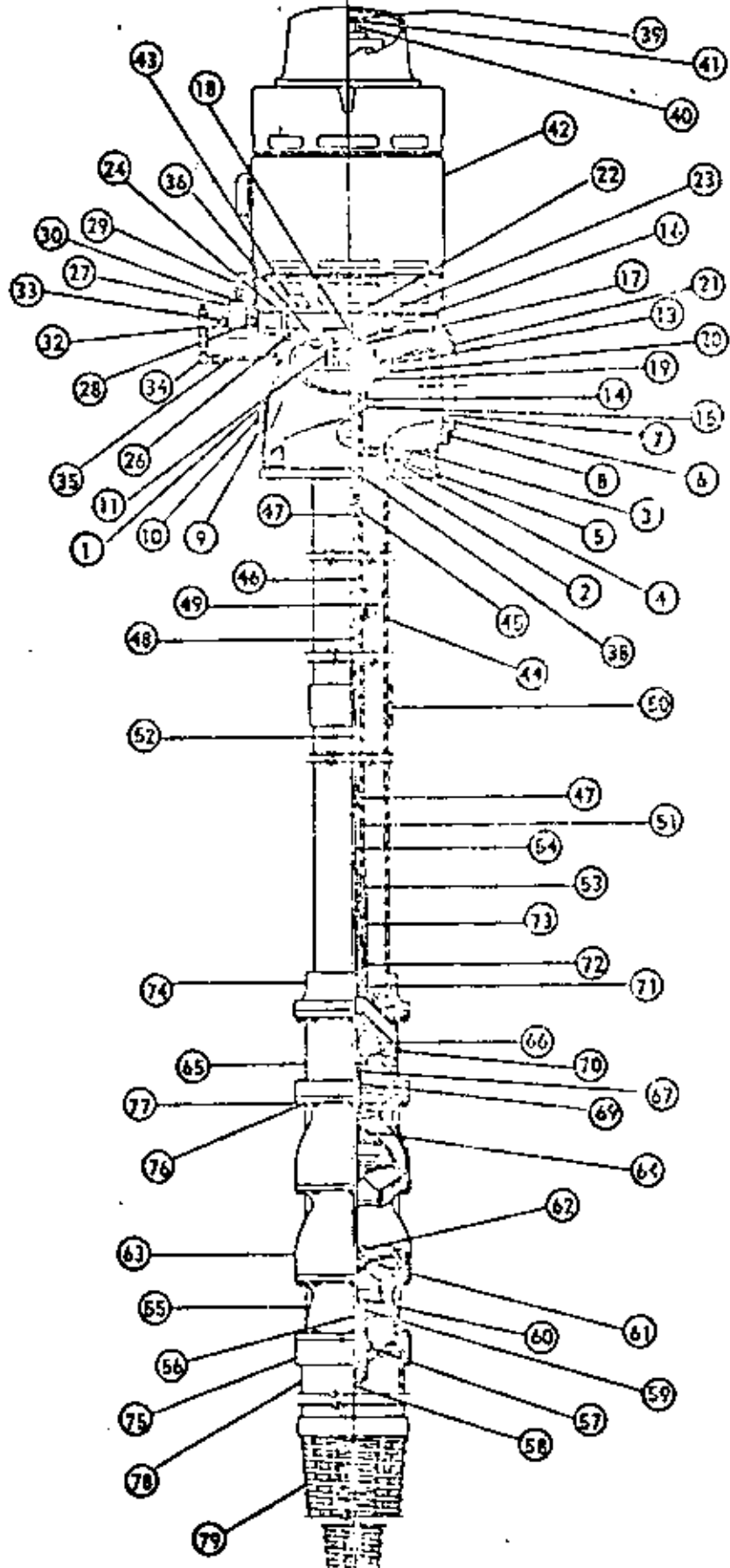
El conjunto de cabezal de descarga incluye la pieza de hierro vaciado que forma el bulbo-codo o cámara de descarga, el pedestal para el motor y el anillo base. El cabezal de descarga es de hierro vaciado, gris, de grano cerrado, con pasajes para el agua de superficies terças. Los sub-ensambles del conjunto del cabezal de descarga para bomba lubricada por aceite son el conjunto tensor de la --

tubería de cubierta, el conjunto de la brida de la columna y el conjunto del lubricador, que normalmente es del tipo automático, con válvula de solenoide, cuando la bomba se opera con motor eléctrico. También se incluye una brida de descarga con su junta, para las instalaciones standard. Se incluye, asimismo, toda la tornillería necesaria para el ensamblaje del cabezal con la unidad de bombeo.

El conjunto tensor de la tubería de cubierta se compone de un tubo de tensión hecho del mismo material que la tubería de aceite, un plato de tensión de hierro vaciado y una tuerca de tensión hecha del mismo material. La tuerca de tensión tiene en su parte interior un cojinete de bronce con alto contenido de plomo, de tipo casquillo. Se incluye todo el empaque necesario para el conjunto tensor de la tubería de cubierta.

El conjunto de sistema lubricador incluye un depósito para el aceite lubricante, de construcción robusta, de aluminio vaciado, completo, con su tapadera con bisagras y con capacidad para 3.78 litros (1 galón), un sub-ensamble consistente de la válvula de solenoide.

DIAGRAMA DE PARTES
BOMBAS TURBINAS LUBRICADAS POR ACEITE



BOMBAS TURBINAS LUBRICADAS POR ACEITE
ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION ESTANDAR

No.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL	ESPECIFICACION
1	Cabezal de descarga	Fe. vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
2	Brida de la columna	Fe. vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
3	Empaque de la brida de la columna	Asbesto	Johns Mansville No. 60
4	Birlos de la brida de la columna	Acero	AISI C-1137
5	Tuercas de la brida de la columna	Acero	ASTM A-307
6	Brida de descarga del cabezal	Fe. vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
7	Empaque de la brida de descarga del cabezal	Asbesto	Johns Mansville No. 60
8	Pernos de la brida de descarga del cabezal	Acero	ASTM A-307
9	Reducción-buje de la descarga auxiliar		
10	Tapón de la reducción-buje de la descarga auxiliar	Fe. vaciado	
11	Tuerca de tensión de la cubierta interior	Bronce	SAEMO
12	Tornillo para fijar la tuerca de tensión	Acero	ASTM A-307
13	Empaque (anillo "D") de la tuerca de tensión	Neopreno	
14	Empaque de la cubierta	Neopreno	
15	Contratuercas del empaque de la cubierta interior	Bronce	SAE40
16	Chumacera del cabezal	Bronce	SAE660
17	Tornillo de la chumacera del cabezal	Acero	ASTM A-307
18	Sello de la chumacera del cabezal	Neopreno	Johns Mansville Tipo 120
19	Brida adaptadora de la tuerca de tensión	Fe. vaciado	ASTM-A48-56 Clase 30
20	Empaque (anillo "D") de la brida adaptadora	Neopreno	
21	Tornillo de la brida adaptadora	Acero	ASTM A-307
22	Tapa de la cámara de aceite	Aluminio	SAE 356
23	Tornillos de ensamble de la tapa de la cámara de aceite	Acero	ASTM A-307
24	Visor de nivel de aceite		Kingston Mod. 160 ó el equivalente
25	Niple del visor de nivel de aceite		
26	Cople del visor de nivel de aceite		
27	Válvula de solenoide		Skinner No. VSM6260C
28	Niple de la válvula de solenoide		
29	Tubo conduit de la válvula de solenoide		
30	Acoplador del conduit del solenoide		Thomas-Betts No. 5231
31	Acoplador del motor y el conduit del solenoide		Thomas-Betts No. 5231
32	Gotero		Kingston No. 454
33	Reducción-buje del gotero		
34	Conexión del tubo de aceite del gotero	Bronce	
35	Tubo de aceite	Cobre	
36	Conexión del tubo de aceite con la chumacera del cabezal	Bronce	
37	Aceitera	Acero	
38	Flecha del motor	Acero	AISI C-1045
39	Cuña de la flecha del motor	Acero	AISI C-1020
40	Tuerca de ajuste de la flecha del motor	Acero	AISI C-1213

BOMBAS TURBINAS LUBRICADAS POR ACEITE
ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION ESTANDAR

No.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL	ESPECIFICACION
41	Perno de la tuerca de ajuste	Acero	ASTM A-307
42	Motor		
43	Tornillos para fijar el motor	Acero	ASTM A-307
44	Tramo de columna exterior	Acero	ASTM A120-57T
45	Adaptador de la cubierta interior	Acero	ASTM A120-57T
46	Extensión de la cubierta interior	Acero	ASTM A120-57T
47	Cople de la flecha	Acero	AISI C-1137
48	Extensión de la flecha	Acero	AISI C-1045
49	Araña estabilizadora de la cubierta interior	Hule	
50	Cople de la columna exterior	Acero	ASTM A120-57T
51	Tramo de cubierta interior	Acero	ASTM A120-57T
52	Tramo de flecha	Acero	AISI C-1045
53	Chumacera de la flecha	Bronce	SAE 660
54	Flecha del cuerpo de tazones		AISI #16 H. T.
55	Tazón de succión	Fe. Vaciado	ASTM A 48-56 Clase 30
56	Chumacera del tazón de succión	Bronce	SAE 660
57	Tapón para grasa del tazón de succión	Fe. Vaciado	
58	Tapón final del tazón de succión	Fe. Vaciado	
59	Protector de arena del tazón de succión	Bronce	SAE 660
60	Opresor del protector de arena	Acero	ASTM A-307
61	Impulsor	Bronce	SAE 660
62	Manquillo del impulsor	Acero	AISI C-1045
63	Tazón	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
64	Chumacera del tazón intermedio	Bronce	SAE 4840R
65	Tazón de descarga	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
66	Chumacera del tazón de descarga	Bronce	SAE 660
67	Empaque (Anillo "O") de la camisa de sello	Neopreno	Tipo Parker
68	Camisa de sello	Bronce	SAE 660
69	Tapón para grasa del tazón de descarga	Fe. Vaciado	
70	Sellos de aceite del tazón de descarga	Neopreno	Johns Mansville Tipo LPD
71	Chumacera superior de la bomba (Estilo "a")	Bronce	SAE 660
72	Cople adaptador de la cubierta interior	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
73	Brida de descarga del cuerpo de tazones	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
74	Brida de succión del cuerpo de tazones	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
75	Birlos de ensamble de los tazones	Acero	AISI C-1137
76	Tuercas de ensamble de los tazones	Acero	ASTM A-307
77	Brida de succión	Acero	ASTM A120-57T
78	Colador cónico	Acero	
79	Campana de succión (opcional en lugar de la brida de succión no. 75)	Hierro Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30

DEFINICIONES DE BOMBEO

- A. NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA: La distancia vertical de la bomba al nivel del agua cuando no se bombea.
- B. ABATIMIENTO: La distancia vertical de el descenso del nivel del agua cuando se bombea. El abatimiento varia con la capacidad del pozo y de la bomba.
- C. NIVEL DE BOMBEO: La distancia vertical de la bomba al nivel del agua cuando está bombeando (A más B).
- D. PERDIDA POR FRICCIÓN EN LA SUCCIÓN: Es la carga producida por la fricción del agua en la tubería de succión y válvula de pie o coladera.
- E. CARGA TOTAL DE SUCCIÓN: Distancia vertical del nivel de bombeo a la bomba sumada las pérdidas por fricción (A más B más D).
- F. CARGA MANOMÉTRICA EN LA DESCARGA: Elevación y/o presión proporcionada en la descarga de la bomba (no -- incluye pérdidas por fricción).
- G. PERDIDA POR FRICCIÓN EN LA DESCARGA: Es la carga producida por el flujo del agua (fricción) en la tubería de descarga, herrajes, válvulas, etc.
- H. CARGA DINÁMICA TOTAL EN LA DESCARGA: La elevación y/o la presión de la bomba a la descarga incluyendo pérdidas por fricción (F. más G).
- I. AGUA A AGUA: Distancia vertical del nivel de bombeo a la altura máxima de descarga. No incluye pérdidas por fricción (F más G).
- J. CARGA DINÁMICA TOTAL: La distancia total del nivel de bombeo a la altura máxima de descarga incluyendo todas las pérdidas hidráulicas y por fricción (E más H).
- K. COLOCACIÓN: Distancia desde la base de la bomba al -- inyector, válvula pie o tazonas en la turbina.
- L. LONGITUD TOTAL: Distancia total de la base de la bomba al fondo de la válvula de pie o coladera.
- M. SUMERCIÓN: La distancia vertical desde el nivel de bombeo a la parte superior de los tazonas, inyector o -- válvula inferior, (K menos C)
- Q. CAPACIDAD: Cantidad bombeando en galones por minuto o litros por segundo, etc.

DEFINICIONES DE DORMIDO

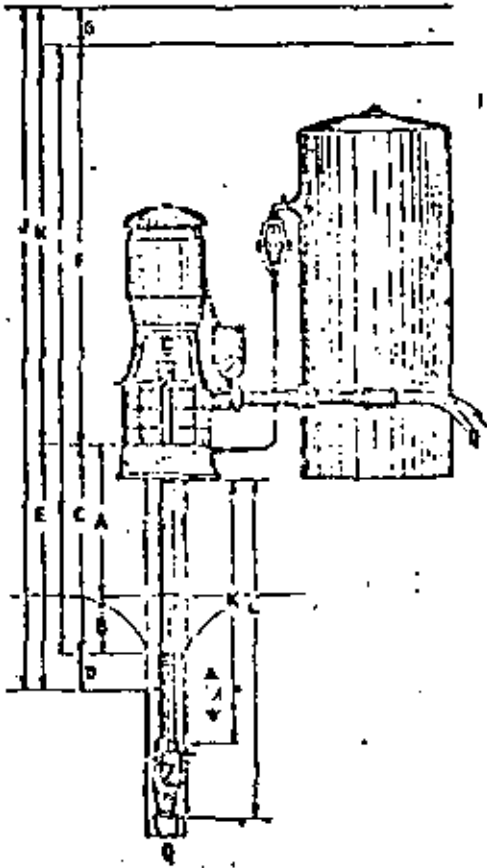


Fig. 1

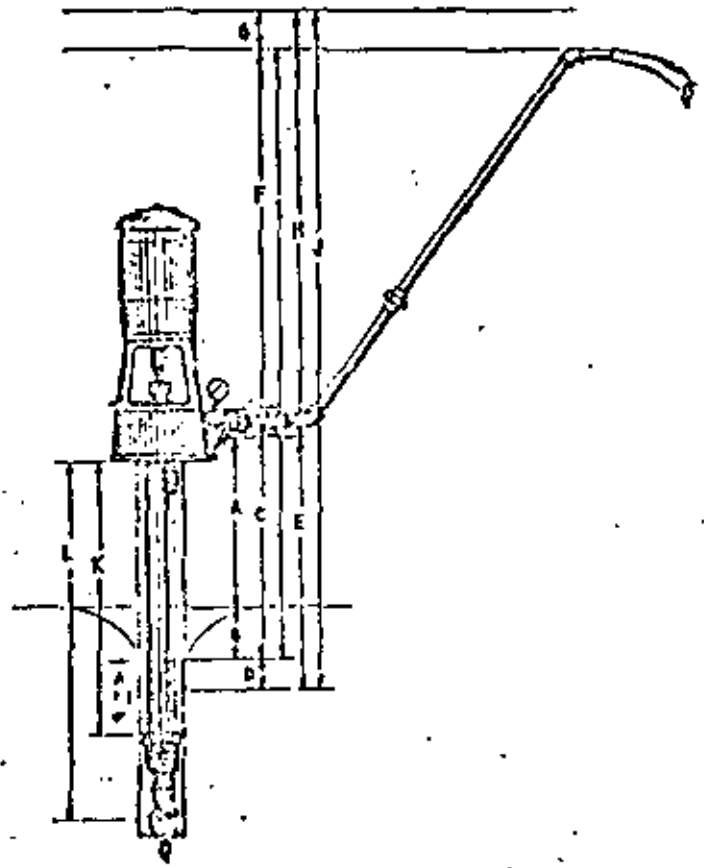


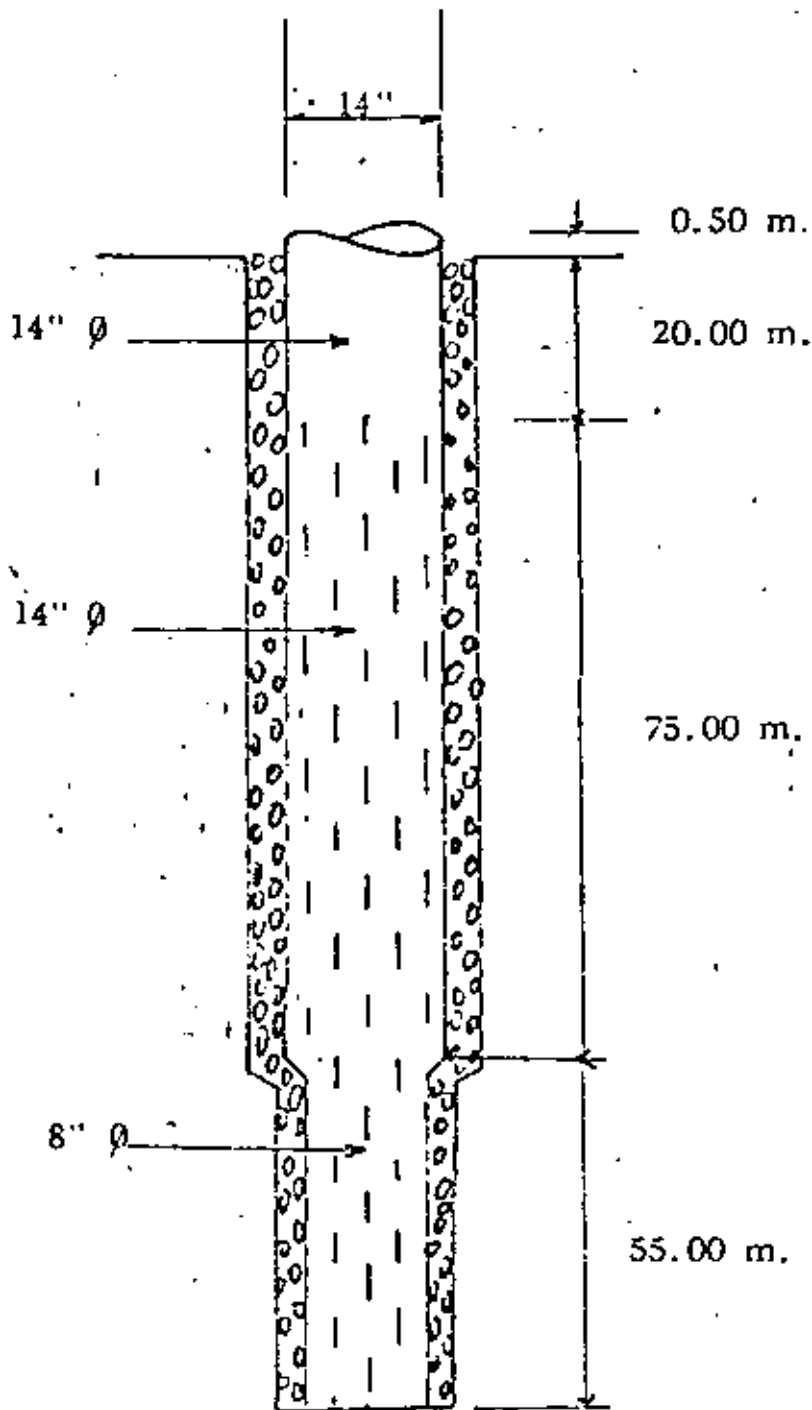
Fig. 2

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

NOMBRE DEL POZO: HUANTO
ESTADO: HIDALGO

MUNICIPIO: ACTOPAN

CORTE DE TERMINACION



A CONTINUACION SE MENCIONA EL CALCULO DE UN EQUIPO DE BOMBEO Y EL COSTO DE OPERACION DEL MISMO

NOMBRE DEL POZO: HUAXTO
 MUNICIPIO: ACTOPAN ESTADO: HIDALGO

DATOS HIDRAULICOS DEL POZO

PROFUNDIDAD DEL POZO	150.00 m.	
PROFUNDIDAD DE LA CAMARA DE BOMBEO	95.00 m.	14" ϕ
NIVEL ESTATICO	11.05 m.	
NIVEL DINAMICO DE DISEÑO	67.00 m	
GASTO DE DISEÑO	90.00 L.P.S.	= 1,426.50 G.P.
ELEVACION O CARGA HIDR. ADIC.	2.00 m.	
ALTURA MANOMETRICA	69.00 m.	= 226.32 F.T.

SOLUCION:

El número de pasos, tazonas e impulsores viene definido por la relación:

$$n = \frac{H_{(total)}}{H_{(por\ paso)}}$$

La carga manométrica es 226.32 pies

La carga dinámica $\frac{v^2}{2g}$ se estima sobre la base de una velocidad en tubería a 8 pies por segundo.

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{8^2}{2 \times 32.2} = 1 \text{ pie}$$

Las pérdidas de estas bombas, se evalúan en porcentaje de la carga manométrica siendo del orden de un 4% de dicho valor ó sea:

$$\frac{4}{100} \times 226.32 = 9.05 \text{ pies}$$

La carga dinámica total será la suma de todas ellas.

$$C.D.T. = H_t = 226.32 + 1 + 9.05 = 236.37 \text{ pies}$$

Teniendo como datos la C.D.T. y el gasto, se puede definir el número total de pasos que se requieren para esta bomba. Tomando la curva 12HS-A de la marca Jacuzzi a 1760 R.P.M., tazones semibiertos, la cual tiene una eficiencia de 85% y 60 pies por paso.

$$\text{Por lo tanto } n = \frac{236.37}{60} = 3.93 = 4 \text{ pasos}$$

La potencia del motor será:

$$P_m = \frac{\gamma Q H}{550 \eta_m}$$

$$m = 0.85 = \frac{62.4 \times 3.1784 \times 236.37}{550 \times 0.85}$$

$$= 100.27 \text{ H.P.}$$

$$\gamma = 62.4 \text{ Lb/pie}^3$$

$$Q = 3.17 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

$$H = 236.37 \text{ pies}$$

$$1 \text{ HP} = 550 \frac{\text{Lb} \cdot \text{ft}}{\text{seg}}$$

$$1 \text{ pie}^3 = 7.48 \text{ gal}$$

$$1426.50 \text{ G.P.M.} = 3.1784 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

La flecha seleccionada es de 1 $\frac{7}{16}$ de diámetro y consume una potencia de 2.5 H.P.

$$P_m = 102.77$$

Y la potencia total considerando un 15% como factor de seguridad es:

$$P_t = 118 \text{ H.P.}$$

El motor que se suministrará será de inducción tipo jaula de ardilla de 125 H.P., 60 C.P.S. 440 Volts.

El empuje axial a nivel del cabezal de descarga de una bomba turbina es la suma del empuje hidráulico y el empuje estático (carga muerta) de la flecha e impulsores y la flecha de los tazones es esencialmente un pequeño porcentaje estático y puede despreciarse.

$$\text{Empuje total} = E$$

$$E = (K \times C.D.T) + (W \times S)$$

donde K = Factor de empuje de la bomba Lbs/pie de Carga

C.D.T = Carga dinámica total en pies

W = Peso de la flecha en libras

S = Longitud total de la columna en pies

$$E = (K \times C.D.T.) + (W \times S)$$

$$K = 19$$

$$C.D.T = 236.37 \text{ pies}$$

$$W = 5.37 \text{ Lb/pie}$$

$$S = 250 \text{ pies}$$

$$E = (19 \times 236.37) + (5.37 \times 250)$$

Empuje total 5833.53 Lb.

La elongación o alargamiento total es

$$e = \frac{C.D.T. \times S \times K \times 12}{A \times 29,000,000}$$

$$A = 0.7854 D^2 = 0.7854 \times 1.4375^2$$

$$A = 1.622955$$

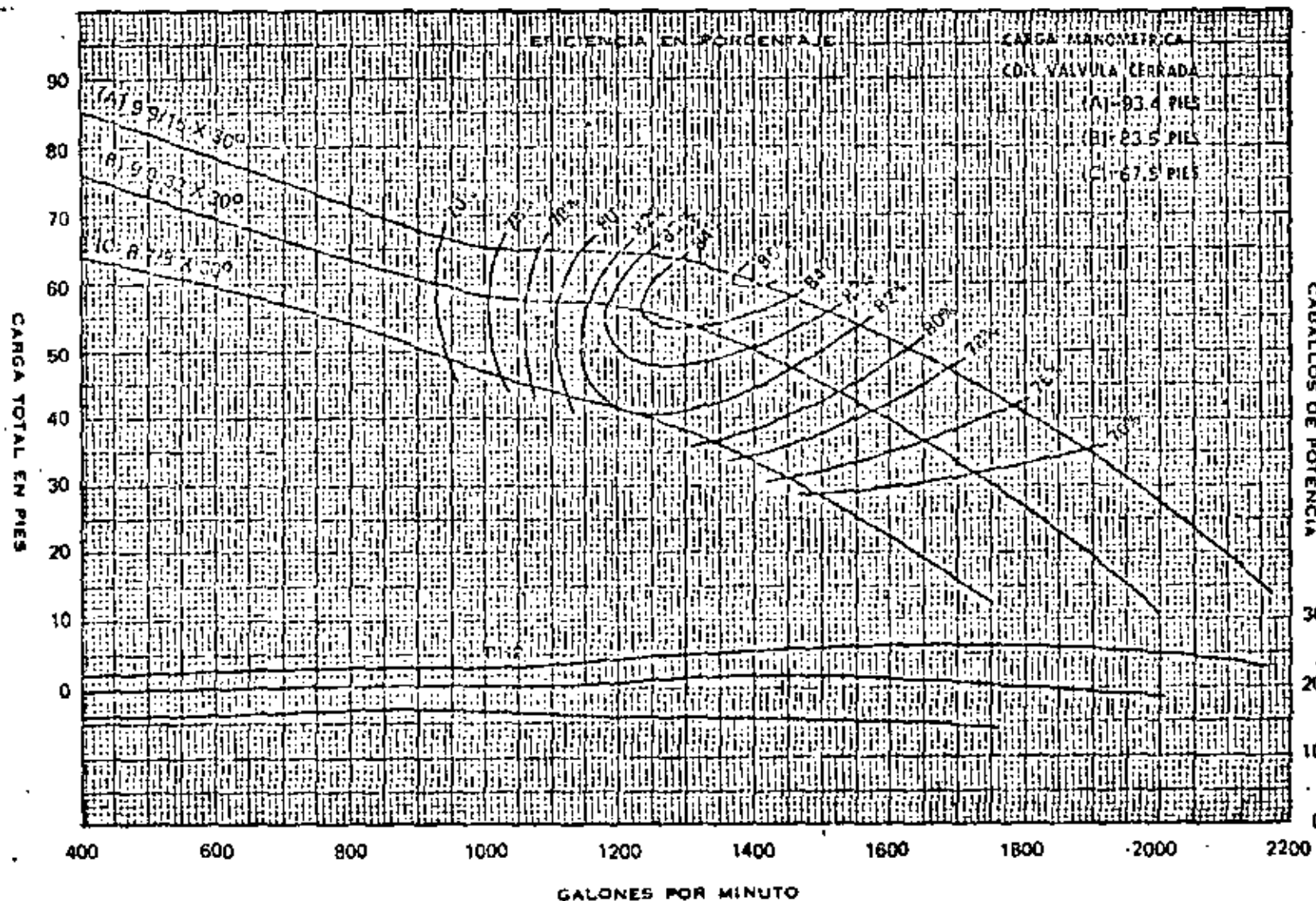
$$e = \frac{236.37 \times 250 \times 19 \times 12}{1.62 \times 29 \times 10^6}$$

$$e = 0.286783 \text{ in}$$

$$e = 7.28 \text{ mm.}$$

$$29 \times 10^6 = \text{Módulo de elasticidad del acero}$$

Lb/pulg².



PARA CONVERTIR A METROS
MULTIPLIQUESE PIES X 0.305

PARA CONVERTIR A LTS /SEG
MULTIPLIQUESE GALONES/MIN X 0.8308

NUMERO DE TAZONES	CAMBIO DE EFICIENCIA
1	11
2	11
3	11

El cambio de eficiencia puede afectar la carga y el cabalaje.

Diám. Tazón 1 1/4 Plg.
 Núm. Tazón 2915-9.C.I.
 Núm. Impulsor 2953.
 BRONCE

Area del Ojo del Impulsor 32.4 Plg.2
 Tipo Impulsor SEMI-ABIERTO
 K = 19.0

RENDIMIENTO POR ETAPA

Curva No.	12H-64
R.P.M.	1740
Tazón	12HS

La eficiencia está basada en el bombeo de agua limpia, a una temperatura que no exceda de 30°C. (86°F.) y que este libre de gas, aire o abrasivos, y con los impulsores ajustados apropiadamente y los tazonos sumergidos.

**FRICCIÓN MECÁNICA
EN LAS FLECHAS DE LAS BOMBAS TORBINAS (*)**

TABLA Nº 1

Longitud de la Flecha		DIAMETRO DE LA FLECHA										
		3/8"	1"	1 3/16"	1 7/16"	1 1/2"	1 11/16"	1 15/16"	2 3/16"	2 7/16"	2 11/16"	2 15/16"
Metros	Pulg.	Fricción Mecánica en H.P. A 1750 R.P.M.										
7.6	25	.08	.13	.18	.25	.29	.35	.45	.58	.71	.84	1.00
15.2	50	.15	.26	.36	.50	.58	.70	.90	1.15	1.42	1.68	2.00
22.9	75	.23	.39	.54	.75	.86	1.05	1.35	1.73	2.14	2.51	3.00
30.5	100	.30	.52	.72	1.00	1.15	1.40	1.80	2.30	2.85	3.35	4.00
38.1	125	.38	.65	.90	1.25	1.44	1.75	2.25	2.88	3.56	4.19	5.00
45.7	150	.45	.78	1.08	1.50	1.73	2.10	2.70	3.45	4.27	5.03	6.00
53.3	175	.53	.91	1.26	1.75	2.01	2.45	3.15	4.03	4.99	5.86	7.00
61.0	200	.60	1.04	1.44	2.00	2.30	2.80	3.60	4.50	5.70	6.70	8.00
68.6	225	.68	1.17	1.62	2.25	2.59	3.15	4.05	5.18	6.41	7.54	9.00
76.2	250	.75	1.30	1.80	2.50	2.88	3.50	4.50	5.75	7.17	8.38	10.00
83.8	275	.83	1.43	1.99	2.75	3.16	3.85	4.95	6.33	7.84	9.21	11.00
91.4	300	.90	1.56	2.16	3.00	3.45	4.20	5.40	6.80	8.55	10.05	12.00
99.0	325	.98	1.69	2.34	3.25	3.74	4.55	5.85	7.48	9.26	10.89	13.00
106.7	350	1.05	1.82	2.52	3.50	4.03	4.90	6.30	8.05	9.97	11.73	14.00
114.3	375	1.13	1.95	2.70	3.75	4.31	5.25	6.75	8.63	10.69	12.56	15.00
121.9	400	1.20	2.08	2.88	4.00	4.60	5.60	7.20	9.20	11.40	13.40	16.00
129.5	425	1.28	2.21	3.06	4.25	4.89	5.95	7.65	9.79	12.11	14.24	17.00
137.1	450	1.35	2.34	3.24	4.50	5.18	6.30	8.10	10.35	12.82	15.09	18.00
144.8	475	1.43	2.47	3.42	4.75	5.46	6.65	8.55	10.93	13.54	15.91	19.00
152.4	500	1.50	2.60	3.60	5.00	5.75	7.00	9.00	11.50	14.25	16.75	20.00
Fricción Mecánica en H.P. A 1450 R.P.M.												
7.6	25	.06	.11	.15	.23	.24	.30	.39	.48	.60	.73	.85
15.2	50	.12	.23	.30	.45	.48	.60	.75	.95	1.20	1.44	1.75
22.9	75	.19	.34	.45	.68	.71	.90	1.13	1.47	1.80	2.19	2.55
30.5	100	.25	.45	.60	.90	.95	1.20	1.50	1.90	2.40	2.90	3.40
38.1	125	.31	.56	.75	1.13	1.19	1.50	1.88	2.38	3.00	3.63	4.25
45.7	150	.38	.68	.90	1.35	1.43	1.80	2.25	2.85	3.60	4.35	5.10
53.3	175	.44	.79	1.05	1.58	1.66	2.10	2.63	3.32	4.20	5.08	5.95
61.0	200	.50	.90	1.20	1.80	1.90	2.40	3.00	3.80	4.80	5.80	6.80
68.6	225	.56	1.01	1.35	2.03	2.14	2.70	3.38	4.28	5.40	6.53	7.65
76.2	250	.63	1.13	1.50	2.25	2.38	3.00	3.75	4.75	6.00	7.25	8.50
83.8	275	.69	1.24	1.65	2.48	2.61	3.30	4.13	5.22	6.60	7.98	9.35
91.4	300	.75	1.35	1.80	2.70	2.85	3.60	4.50	5.70	7.20	8.70	10.20
99.0	325	.81	1.46	1.95	2.93	3.09	3.90	4.88	6.17	7.80	9.43	11.05
106.7	350	.88	1.58	2.10	3.15	3.33	4.20	5.25	6.65	8.40	10.15	11.90
114.3	375	.94	1.69	2.25	3.38	3.56	4.50	5.63	7.15	9.00	10.85	12.75
121.9	400	1.00	1.80	2.40	3.60	3.80	4.80	6.00	7.60	9.60	11.60	13.60
129.5	425	1.06	1.91	2.55	3.83	4.04	5.10	6.38	8.07	10.20	12.33	14.55
137.1	450	1.13	2.03	2.70	4.05	4.28	5.40	6.75	8.55	10.80	13.05	15.50
144.8	475	1.19	2.14	2.85	4.28	4.51	5.70	7.13	9.04	11.40	13.78	16.45
152.4	500	1.25	2.25	3.00	4.50	4.75	6.00	7.50	9.50	12.00	14.50	17.00

(*) Para valores no comprendidos en esta tabla vea gráfica No. 2

Pérdidas por fricción para agua, en pies por cada 100 pies de tubería (o en metros por cada 100 metros). Basada en la fórmula de Williams & Hazen, usando una constante de 100.

TABLA N° 2

Tamaño del Tubo de 1 U.U. por Min.	1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		2"		2 1/2"		3"		4"		5"		6"		Tamaño del Tubo de 1 U.U. por Min.
	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	Vel. Pies. P.S.	
2	3.4	1.20	4.45	1.50	5.51	1.75	6.58	2.00	7.64	2.25	8.81	3.00	3.75	4.50	5.25	6.00	6.75	7.50	8.25	9.00	9.75	10.50	2
3	3.7	1.30	4.75	1.60	5.81	1.85	6.88	2.10	7.94	2.35	9.00	3.15	3.90	4.65	5.40	6.15	6.90	7.65	8.40	9.15	9.90	3	
4	4.0	1.40	5.0	1.70	6.06	2.00	7.12	2.30	8.18	2.55	9.24	3.45	4.20	4.95	5.70	6.45	7.20	7.95	8.70	9.45	10.20	4	
5	4.3	1.50	5.3	1.80	6.3	2.10	7.36	2.40	8.42	2.65	9.48	3.75	4.50	5.25	6.00	6.75	7.50	8.25	9.00	9.75	10.50	5	
6	4.6	1.60	5.6	1.90	6.6	2.20	7.68	2.50	8.74	2.75	9.80	4.05	4.80	5.55	6.30	7.05	7.80	8.55	9.30	10.05	10.80	6	
7	4.9	1.70	5.9	2.00	6.9	2.30	7.98	2.60	9.04	2.85	10.10	4.35	5.10	5.85	6.60	7.35	8.10	8.85	9.60	10.35	11.10	7	
8	5.2	1.80	6.2	2.10	7.2	2.40	8.28	2.70	9.34	2.95	10.40	4.65	5.40	6.15	6.90	7.65	8.40	9.15	9.90	10.65	11.40	8	
9	5.5	1.90	6.5	2.20	7.5	2.50	8.62	2.80	9.68	3.05	10.70	4.95	5.70	6.45	7.20	7.95	8.70	9.45	10.20	10.95	11.70	9	
10	5.8	2.00	6.8	2.30	7.8	2.60	8.98	2.90	10.00	3.15	11.00	5.25	6.00	6.75	7.50	8.25	9.00	9.75	10.50	11.25	12.00	10	
12	6.4	2.20	7.4	2.50	8.4	2.80	9.68	3.10	10.70	3.35	11.70	5.65	6.40	7.15	7.90	8.65	9.40	10.15	10.90	11.65	12.40	12	
15	7.2	2.50	8.2	2.80	9.2	3.10	10.40	3.30	11.40	3.55	12.40	6.05	6.80	7.55	8.30	9.05	9.80	10.55	11.30	12.05	12.80	15	
20	8.4	3.00	9.4	3.30	10.4	3.50	11.40	3.50	12.40	3.75	13.40	6.45	7.20	7.95	8.70	9.45	10.20	10.95	11.70	12.45	13.20	20	
25	9.6	3.50	10.6	3.60	11.6	3.70	12.40	3.60	13.40	3.95	14.40	6.85	7.60	8.35	9.10	9.85	10.60	11.35	12.10	12.85	13.60	25	
30	10.8	4.00	11.8	3.90	12.8	3.90	13.40	3.70	14.40	4.15	15.40	7.25	8.00	8.75	9.50	10.25	11.00	11.75	12.50	13.25	14.00	30	
35	12.0	4.50	13.0	4.20	14.0	4.10	14.40	3.80	15.40	4.35	16.40	7.65	8.40	9.15	9.90	10.65	11.40	12.15	12.90	13.65	14.40	35	
40	13.2	5.00	14.2	4.50	15.2	4.30	15.40	3.90	16.40	4.55	17.40	8.05	8.80	9.55	10.30	11.05	11.80	12.55	13.30	14.05	14.80	40	
45	14.4	5.50	15.4	4.80	16.4	4.50	16.40	4.00	17.40	4.75	18.40	8.45	9.20	9.95	10.70	11.45	12.20	12.95	13.70	14.45	15.20	45	
50	15.6	6.00	16.6	5.10	17.6	4.70	17.40	4.10	18.40	4.95	19.40	8.85	9.60	10.35	11.10	11.85	12.60	13.35	14.10	14.85	15.60	50	
55	16.8	6.50	17.8	5.40	18.6	4.90	18.40	4.20	19.40	5.15	20.40	9.25	10.00	10.75	11.50	12.25	13.00	13.75	14.50	15.25	16.00	55	
60	18.0	7.00	19.0	5.70	19.6	5.10	19.40	4.30	20.40	5.35	21.40	9.65	10.40	11.15	11.90	12.65	13.40	14.15	14.90	15.65	16.40	60	
65	19.2	7.50	20.2	6.00	20.6	5.30	20.40	4.40	21.40	5.55	22.40	10.05	10.80	11.55	12.30	13.05	13.80	14.55	15.30	16.05	16.80	65	
70	20.4	8.00	21.4	6.30	21.6	5.50	21.40	4.50	22.40	5.75	23.40	10.45	11.20	11.95	12.70	13.45	14.20	14.95	15.70	16.45	17.20	70	
75	21.6	8.50	22.6	6.60	22.6	5.70	22.40	4.60	23.40	5.95	24.40	10.85	11.60	12.35	13.10	13.85	14.60	15.35	16.10	16.85	17.60	75	
80	22.8	9.00	23.8	6.90	23.6	5.90	23.40	4.70	24.40	6.15	25.40	11.25	12.00	12.75	13.50	14.25	15.00	15.75	16.50	17.25	18.00	80	
85	24.0	9.50	25.0	7.20	24.6	6.10	24.40	4.80	25.40	6.35	26.40	11.65	12.40	13.15	13.90	14.65	15.40	16.15	16.90	17.65	18.40	85	
90	25.2	10.00	26.2	7.50	25.6	6.30	25.40	4.90	26.40	6.55	27.40	12.05	12.80	13.55	14.30	15.05	15.80	16.55	17.30	18.05	18.80	90	
95	26.4	10.50	27.4	7.80	26.6	6.50	26.40	5.00	27.40	6.75	28.40	12.45	13.20	13.95	14.70	15.45	16.20	16.95	17.70	18.45	19.20	95	
100	27.6	11.00	28.6	8.10	27.6	6.70	27.40	5.10	28.40	6.95	29.40	12.85	13.60	14.35	15.10	15.85	16.60	17.35	18.10	18.85	19.60	100	
110	30.0	12.00	31.0	8.70	30.0	7.30	30.40	5.30	31.40	7.35	32.40	13.85	14.60	15.35	16.10	16.85	17.60	18.35	19.10	19.85	20.60	110	
120	32.4	13.00	33.4	9.30	33.4	7.90	33.40	5.50	34.40	7.75	35.40	14.85	15.60	16.35	17.10	17.85	18.60	19.35	20.10	20.85	21.60	120	
130	34.8	14.00	35.8	9.90	35.8	8.50	35.40	5.70	36.40	8.15	37.40	15.85	16.60	17.35	18.10	18.85	19.60	20.35	21.10	21.85	22.60	130	
140	37.2	15.00	38.2	10.50	38.2	9.10	38.40	5.90	39.40	8.55	40.40	16.85	17.60	18.35	19.10	19.85	20.60	21.35	22.10	22.85	23.60	140	
150	39.6	16.00	40.6	11.10	40.6	9.70	40.40	6.10	41.40	8.95	42.40	17.85	18.60	19.35	20.10	20.85	21.60	22.35	23.10	23.85	24.60	150	
160	42.0	17.00	43.0	11.70	43.0	10.30	43.40	6.30	44.40	9.35	45.40	18.85	19.60	20.35	21.10	21.85	22.60	23.35	24.10	24.85	25.60	160	
170	44.4	18.00	45.4	12.30	45.4	10.90	45.40	6.50	46.40	9.75	47.40	19.85	20.60	21.35	22.10	22.85	23.60	24.35	25.10	25.85	26.60	170	
180	46.8	19.00	47.8	12.90	47.8	11.50	47.40	6.70	48.40	10.15	49.40	20.85	21.60	22.35	23.10	23.85	24.60	25.35	26.10	26.85	27.60	180	
190	49.2	20.00	49.8	13.50	49.8	12.10	49.40	6.90	50.40	10.55	51.40	21.85	22.60	23.35	24.10	24.85	25.60	26.35	27.10	27.85	28.60	190	
200	51.6	21.00	51.6	14.10	51.6	12.70	51.40	7.10	52.40	10.95	53.40	22.85	23.60	24.35	25.10	25.85	26.60	27.35	28.10	28.85	29.60	200	
210	54.0	22.00	53.6	14.70	53.6	13.30	53.40	7.30	54.40	11.35	55.40	23.85	24.60	25.35	26.10	26.85	27.60	28.35	29.10	29.85	30.60	210	
220	56.4	23.00	55.6	15.30	55.6	13.90	55.40	7.50	56.40	11.75	57.40	24.85	25.60	26.35	27.10	27.85	28.60	29.35	30.10	30.85	31.60	220	
230	58.8	24.00	57.6	15.90	57.6	14.50	57.40	7.70	58.40	12.15	59.40	25.85	26.60	27.35	28.10	28.85	29.60	30.35	31.10	31.85	32.60	230	
240	61.2	25.00	59.6	16.50	59.6	15.10	59.40	7.90	60.40	12.55	61.40	26.85	27.60	28.35	29.10	29.85	30.60	31.35	32.10	32.85	33.60	240	
250	63.6	26.00	61.6	17.10	61.6	15.70	61.40	8.10	62.40	12.95	63.40	27.85	28.60	29.35	30.10	30.85	31.60	32.35	33.10	33.85	34.60	250	
260	66.0	27.00	63.6	17.70	63.6	16.30	63.40	8.30	64.40	13.35	65.40	28.85	29.60	30.35	31.10	31.85	32.60	33.35	34.10	34.85	35.60	260	
270	68.4	28.00	65.6	18.30	65.6	16.90	65.40	8.50	66.40	13.75	67.40	29.85	30.60	31.35	32.10	32.85	33.60	34.35	35.10	35.85	36.60	270	
280	70.8	29.00	67.6	18.90	67.6	17.50	67.40	8.70	68.40	14.15	69.40	30.85	31.60	32.35	33.10	33.85	34.60	35.35	36.10	36.85	37.60	280	
290	73.2	30.00	69.6	19.50	69.6	18.10	69.40	8.90	70.40	14.55	71.40	31.85	32.60	33.35	34.10	34.85	35.60	36.35	37.10	37.85	38.60	290	
300	75.6	31.00	71.6	20.10	71.6	18.70	71.40	9.10	72.40	14.95	73.40	32.85	33.60	34.35	35.10	35.85	36.60	37.35					

TABLA DE PERDIDAS POR FRICCION EN COLUMNAS DE TURBINA(*)

TABLA Nº 1

COLUMNA EXTERIOR		3"			4"			6"			8"			10"			12"					
CUBIERTA INTERIOR		1/4"	1/4"	1/2"	2"	1/4"	1/2"	2"	1/2"	2"	2 1/2"	2"	2 1/2"	3"	2"	2 1/2"	3"	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	
Gasto LPS	Gasto GPM	PERDIDA DE CARGA EN PIES POR CADA 100' (6 MTS. POR CADA 100 MTS.) DE COLUMNA																				
1.5	25	1.8																				
3.2	50	4.6	.65	.66	1.6																	
4.7	75	9.0	1.3	1.7	3.3																	
6.3	100	14.	2.2	2.8	5.3	.04	.65	.94														
7.9	125		3.2	4.2	7.8	.81	.96	1.4														
9.4	150		4.4	5.6		1.1	1.3	1.9														
11.0	175		5.8	7.5		1.5	1.7	2.5														
12.6	200		7.3	9.4		1.8	2.2	3.1	.73	.96	1.4											
14.1	225					2.3	2.7	3.9	.90	1.2	1.7											
15.7	250					2.7	3.3	4.7	1.1	1.4	2.0											
17.3	275					3.3	3.9	5.6	1.3	1.7	2.4											
18.9	300					3.8	4.5	6.4	1.5	2.0	2.8											
20.4	325					4.4	5.2	7.4	1.7	2.3	3.2											
22.0	350					5.0	6.0	8.4	2.0	2.6	3.6											
23.6	375					5.8	6.7	9.5	2.2	2.9	4.1											
25.2	400					6.3	7.5		2.5	3.3	4.6	.61	.74	1.6								
26.8	450					7.8	9.3		3.1	4.1	5.7	.77	.91	1.3								
31.5	500								3.7	5.0	6.9	.93	1.1	1.5								
36	550								4.4	5.8		1.1	1.3	1.8								
37.8	600								5.2	6.8		1.3	1.5	2.1								
40.9	650								6.0			1.5	1.8	2.5								
44.1	700											1.7	2.0	2.8								
47.2	750											1.9	2.3	3.2								
50.4	800											2.2	2.6	3.6	.57	.65	.77					
53.5	850											2.4	2.9	4.0	.63	.72	.86					
56.7	900											2.7	3.2	4.5	.70	.80	.96					
59.9	950											2.9	3.5	4.2	.77	.88	1.3					
63.0	1000											3.2	3.9	5.4	.85	.97	1.2	.34	.38	.44	.50	
75.6	1200											4.5	5.4	7.6	1.2	1.4	1.6	.47	.54	.62	.71	
88.2	1400											6.0	7.2	10.	1.6	1.8	2.2	.62	.71	.82	.94	
100.8	1600											7.6	9.1	13.	2.0	2.3	2.8	.80	.93	1.1	1.2	
113.4	1800											9.4	11.		2.5	2.8	3.4	.93	1.1	1.3	1.5	
126.0	2000											11.	13.		3.0	3.5	4.2	1.2	1.4	1.6	1.8	
136.6	2200														3.6	4.1	5.0	1.4	1.6	1.8	2.1	
151.7	2400														4.2	4.9	6.0	1.7	1.9	2.2	2.5	
163.6	2600														4.9	5.6	6.8	1.9	2.2	2.5	2.9	
176.4	2800														5.6	6.4	7.8	2.2	2.5	2.8	3.3	
189.0	3000														6.4	7.4	8.8	2.5	2.9	3.3	3.8	
201.6	3200																	2.8	3.2	3.7	4.3	
214.2	3400																	3.2	3.6	4.2	4.8	
226.8	3600																	3.5	4.0	4.7	5.3	
239.4	3800																	3.9	4.4	5.1	5.9	
252.0	4000																					
264.6	4200																	4.3	4.9	5.6	6.4	
277.2	4400																	4.7	5.3	6.2	7.1	
289.6	4600																	5.1	5.8	6.7	7.7	
302.4	4800																	5.6	6.3	7.4	8.4	
																		6.0	6.8	7.9	9.0	

*** Para valores de gasto no incluidos en esta tabla vea gráfica No. 1

Por otro lado, una columna demasiado grande tendría una flecha de mayor diámetro y exigiría una mayor potencia para mover el cuerpo impulsor y demandaría una intensidad de corriente al motor, mayor. Los límites en esta selección, sería para un equilibrio de libertad de fluidez al gasto y una flecha que soporte la columna ajustada al motor, y con un margen de seguridad para un motor económicamente eficiente.

TABLA DE SELECCION DE FLECHAS

DE ACERO C-1048

TABLA N°

DIAMETRO DE LA FLECHA N.º (Pulg.)	Velocidad (RPM)	* TRACCION EN LA FLECHA KGS. (LBS)								
		454	907	1,361	2,268	3,402	4,536	6,804	9,072	13,608
		1,000	2,000	3,000	5,000	7,500	10,000	15,000	20,000	30,000
Potencia Admisibles - HP										
19.05 (3/8)	1,760	20.0	17.5	18.8	16.3					
	1,160	13.2	12.9	12.4	10.7					
	860	9.8	9.5	9.2	8.0					
25.4 (1)	3,500	94.5	93.8	93.0	89.5	82.5				
	1,760	47.5	47.2	46.7	45.0	41.5				
	1,160	31.3	31.1	30.8	29.7	27.3				
30.16 (1 3/16)	860	23.2	23.1	22.9	22.0	20.3				
	3,500	167	167	166	163	157	149			
	1,760	84.0	84.0	83.5	82.0	79.0	75.0			
36.51 (1 7/16)	1,160	55.4	55.4	55.0	54.1	52.1	49.4			
	860	41.0	41.0	40.7	40.0	38.6	36.6			
	3,500			296	294	289	283	254		
38.10 (1 1/2)	1,760			189	186	183	182	133		
	1,160			98.3	97.6	96.0	94.0	87.6		
	860			72.7	72.3	71.0	69.5	64.8		
47.86 (1 11/16)	3,500			336	334	330	324	306		
	1,760			169	168	166	163	154		
	1,160			111.2	110.7	109.2	107.2	101.4		
49.21 (1 15/16)	860			82.6	82.1	81.1	79.6	75.2		
	1,760			252	251	248	246	239	227	
	1,160			166	165	164	162	157	150	
55.56 (2 3/16)	860			123	122	121	120	117	111	
	1,760				393	392	390	382	373	348
	1,160				259	258	257	252	246	239
61.91 (2 7/16)	860				192	192	191	187	182	174
	1,760				578	577	576	570	562	535
	1,160				382	381	380	376	371	355
68.26 (2 11/16)	860				283	282	281	279	275	267
	1,760					814	815	810	802	771
	1,160					537	537	533	529	514
70.9	860					398	398	395	392	381
	1,760						1,070	1,062	1,055	1,034
	1,160						707	700	696	680
80.1	860						520	518	515	501

* Se determina de acuerdo con las páginas 9 y 10 de esta misma Sección.

SELECCION DE LOS COPLES

TIPO DE IMPULSOR	TIPO DE COPLÉ	PROFUNDIDAD MAXIMA RECOMENDABLE MTS. (PIES)
Cerrado	Auto-desconexión	60.96 (200')
	No-retroceso	152.50 (500')
Semi-abierto	Auto-desconexión	30.48 (100')
	No-retroceso	60.96 (200')

Para profundidades mayores que las indicadas o para cargas totales que excedan los 600', dirijase a la fábrica. Para grandes profundidades y altas cargas revíse el alargamiento de la flecha.

La tabla N° 5 se comprueba el diámetro de la flecha en función de la velocidad de operación y de la potencia del motor. Estas coordenadas

de velocidad-diámetro de la flecha señalan la potencia aproximada a la cual hay que operar esta flecha considerada para el diámetro elegido.

CABEZALES DE DESCARGA

PARA BOMBAS DE POZO PROFUNDO
TIPO TURBINA
LUBRICADAS POR ACEITE O POR AGUA

TABLA N° 1

Modelo	Precio	Peso (Kgs.)	Diámetro de la Base del Motor (1) cms.-(pulg.)	Diámetro Máximo de la Brida de Descarga cms.-(pulg.)	Diámetro de Columna que pueden emplearse cms.-(pulg.)	Combinaciones de Flecha y Cubierta interior que pueden emplearse							
						3/4 x 1-1/4	1 x 1-1/2	1-3/16 x 2	1-1/2 x 2-1/2	1-11/16 x 2-1/2	1-11/16 x 3	1-15/16 x 3	2-3/16 x 3-1/2
• 3A	\$2,950	35	30.48 (12)	Sin Bridas 7.62(3) Roscado	Sin Bridas 7.62(3) Roscado	Solamente para Lubricación por Agua							
• 4A	6,615	35		Sin Bridas 10.16(4) Roscado	Sin Bridas 10.16(4) Roscado								
4B	6,815	80		10.16 (4) Roscado	7.62 (3) 10.16 (4) 12.70 (5) Con Bridas								
4C	7,025	90	41.91 (16-1/2) 50.80 (20) 62.23 (24-1/2)			X	X						
6C	7,980	125	25.40 (10) 30.48 (12)	15.24 (6) Con Bridas	10.16 (4) 12.70 (5) 15.24 (6) Con Bridas	X	X	X					
	8,225	130	41.91 (16-1/2) 50.80 (20) 62.23 (24-1/2)			X	X	X					
8B	12,020	180	25.40 (10) 30.48 (12)	20.32 (8) Con Bridas	12.70 (5) 15.24 (6) 20.32 (8) 25.40 (10) Con Bridas	X	X	X					
8C	12,395	190	41.91 (16-1/2) 50.80 (20)			X	X	X	X	X	X	X	X
8HD	14,585	250				X		X	X	X	X	X	X
10C	16,515	265				25.40 (10) Con Bridas	X	X	X	X	X	X	X	X
10HD	17,685	320	62.23 (24-1/2)	30.48 (12) Con Bridas	20.32 (8) 25.40 (10) 30.48 (12) Con Bridas			X	X	X	X	X	X
12C	20,440	335				35.56 (14) Con Bridas	35.56 (14) Con Bridas	X	X	X	X	X	X
14D	21,860	560					X	X	X	X	X	X	

• Deben usarse únicamente con columna que no exceda de 61 Mts. (200) de profundidad.

El diámetro de la base del motor puede ser mayor que el diámetro de la base superior del cabezal de descarga. SIN AFECTAR SU FUNCIONAMIENTO.

La tabla No. 1 da una selección de cabezales de descarga para motores eléctricos en sus dimensiones de la base y su descarga. Para motor eléctrico deben coincidir para el cabezal en un acoplamiento exacto.

Especificaciones

TABLA N° 6

MODELO	C.de F. Max.	R.P.M. DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA							
		880	1005	1173	1320	1408	1467	1760	
		RELACION DE ENGRANES							
J15	* JC15	15	1:2		2:3	3:4			1:1
J30	* JC30	30	1:2	4:7	2:3	3:4		5:6	1:1
J50	* JC50	50	1:2		2:3	3:4		5:6	1:1
J70	* JC70	70	1:2		2:3	3:4		5:6	1:1
J110	* JC110	110	1:2	4:7	2:3	3:4		5:6	1:1
J150	* JC150	150	1:2	4:7	2:3	3:4	4:5	5:6	1:1

* Cabezal combinado para usarse en motores eléctricos y de combustión interna.

Los cabalajes y las revoluciones anotadas están basados en una bomba trabajando a 1760 R.P.M.

Se puede sobrecargar el cabezal engranado en un 10 % de la potencia admisible siempre que la sobrecarga no sobrepase a los 5 C. de F.

Todos los motores de combustión interna pueden variar su velocidad para poder usar cabezales engranados jacuzzi de diversas relaciones, siempre que el motor sea capaz de proporcionar en servicio continuo la demanda de C. de F. que requiera la bomba.

La Tabla N° 6 facilita una selección del cabezal de engranes para el empleo de motor Diesel como unidad motriz; tres columnas que se enumeran de izquierda a derecha indican, siendo las siguientes: potencia del motor diesel en HP; modelo del cabezal de engranes y relación de engranes en función de las RPM del motor y la bomba. Se incide

en la gráfica con la potencia seleccionada del motor diesel y horizontalmente se encuentra el modelo del cabezal de engranes y la relación del conjunto motor bomba, operada la bomba a las RPM convenientes.

BARRAS FLEXIBLES

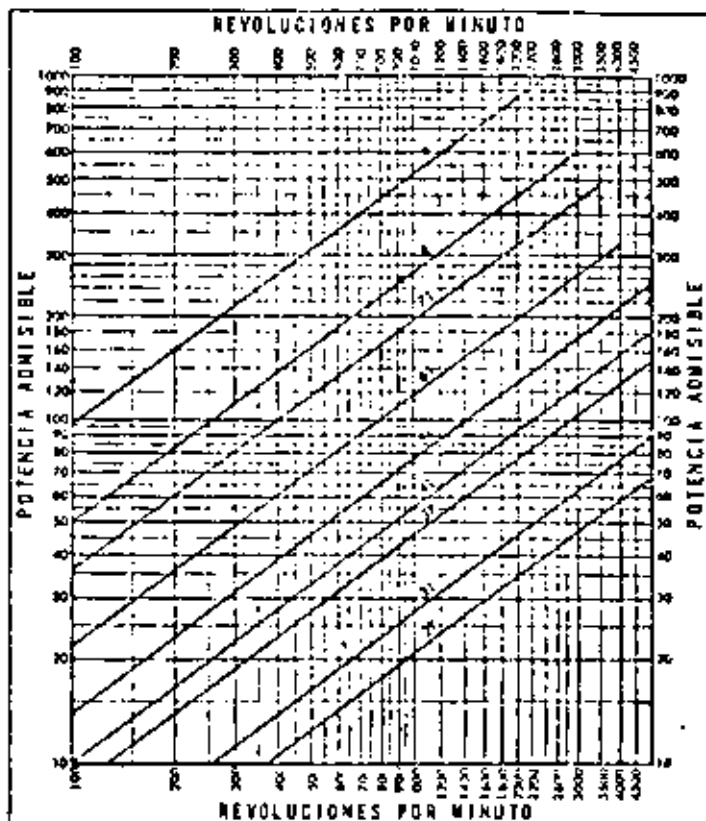
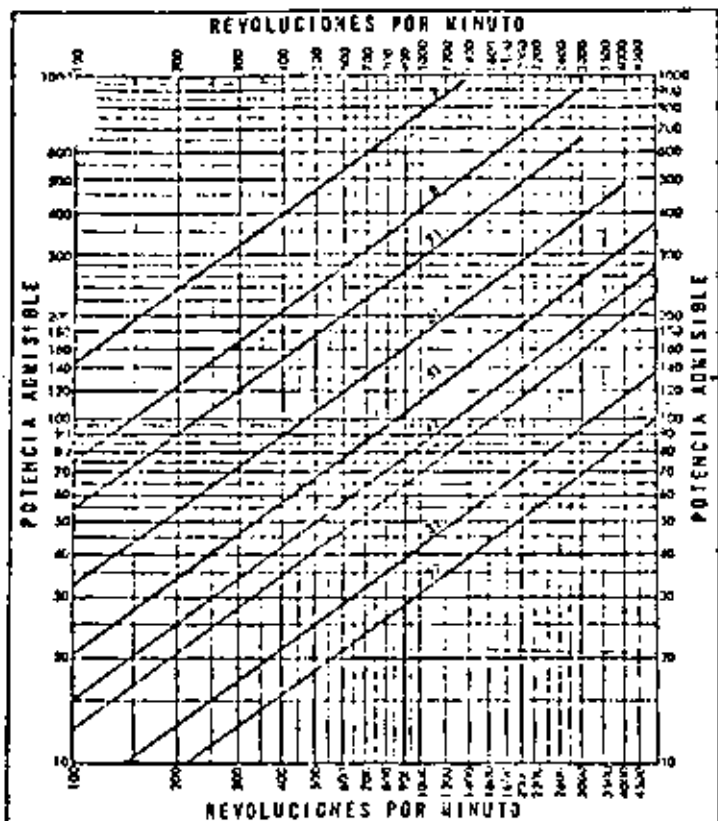
TABLA DE SELECCION

TABLA N° 7

MODELO	LONGITUD cms. (pulg.)	VELOCIDAD DE LA BARRA FLEXIBLE EN RPM * *				
		(y Relación del Cabezal de Engranes)				
		1760 RPM (Rel. 1:1)	1467 RPM (Rel. 5:6)	1320 RPM (Rel. 3:4)	1173 RPM (Rel. 2:3)	880 RPM (Rel. 1:2)
POTENCIA MAXIMA ADMISIBLE EN C. DE F.						
WL27	91 * (36")	31	27	25	23	19
WL31	91 * (36")	42	37	33	31	25
WL37	91 * (36")	69	61	58	51	42
WL41	91 * (36")	85	75	69	63	51
WL51	122 (48")	117	103	94	87	70
WL61	122 (48")	179	155	142	132	108
WL71	122 (48")	295	260	238	217	178
WL8	122 (48")	405	355	330	300	240

* Consulte a la Fábrica si se desea una longitud distinta a la especificada.

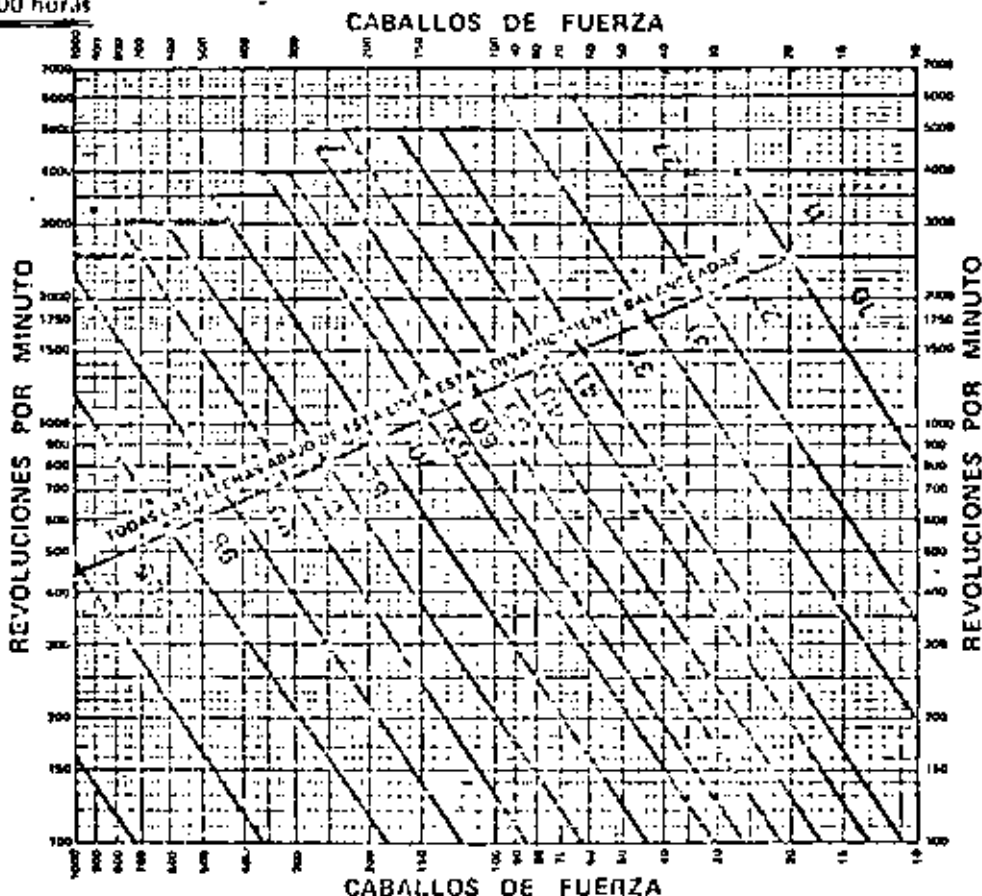
** Las velocidades anotadas son las necesarias en la barra flexible para que la bomba gire a 1760 R.P.M. según la relación de engranes del cabezal que se utilice.



GRAFICA Nº 3

GRAFICAS DE SELECCION DE FLECHAS WATSON.

Gráfica 1 2,500 horas



GRAFICA Nº 4a

ESPECIFICACIONES DE EQUIPO DE BOMBEO CON MOTOR ELECTRICO

NOMBRE DEL POZO: BUAXTHO CLAVE: _____

D S T A B O: HIDALGO MUNICIPIO: ACTOPAN

PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO.....	<u>150.00</u>	M	
PROFUNDIDAD CAMARA DE BOMBEO Y DIAMETRO	<u>95.00</u>	M	<u>14</u> P.C.S.
ELEVACION O CARGA HIDRAULICA ADIC.	<u>2.00</u>	M.	
LONGITUD DE CONDUCCION	_____	M.	
A L T I T U D	_____	M.S.K.M.	
VOLTAJE EN ALTA TENSION	<u>13.2</u>	KV.	
DISTANCIA A ELECTRIFICAR	_____	KV.	

DATOS HIDRAULICOS

NIVEL ESTATICO	<u>11.05</u>	M.	
NIVEL DINAMICO DE LEGRO	<u>65.00</u>	M	
GASTO DE AFORO	<u>85.00</u>	L.P.S.	
NIVEL DINAMICO DE LEGUÑO	<u>67.00</u>	M.	
GASTO DE DISEÑO	<u>90.00</u>	L.P.S.	

ABATIMIENTO APROXIMADO PARA EFECTOS DE CALCULO QUE SE CONSIDERA SE PRESENTE AL TENDRER LOS POZOS EN BATERIA (EN PROCESO DE ESTUDIO) _____ M.

DESCRIPCION: CARACTERISTICAS

CUERPO DE TAZONES:

MODELO DE TAZON: 12 HS-A
 MARCA DE FABRICANTE IACUZZI
 NO. DE CURVA 12 H-64
 NO. DE IMPULSOR 2953
 CORTE UTILIZADO "A"
 EFICIENCIA 85%
 VELOCIDAD DE OPEACION: 1760
 TOTAL DE PASOS 4
 LONGITUD Y DIAMETRO DE CALUMNA DE DESCARGA 72.06 M.
 10 PULGADAS \varnothing
 DIAMETRO DE CUBIERTA (LUBRICACION ACEITE) 2 1/2 PULG. \varnothing
 DIAMETRO DE LA PLECHA 1 7/16 PULG. \varnothing
 MODELO Y DIAMENSIONES DEL CABEZAL DE DESCARGA 10x10x16 1/2
 LONGITUD Y DIAMETRO DEL TUBO DE SUCCION 1.52 M. 10 PULG. \varnothing
 LONGITUD Y DIAMETRO DEL TUBO DE DESCARGA 3.05 M. 10 PULG. \varnothing
 DIAMETRO DEL CUELLO DE CARZA 10 PULG. \varnothing
 DIAMETRO DEL MEDIDOR DE FLUJO 10 PULG. \varnothing
 COLADOR CONICO GALVANIZADO 10 PULG. \varnothing

MOTOR Y ACCESORIOS ELECTRICOS

NUMERO DE POLOS 4
 VELOCIDAD Y POTENCIA DE DISEÑO ... 1760 R.P.M. 125 H.P.

DESCRIPCION: CARACTERISTICAS

PODERA DE OPERACION REQUERIDA ..	118	H.P.		
VELOCIDAD DE OPERACION REQUERIDA..	1760	R.P.M.		
ARMADOR TRIFASICO 60 HERTZ	440	V. PARA	125	H.P.
INTERRUPTOR	600	V. PARA	125	H.P.
	HASTA		AMP.	
GABINETE METALICO CON COMBINACION DE INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO Y ARRANCADOR AUTOMATICO, AUTOTRANSFORMADOR NO REVERSIBLE Y AUTOTRANSFORMADOR MONOFASICO TIPO SECO		PARA	125	H.P.
SUBSTACION COMPACTA		PARA ARRANCADOR DE	125	H.P.
ARRANCADOR TRIFASICO 60 HERTZ	440	V. HASTA	125	H.P.
TRANSFORMADOR ELECTRICO DE DISTRIBUCION TRIFASICO TIPO INDUSTRIAL 60 HERZ DE -- FRECUENCIA, SUMERGIDO EN ACEITE		V. PRIM.	13,200	V.
		V SEC.	440	V.
		DE	150	H.P.
TRANSFORMADOR TIPO SECO PARA ALIMENTAR CONTACTO O LAMPARA 440/220 V. 60 HZ		DE	0.75	H.P.
HERAJES PARA SUBSTACION TIPO RURAL PARA INSTALACION EN ALTA TENSION DE TRANSFORMACIONES			150	H.P.
LOPE DE MATERIALES PARA CONEXIONES EN B.T. PARA			125	H.P.

CALCULO DE COSTO DE OPERACION (CONSUMO ELECTRICO)
DE BOMBA TURBINA VERTICAL

POZO: H U A X T O
MPIO: A C T O P A N
EDO. H I D A L G O

D A T O S H I D R A U L I C O S

N. E. = 11.05 Metros
N. D. = 67 Metros
Q. = 90 L. P. S.

El Motor Eléctrico utilizado para la tracción de esta bomba, es de las siguientes características:

H. P. = 103
E = 440 Volts.
I = 123 Amperes a plena carga
F = 60 c.p.s.
Vel. = 1800 R. P. M.

$$W = \sqrt{3} \times E \times I \times f. p.$$
$$W = \sqrt{3} \times 440 \times \underline{123} \times 0.8$$
$$KW = \underline{81.5} \quad KW$$

Convirtiendo L. P. S. a M³/ Hora

$$\underline{80} \quad L. P. S. = \underline{288} \quad M^3 / \text{Hora}$$

La potencia consumida en extraer 288 M3 es de 81.5 K. W. H.
De acuerdo a la tarifa N° 8 de la C. F. E.
de D-5000 K. W. H. el costo por K.W.H. es de \$ 0.172

La explotación de 288 M3 con una potencia consumida de 81.5 K.W.H.
es por un total de \$ 15.70

Costo de 1 M3 de agua es de \$ 0.0545

De acuerdo al boletín No. 5 de la Dirección General de Unidades de
Riego para el Desarrollo Rural.

C U L T I V O	REGIONES HÚMEDAS			REGIONES SECAS		
	LAMINA	NETA	NUM. DE RIEGO	LAMINA	NETA	NUM. DE RIEGO
	TOTAL (CM)	POR RIEGO (CM)		TOTAL (CM)	POR RIEGO (CM)	
CARA	165	15	11	180	15	12
FRIJOL	21	7	3	35	9	4
MAIZ	40	10	4	55	11	5
TRIGO	40	10	4	60	12	5

En riego rodado por estos Cultivos, consideramos un 40 % de pérdidas

C U L T I V O	REGIONES HUMEDAS		REGIONES SECAS	
	TOTAL CM.	M ³ X CICLO	TOTAL CM.	M ³ X CICLO
CANA	231	23.100	252	25.200
FRIJOL	29.4	2.940	50.4	5.040
MAIZ	56	5.600	77	7.700
TRIGO	56	5.600	84	8.400

CONSIDERANDO UNA HECTAREA COMO SUPERFICIE DE CULTIVO

C U L T I V O	M ³ X CICLO	GASTO DE EXTRACCION M ³ / Hora	No. DE HORAS DE B O M B E O
CANA DE AZUCAR	25.200	288	87.5
FRIJOL	5.040	288	17.5
MAIZ	7.700	288	26.73
TRIGO	8.400	288	29.16

El costo de riego de una hectárea es:

$$\text{Costo} = \text{Potencia consumida en KWH} \\ \times \text{costo en KWH} + 10\% \text{ impuesto de electrificación} + 2\% \\ \text{conexión de medición}$$

El costo de regar por bombeo una hectárea de cualquier tipo de cultivo, resultará de multiplicar el total de metros cúbicos que se requieren para el riego en todo el ciclo por el costo de un m³ bombeado

El costo de facturación, dependerá de la tarifa de consumo eléctrico como sigue:

0	-	5000	KWH	\$	0.172
5000	-	10000	KWH		0.2293
10000	-	20000	KWH		0.2675
20000	-	ó más	KWH		0.3058

CULTIVO	POTENCIA CONSUMIDA KWH.	COSTO DE FACTURACION	COSTO POR METRO CUBICO DE BOMBEO
CANA DE AZUCAR	7 131.25	13 48.69	0.0545
FRIJOL	1 426.25	274.75	0.0545
MAIZ	2 178.50	419.66	0.0545
IRIGO	2 376.54	457.81	0.0545

SUBDIRECCION DE GEODIDROLOGIA Y ZONAS ARIDAS
DEPARTAMENTO DE ELECTROMECANICA

COSTO DE METROS CUBICOS BOMBEADOS UTILIZANDO BOMBA TURBINA CON MOTOR ELECTRICO
(CALCULO SOBRE CONSUMO ELECTRICO)

C A U D A L		NIVELES DE BOMBEO EN METROS				
M 3/ Hora	L.P.S.	40	60	80	100	120
36	10	\$ 0.032	\$ 0.052	\$ 0.062	\$ 0.084	\$ 0.104
72	20	\$ 0.034	\$ 0.055	\$ 0.066	\$ 0.088	\$ 0.110
144	40	\$ 0.033	\$ 0.055	\$ 0.066	\$ 0.82	\$ 0.107
216	60	\$ 0.0342	\$ 0.054	\$ 0.072	\$ 0.090	\$ 0.103
288	80	\$ 0.033	\$ 0.0545	\$ 0.0682	\$ 0.0815	\$ 0.103
366	100	\$ 0.032	\$ 0.054	\$ 0.065	\$ 0.0866	\$ 0.094

12

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

1. KENT'S MECHANICAL ENGINEERS' HANDBOOK
EDITOR: J. KENNETH SALISBURY
POWER VOLUME
TWELFTH EDITION
WILEY ENGINEERING HANDBOOK SERIES.

2. BOMBAS, TEORIA, DISEÑO Y APLICACIONES
POR: ING. MANUEL VIEJO ZUBICARAY
EDITORIAL LIMUSA - WILEY, S.A.

3. HANDBOOK OF HYDRAULICS.
FOR THE SOLUTION OF HYDRAULIC PROBLEMS
BY HORACE WILLIAMS KING
THIRD EDITION
SIXTH IMPRESSION
MC. GRAW - HILL BOOK COMPANY, INC.

4. HIDRAULICA
POR: B. NEKRASOV
TERCERA EDICION MODIFICADA
EDITORIAL MIR
MOSCU 1968

5. TURBOMQUINAS HIDRAULICAS
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES
POR: MANUEL POLO ENGINAS
EDITORIAL LIMUSA
MEXICO 1976

6. CATALOGO GENERAL DE FABRICANTE PARA
BOMBAS TURBINA VERTICAL MARCA JACUZZI.

7. CATALOGO GENERAL DE FABRICANTE PARA
BOMBAS TURBINA VERTICAL, PROPELA Y
FLUJO MIXTO MARCA JOHNSTON, ITT.

8. BOMBAS, SU SELECCION Y APLICACION
POR: G.T. HIKS
6a. IMPRESION
EDITORIAL CECOSA,
MEXICO, 1970.

9. BOMBAS CENTRIFUGAS
POR: I. J. KARASSIK Y R. CARTER
EDITORIAL CECSA
MEXICO, 1966.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

COMENTARIOS GENERALES SOBRE LAS
PARTES CONSTITUTIVAS DEL SISTEMA
ELECTRICO PARA EQUIPO DE BOMBEO
DE POZO PROFUNDO.

ING. JUAN SILVA ZAMUDIO

JUNIO, 1979

... ..

... ..

C O N T E N I D O

1.- DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELECTRICO PARA UN EQUIPO DE BOMBEO DE POZO PROFUNDO.

2.- TRANSFORMADOR.

- a) PRINCIPIO DE OPERACION.
- b) SECUENCIA DE OPERACION.
- c) ANALISIS DE LA OPERACION DE UN TRANSFORMADOR QUE ALIMENTA A UNA CARGA.
- d) RELACION DE VOLTAJES CON RESPECTO AL NUMERO DE VUELTAJES DE LOS DEVANADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO.
- e) CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES SEGUN LA CONSTRUCCION DEL NUCLEO.
- f) TEMPERATURA DE OPERACION.
- g) BUSHING Y TERMINALES.
- h) CAMBIADOR DE DERIVACIONES.
- i) REGULACION.

3.- MOTOR DE INDUCCION.

- a) PARTES CONSTITUTIVAS.
- b) CORRIENTES DEL MOTOR.
- c) VELOCIDAD Y PFR.
- d) ELEVACION DE TEMPERATURA Y CICLO DE TRABAJO.
- e) FACTOR DE SERVICIO.
- f) PROTECCION ELECTRICA DEL MOTOR.
- g) ESPECIFICACIONES PARA SELECCION DE MOTORES.

4.- ARRANCADORES AUTOMATICOS A VOLTAJE REDUCIDO.

- a) CARACTERISTICAS Y OPERACION.
- b) DIAGRAMA ELECTRICO.

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

- a) CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO Y SUS EFECTOS.
- b) CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO PARA UN EQUIPO DE COMBUSTIBLE DE POZO PROFUNDO.

5.- FUSIBLES.

- a) DEFINICION.
- b) NORMAS OFICIALES.
- c) CLASES DE FUSIBLES.
- d) CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PARA LA SELECCION DE FUSIBLES.

6.- APARTARRAYOS TIPO AUTOVALVULAS.

- a) GENERALIDADES.
- b) DESCRIPCION.
- c) ESTRUCTURA.
- d) FUNCIONAMIENTO.

7.- DISPOSICION Y REALIZACION DE ELECTRODOS DE LAS TOMAS DE TIERRA.

1.- DIAGRAMA UNIPILAR DEL SISTEMA ELECTRICO PARA UN EQUIPO DE BOMBEO
DE POZO PROFUNDO.

LINEA
A. T.

CUCHILLA
FUSIBLE

TRANSFORMADOR

APARTA-RAYOS

INTERRUPTOR
GENERAL

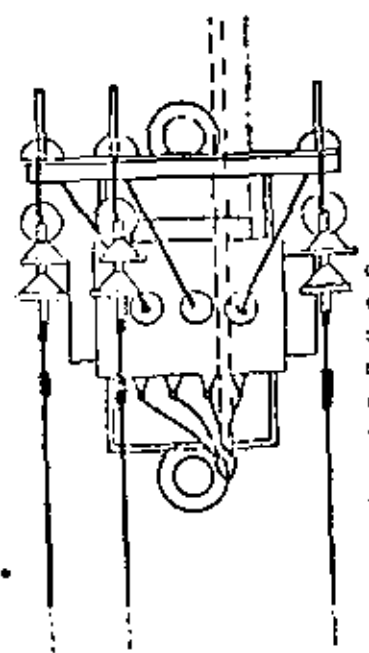
ARRANCADOR

TRANSFORMADOR
TIPO SECO
440/127 V.

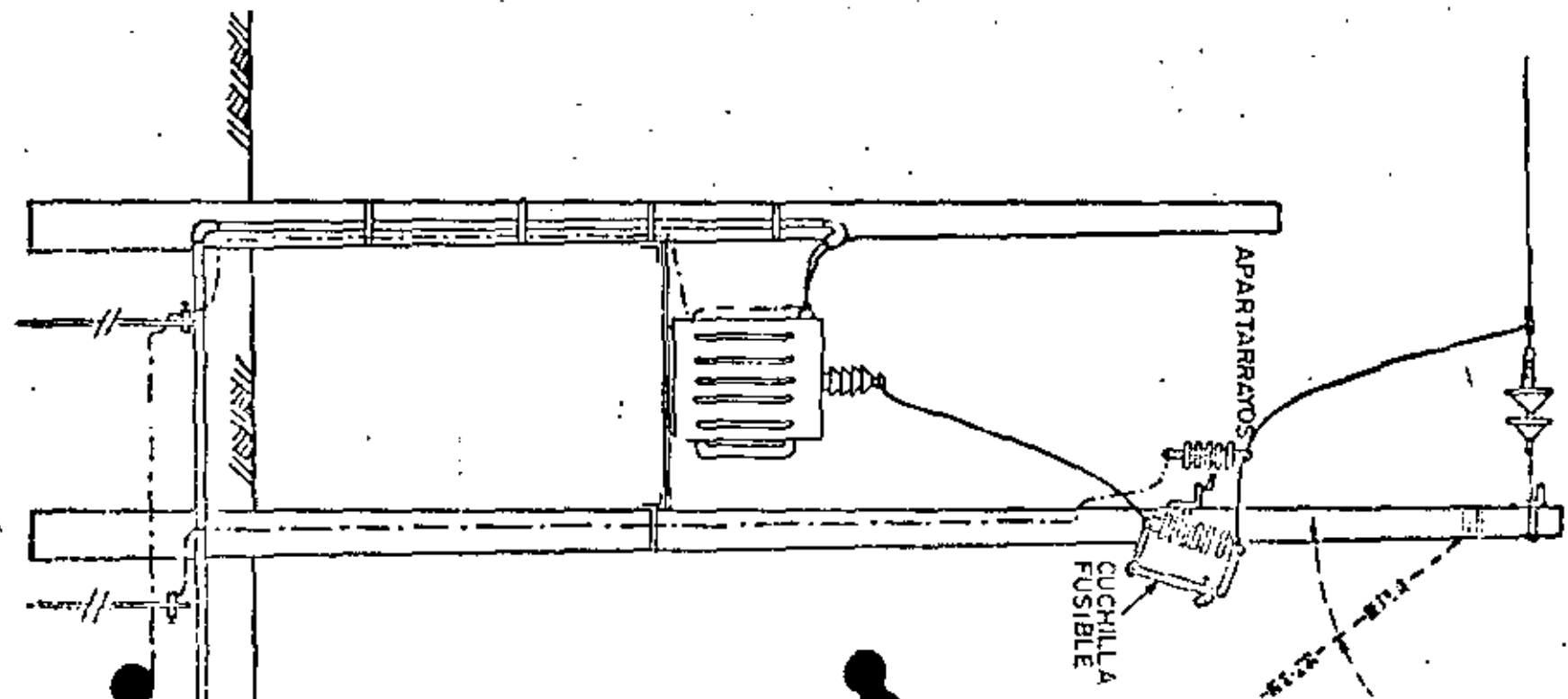
CENTRO
ALUMBRADO
002 F

M

DIAGRAMA UNIFILAR



SUBESTACION TIPO RURAL



2.- TRANSFORMADOR.

TRANSFORMADOR

Es un aparato eléctrico estático, empleado para transferir energía eléctrica de un circuito de corriente alterna a otro, sin cambiar de frecuencia. Esta transferencia generalmente va acompañada por un cambio de voltaje.

PRINCIPIO DE OPERACION DE LOS TRANSFORMADORES.

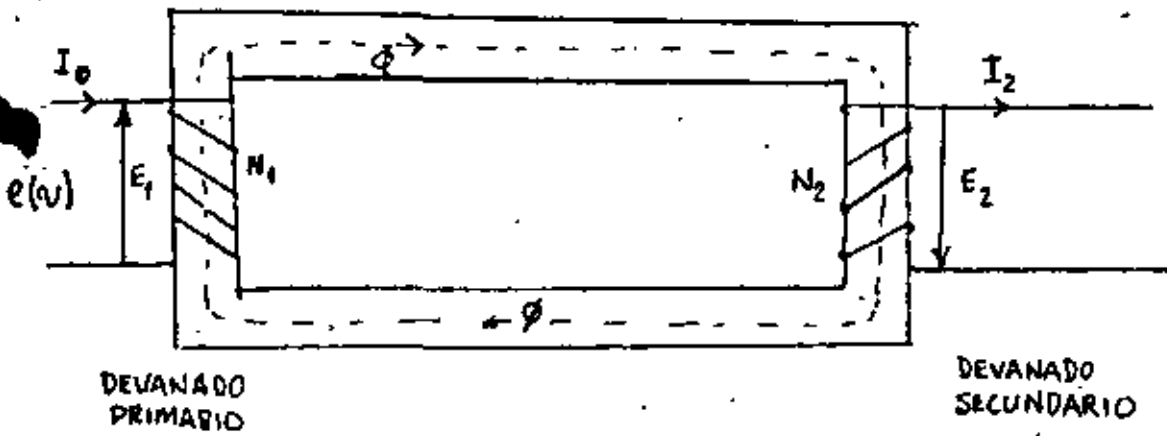
La parte esencial de un transformador, sin duda es el circuito electromagnético, el cual está formado por un núcleo cerrado de láminas de hierro y dos bobinas o grupos de bobinas, como se muestra en la figura 1.

Las bobinas o grupos de bobinas se clasifican en 2 grupos, que son:

- a) Bobinas del devanado primario.
- b) Bobinas del devanado secundario.

Las cuales pueden estar en piernas diferentes como se observa en la figura 1.

NOTA.- Se da el nombre de bobinas o devanado primario, al lado donde se alimenta el transformador, y de secundario donde está conectada la carga. Si el transformador recibe energía a un voltaje y la libera a otro mayor, se le llama transformador de subida, si la libera a otra menor se llama transformador de bajada; en caso de que el transformador reciba y libere energía a un mismo voltaje, se dice que se trata de un transformador de relación 1 a 1; este tipo de transformadores se emplea para aislar circuitos.



CIRCUITO ELECTROMAGNETICO DE UN TRANSFORMADOR FIG. 1.

- $e(\sim)$ Voltaje alterno aplicado en las terminales del devanado primario.
- I_0 Corriente de magnetización
- ϕ Campo magnético.
- E_1 Voltaje alterno inducido en el devanado primario (volts.)
- N_1 Número de vueltas del devanado primario.
- E_2 Voltaje alterno inducido entre las terminales del devanado secundario (volts.)
- N_2 Número de vueltas del devanado secundario.

SECUENCIA DE OPERACION.

Al aplicarse un voltaje $e(\sim)$, entre las terminales i y i' del devanado primario, empieza a circular por las vueltas de la bobina una corriente I_0 , ocasionando con ello la aparición de una f.m.m. - (fuerza magneto motriz = NI amperes-vuelta), que provoca una circulación de flujo magnético (ϕ), a través del núcleo de hierro; este flujo es abrazado por las bobinas primarias y secundaria. Por las características de la corriente alterna de alimentación, el flujo varía de (0), a máximo (+) a (0), al pasar el tiempo, induciendo con ello una f.e.m. en los devanados. Confirmando la ecuación de campos de Maxwell, que dice:

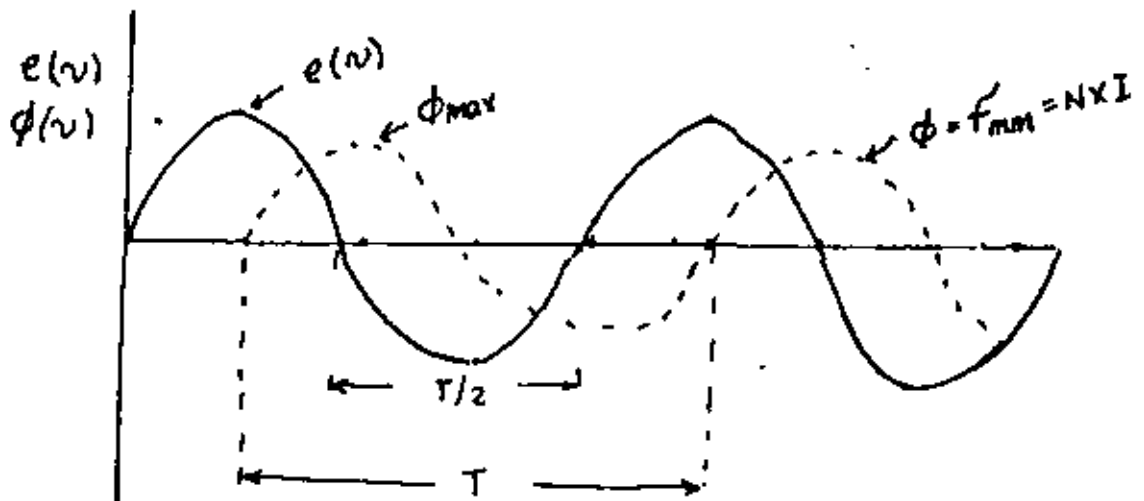
Un campo eléctrico, es inducido cuando en su vecindad un campo magnético está variando en el tiempo. Esta acuación tiene como antecedentes las leyes de Faraday y Lenz que a continuación se describen.

Ley de Faraday.- Establece que una f.e.m., es inducida en un circuito eléctrico, cuando el eslabonamiento de flujo magnético del circuito está variando con respecto al tiempo.

Ley de Lenz.- Establece que la dirección de la f.e.m. es tal que tiende a inducir una corriente que prevenga el cambio de la forma del fojo que la produce. Esta significa que la f.e.m. inducida, tiene un sentido inverso a la corriente que la produjo.

La magnitud de la f.e.m. inducida en c/u. de los devanados, puede deducirse de la forma siguiente:

Si analizamos en el devanado primario la relación entre la f.e.m. aplicada ($e(\nu)$) y el flujo magnético resultante $\phi \approx \phi_{mm} = I \times N$, tendremos gráficamente.



Relacionando las leyes Faraday - Lenz a ésto, se tiene que la f.e.m. inducida en una espira de cualquiera de los devanados

$$e_{1e} = - \frac{d \phi}{d t} \quad (1)$$

Por otro lado si analizamos los terminos de la ecuación, se observa que ϕ varia de $(0, \pm \phi \text{ máx}, 0)$ y vemos que ϕ es máxima en los puntos 1 y 2 de la gráfica, asimismo, que estos (2) máximos se alcanzan en un semi-ciclo ($1/2$ periodo = $T/2 = 1/2f$), sustituyendo estos valores en (1) se tiene:

$$e_{1e} = - \frac{d \phi}{d t} = - \frac{2 \phi_{\text{máx}}}{(T/2 = 1/2f)} = - 4f \phi_{\text{máx}} \quad (2)$$

Considerando que $e(\mathcal{N})$ de alimentación es senoidal y por tanto la F_{mm} y/o ϕ resultante también lo será, podemos afectar a la ecuación (2) del factor de forma: para este tipo de onda (factor forma onda senoidal = 1.11). por tener cualesquiera de los devanados un número (N) de espiras se determina que la f.e.m. inducida, tendrá un valor de:

$$\begin{aligned} e &= (e_{1e} = 4 f \phi \text{ máx}) \times 1.11 \times N \\ &= - 4.44 N f \phi \text{ máx} = - 4.44 N f A B_{\text{máx}} \quad (\text{volts.}) \end{aligned} \quad (3)$$

considerando estas ecuaciones en el sistema MKS

f Frecuencia de la fuente de alimentación (H_z)

$\phi_{\text{máx}}$ No. máximo de líneas de flujo magnético (webbers)

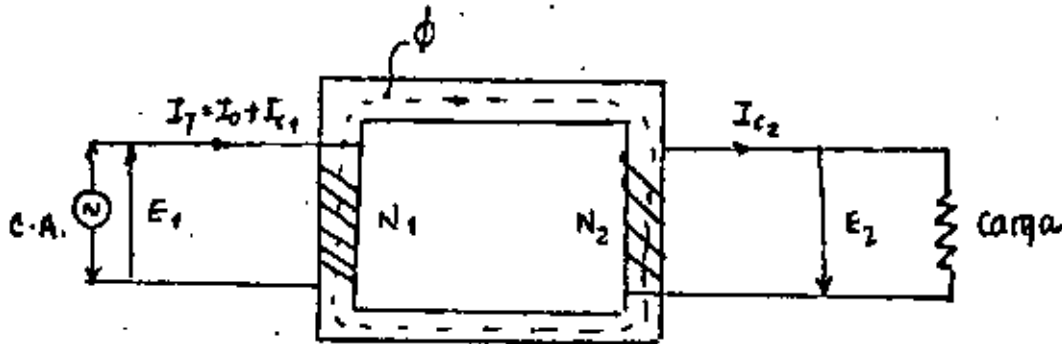
A Sección transversal del núcleo (m^2)

$B_{\text{máx}}$ Densidad de flujo magnético (webber/ m^2)

NOTA.- Como se observa el valor del voltaje inducido, depende directamente del número de vueltas de la bobina (a mayor número de vueltas- corresponderá mayor voltaje inducido), de la frecuencia de la - - fuente de alimentación y de la densidad de flujo del núcleo magnético.

ANÁLISIS DE LA OPERACION DE UN TRANSFORMADOR QUE ALIMENTA A UNA CARGA.

Si las terminales del primario de un transformador se conectan a una fuente de voltaje, y las terminales del secundario se conectan a una carga, tal como se muestra en la figura 2.



"Devanado primario alimentado por una fuente y devanado secundario alimentando una carga"

En estas condiciones una corriente (I_{c2}), empieza a circular del devanado secundario a la carga, a la vez el devanado primario, demanda más corriente de la fuente (I_{c1}). En este momento la corriente que circula por el devanado primario tiene un valor de ($I_1 = I_0 + I_{c1}$), asimismo, los voltajes en el primario y secundario mantienen su valor muy aproximadamente igual al que tienen cuando el transformador está sin carga.

NOTA.- El valor de I_0 , es aproximadamente igual al 1% de la corriente nominal del transformador.

A continuación se dan las relaciones de las características entre el primario y secundario del transformador.

RELACION DE VOLTAJES CON RESPECTO AL NUMERO DE VUELTAS DE LOS DEVANADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (4)$$

Voltaje primario en función del número de vueltas de los devanados y del voltaje secundario, será igual a:

$$E_1 = \frac{N_1 \times E_2}{N_2} \quad \text{Volts.} \quad (5)$$

Voltaje secundario (inducido), en función del número de vueltas de los devanados y del voltaje primario, será igual a:

$$E_2 = \frac{N_2 \times E_1}{N_1} \quad \text{Volts.} \quad (6)$$

RELACION DE CORRIENTES CON RESPECTO AL NUMERO DE VUELTAS DE LOS DEVANADOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS.

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (7)$$

Corriente que circula en el devanado primario en función del número de vueltas de los devanados y de la corriente circulante en el devanado secundario.

$$I_1 = \frac{N_2 \times I_2}{N_1} \quad \text{Ampers} \quad (8)$$

Corriente que circula en el devanado secundario en función del número de vueltas de los devanados y de la corriente circulante en el devanado primario.

CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES.

Los transformadores se clasifican en tipo Acorazado y tipo Núcleo:

TRANSFORMADOR TIPO ACORAZADO.

Estos transformadores están contruidos en forma compacta, de tal modo, que los embobinados estan envueltos por la laminación; las bobinas son en forma de paquetes planos con el fin de reducir tanto dimensiones como peso. El tanque es ajustado a la estructura soporte de laminación y devanados para lograr que estos transformadores puedan sopor tar los esfuerzos mecánicos ocasionados por corto circuitos externos.

TRANSFORMADORES TIPO NUCLEO.

Estos transformadores están contruidos por bobinas - dispuestas concentricamente, alojadas en las piernas del núcleo, es decir, las bobinas envuelven al núcleo, siendo el caso contrario al tipo acorazado; asimismo, los transformadores de este tipo son generalmente más voluminosos.

NUCLEO DE TRANSFORMADOR.

En la construcción de núcleos, se emplea en su mayoría láminas de acero con 4% de silicio, este tipo de láminas se emplea por -- las ventajas que presenta en lo referente a costo, facilidad de manipulación, pérdidas pequeñas por histeresis y por corrientes circulantes y gran permeabilidad a inducciones magnéticas relativamente altas.

Generalmente los transformadores en alta tensión y para potencias, son de tipo Núcleo. En éstos, la sección recta del núcleo suele ser cuadrada o rectangular en los transformadores pequeños, pero en los grandes se aprovecha más eficazmente la abertura circular de las bobinas - agrupando las láminas en capas de anchura variable, formando así un núcleo circular escalonado.

TEMPERATURA DE OPERACION DE LOS TRANSFORMADORES.

La buena operación y vida activa (disponibilidad) de cualquier equipo eléctrico, está en función de la relación que existe entre la temperatura de diseño del equipo y la temperatura a la cual operará normalmente; siendo esta última resultante de la temperatura del medio ambiente más la que se genera en el interior del transformador durante su funcionamiento.

Para seleccionar adecuadamente la temperatura y operación (incremento nominal de temperatura permisible), debe conocerse y considerarse lo siguiente:

a) INCREMENTO DE TEMPERATURA PERMISIBLE (TEMPERATURE RISE).

Es la temperatura máxima de operación normal permisible por el tipo de aislamiento y está dada por la temperatura generada en el interior del transformador y que por lo tanto excede a la del medio ambiente. Este incremento permisible va de 55° a 150°c. sobre la temperatura ambiente dependiendo de la clase de aislamiento y la altura de operación del equipo.

El medio ambiente y la sobrecarga de los transformadores provoca un aumento de temperatura; ésto provoca sobrecalentamiento — que ocasiona un envejecimiento prematuro y acentuado del aislamiento que puede repercutir en una falla completa de los devanados del transformador.

b) CLASE DE AISLAMIENTO.

Es el termino usado en las normas NEMA y ASA para especificar la temperatura de operación de los tipos de aislamiento. Estos — están designados por letras y así tenemos:

Clase A incremento de temperatura 55°c sobre el ambiente, B - 80°c, F - - 115°c y H - 150°c. Los aislamientos modernos pueden operarse con seguridad con un incremento hasta en 20°c sobre los valores mencionados.

c) CORRECCION DE INCREMENTO DE TEMPERATURA PERMISIBLE AL VARIAR LA ALTURA DE OPERACION.

- a) Cuando se hace una prueba a una elevación sobre el nivel del mar — que no excede de 1,000 metros (3,300 pies), no debe hacerse ninguna corrección a la temperatura por la variación de altitud.
- b) Para aparatos standard enfriados por aire, probados a alturas sobre el nivel del mar mayores de 1,000 metros, deben hacerse las siguientes correcciones por cada 100 metros (330 pies) arriba de los 1,000:
- | | |
|---|------|
| Transformadores autoenfriados en aceite..... | 0.4% |
| Transformadores tipo seco | 0.5% |
| Transformadores en aceite, ventilación forzada..... | 0.6% |
| Transformadores con ventiladores | 1.0% |

BUSHING Y TERMINALES.

Las terminales de conexión de los transformadores son generalmente de los tipos:

Zapatas terminales con conector.

Boquillas terminales con conector.

Las zapatas terminales, con del tipo de plaza y se emplean como terminales de conexión para Baja tensión menor a 600 volts.

De las conexiones de las bobinas, esta terminal remata en una zapata, la que se une al conector que va en la parte superior de la boquilla.

En las boquillas de A.T., el hueco contiene además de la terminal de conexiones, una mánina muy fina enrollada en torno a la terminal, con ésto se tiene un condensador, lo que da lugar a un campo magnético uniforme dentro de la boquilla. Reduciendo con ello los esfuerzos por el mismo concepto.

Existen también boquillas que en su interior llevan al macenado un transformador de corriente de diseño especial que se utiliza para la protección.

CAMBIADOR DE DERIVACIONES (TAPS)

NOTAS:

El cambiador de derivaciones se emplea para suprimir o aumentar el número de vueltas o de bobinas de un devanado, con lo que se obtiene un nivel más o menos estable de la tensión requerida.

Los derivadores son generalmente colocados en el devanado de alta tensión, por ser este el devanado exterior y consecuentemente la conexión de derivadores puede hacerse fácilmente y sin dificultad por cuanto al aislamiento. Del mismo modo, como el devanado de alto voltaje tiene un gran número de vueltas el derivador puede ajustar estas para tener una mejor regulación en el voltaje.

Los derivadores en el lado de baja tensión no se recomienda, pues los conductores de los devanados son de mayor sección, llevando por ello una corriente considerable, que podría ocasionar arcos durante el cambio.

La posición física de los derivadores en el devanado de alta tensión, está determinada por consideración de voltaje, ampere-vuelta, balanceo en cada posición del derivador y variación de la impedancia sobre el rango del cambiador.

Previendo lo anterior se acostumbra conectar los contactos de los derivadores en el centro de devanados divididos.

LOS CAMBIADORES DE DERIVACIONES SE CLASIFICAN EN 2 GRUPOS QUE SON:

- Cambiador de derivaciones sin carga.
- Cambiador de derivaciones con carga.

Los cambiadores de derivaciones sin carga.

Son aquellos diseñados para ajustar la relación del transformador, en forma poco frecuente, cuando el transformador puede desconectarse de la línea. Este ajuste generalmente es manual y se hace para adaptar el transformador al voltaje promedio existente en la localidad del transformador.

CAMBIADOR DE DERIVADORES CON CARGA.

Estos cambiadores se diseñan para trabajar bajo carga; puesto que debe alimentar continuamente la carga aún en el período cuando el derivador está cambiando. Por este hecho cada dos derivadores deben estar puenteadas en el mismo camino durante el cambio del derivador. Para prevenir el excesivo flujo de corriente entre derivadores.

REGULACION.

La regulación de un transformador de tensión constante es la variación de la tensión en el secundario, expresada en tanto por ciento de la tensión nominal del mismo, que se produce cuando con determinado factor de potencia se anula la potencia útil en Kva, manteniéndose constante la tensión aplicada al primario.

Así, si la tensión en vacío en los terminales del secundario es V'_2 voltios, la regulación es:

$$\frac{V'_2 - V_2}{V_2} 100, \text{ por ciento}$$

Si la relación de transformación es la unidad, la regulación es, con mucha aproximación.

$$\frac{V_1 - V_2}{V_2} 100, \text{ por ciento}$$

Conociendo la resistencia y la reactancia equivalentes del transformador es posible determinar la regulación. La tensión del secundario en vacío es $V_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$, ya que la caída por impedancia en vacío es despreciable. Luego, con corriente en retraso de fase:

$$V_2 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = \sqrt{V_2 \cos \theta_2 + I_2 R_{02}}^2 + (V_2 \sin \theta_2 + I_2 X_{02})^2$$

y la regulación es:

$$\frac{V_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) - V_2}{V_2} 100, \text{ por ciento}$$

EL MOTOR DE INDUCCION

El motor de inducción recibe este nombre debido a que induce en el rotor un campo de fuerza electromotriz.

Este motor se caracteriza por su construcción sencilla y su funcionamiento seguro.

El motor de inducción se divide en dos tipos: de polos y de polos salientes.

MOTOR DE INDUCCION

Este motor se caracteriza por su construcción sencilla y su funcionamiento seguro.

El motor de inducción se divide en dos tipos: de polos y de polos salientes.

Este motor se caracteriza por su construcción sencilla y su funcionamiento seguro.

EL MOTOR DE INDUCCION

Este motor se caracteriza por su construcción sencilla y su funcionamiento seguro.

El motor de inducción se divide en dos tipos: de polos y de polos salientes.

Este motor se caracteriza por su construcción sencilla y su funcionamiento seguro.

EL MOTOR DE INDUCCION

El motor de inducción recibe este nombre debido a que igual que el transformador opera bajo el principio de inducción electromagnética.

Debido a que este tipo de motores no llega a trabajar nunca a su velocidad síncrona, también se conocen como MOTORES ASINCRONOS.

Elementos que constituyen un motor de inducción.

Un motor de inducción está constituido fundamentalmente por los siguientes elementos:

- 1.- Estator.
- 2.- Rotor.
- 3.- Carcaza.
- 4.- Auxiliares: tapas anterior y posterior, chumaceras de sujeción, caja de conexiones, base o soporte.

1.- ESTATOR.

El estator de los motores de inducción está formado por paquetes de láminas de acero al silicio troquelados.

El estator representa una de las partes del circuito magnético del motor. El contenido de silicio, que al igual que en los núcleos de transformadores depende de las densidades de flujo usuales, está constituido por paquetes de lámina troquelada en forma de ranuras con objeto de que el bobinado del estator pueda alojarse en dichas ranuras. Desde luego la forma de las ranuras varía de acuerdo con el tamaño o tipo del motor.

En las ranuras del estator se alojan las bobinas del estator, que puede considerarse en forma análoga al transformador como el circuito primario.

2.- ROTOR.

Recibe este nombre debido a que precisamente tiene la forma de una jaula de ardilla. Aquí el bobinado está constituido por barras que se vacían sobre el rotor destinado para este fin; las barras, por lo general, son de aluminio y al fundirse en el rotor debido a la forma que se les da, quedan unidas entre sí en corto circuito en la forma de una jaula de ardilla.

3.- CARCAZA O SOPORTE.

La carcaza recibe también el nombre de soporte por ser el elemento que contiene el estator y los elementos auxiliares del motor.

4.- AUXILIARES.

Al aplicar una tensión en las terminales del estator se produce una fuerza magnetomotriz uniforme y giratoria. Si suponemos, por ejemplo, que el rotor es del tipo jaula de ardilla, en cada barra se induce una fuerza magnetomotriz de sentido opuesto; ésta hace circular una corriente y se produce un par que hace girar el rotor.

Si se estudia el motor de inducción en forma semejante al transformador, se puede considerar el devanado del estator como el circuito primario y el del rotor como el secundario.

S -

CONTROLADOR PARA MOTORES

Un controlador cubrirá algunas o todas de las siguientes funciones: arranque, paro, protección de sobrecarga, protección de sobrecorriente, movimientos reversibles, cambios de velocidad, pulsiones, inversión rápida, control de secuencia, indicador de lámpara piloto. El controlador puede también servir de control para un equipo auxiliar, como por ejemplo; frenos, embragues, solenoides, calentadores y señales. Un controlador puede ser usado para control de un motor o grupo de motores.

ARRANCADOR

Los términos de "arrancador" y "controlador" significan prácticamente la misma cosa. Estrictamente hablando, un arrancador es la forma más simple de un controlador y es capaz de arrancar y parar el motor y darle protección de sobrecarga.

MOTOR JAULA DE ARDILLA DE C.A.

El "caballo de carga" de la industria en general, es el motor jaula de ardilla de C. A. De los miles de motores usados hoy en aplicaciones generales, la mayoría son del tipo jaula de ardilla. Estos motores son simples en su construcción y operación únicamente se conectan tres líneas de fuerza al motor y este operará.

El motor jaula de ardilla lleva este nombre debido a su construcción del rotor, que hace recordar una jaula de ardilla, sin tener devanado de alambre.

CORRIENTE DE CARGA PLENA (CCP)

Es la corriente requerida para producir un par de carga plena a una velocidad nominal.

CORRIENTE DE ROTOR BLOQUEADO

Se denomina así a la corriente que demanda el motor de la línea de alimentación, cuando su rotor es frenado hasta llevarlo al punto de reposo.

Si se requirieran 90 lbs-pie para mover una carga en particular, el motor arriba mencionado sufriría una sobrecarga y demandaría mayor corriente que la corriente de carga plena.

TEMPERATURA AMBIENTE

La temperatura del aire donde se encuentra una pieza del equipo se llama temperatura ambiente. La mayoría de los controladores son del tipo-encerrado y la temperatura corresponde a la del aire exterior y no al del interior del equipo encerrado. Esto es, si se dice que un motor debe estar a una temperatura ambiental de 30°C (86°F), ésta corresponde al aire de afuera del motor, no al de adentro. Según los estándares de NEMA, tanto los controladores como los motores, están sujetos a un límite de temperatura ambiente de 40°C (104°F).

ELEVACION DE TEMPERATURA

La corriente que pasa por el devanado de un motor, resulta en un incremento de la temperatura del motor. A la diferencia entre la temperatura del devanado del motor en operación y a la temperatura ambiente, se le llama elevación de temperatura.

La elevación de temperatura producida a plena carga no resulta perjudicial al motor, siempre y cuando la temperatura ambiental no exceda de los 40°C (104°F).

Una temperatura más alta, motivada por incrementos de corriente o temperatura ambiental mayor, pueden producir efecto de deterioro en los materiales aislantes y en la lubricación del motor. Una vieja "regla del pulgar" dice que por cada incremento de 10° en la temperatura nominal, la vida del motor se acorta a la mitad.

CICLO DE TRABAJO

La mayoría de los motores tienen un rango de trabajo continuo que permite una operación indefinida con cargas nominales.

Los rangos de trabajo intermitente se basan en un tiempo de operación fijo (5, 15, 30, 60 minutos), después del cual debe permitirse que el motor se enfríe.

FACTOR DE SERVICIO DEL MOTOR

Si el fabricante ha dado al motor un factor de servicio, quiere decir que se le puede permitir desarrollar más de los HP. de placa, sin causar un deterioro indebido al material aislante. El factor de servicio es un margen de seguridad. Si, por ejemplo, un motor de 10 HP. tiene un factor de servicio de 1.15 se le puede permitir al motor desarrollar 11.5 HP. El factor de servicio depende del diseño del motor.

PULSION (JOGGING)

Esta acción describe arranque y paro repetidos de un motor, a intervalos frecuentes por períodos de tiempos cortos. Un motor podría ser sometido a estas condiciones de trabajo cuando una pieza de carga movida debe ser colocada en una posición adecuada de acercamiento; por ejemplo, cuando se pone en posición la mesa o banco de una cilindreadora o rectificadora horizontal durante su colocación. Si este movimiento debe ocurrir más de 5 veces por minuto, los estándares NEMA requieren que el arrancador sea reclasificado, disminuyendo los valores de sus características eléctricas nominales.

Un arrancador, tamaño NEMA1, tiene un rango normal de trabajo de $7\frac{1}{2}$ - HP. a 220 V, polifásico. En aplicaciones de movimiento pulsatorio, este mismo arrancador tiene una capacidad máxima de 3 HP.

PARO DEL MOTOR POR INVERSION DEL PAR ELECTRICO (PLUGGING)

Cuando un motor está operando en una dirección y momentáneamente se reconecta para invertir la dirección de rotación, el motor rápidamente cesa su marcha. Si un motor se opera sí más de 5 veces por minuto,

será necesario reclasificar el controlador, debido al calentamiento de los contactos.

El cambio de par puede hacerse si la máquina movida y su carga no se vieran dañadas por la inversión del par del motor.

PROTECCION DEL MOTOR . .

Los motores pueden ser dañados o reducida su vida efectiva, cuando se encuentran sometidos a una corriente constante, ligeramente más alta que su corriente de carga plena o su factor de servicio.

N O T A : Los motores están diseñados para soportar corrientes transitorias de arranque o de rotor bloqueado sin -- elevación excesiva de temperatura, tomando en cuenta que el tiempo de aceleración no sea demasiado largo ni el ciclo de trabajo demasiado frecuente.

Daño al material aislante y devánado del motor, pueden también ocurrir con corrientes extremadamente elevadas pero de corta duración, como se encuentran en "tierra" y en "cortos circuitos".

Toda corriente en exceso de la Corriente de carga plena, puede ser -- clasificada como sobrecorriente. Sin embargo, en general, debe hacerse una distinción basada en la magnitud de la sobrecorriente y en el equi po que va a protegerse.

Una sobrecorriente no mayor que la corriente de Rotor Bloqueado, generalmente es el resultado de una sobrecarga mecánica en el motor. La -- protección contra este tipo de sobrecorriente queda cubierta en el -- Art. 430 (parte C) de la Codificación Eléctrica, titulado "PROTECCION AL MOTOR POR SOBRECORRIENTE (SOBRECARGA) DURANTE LA MARCHA ".

En este manual, esta designación será acortada a decir "PROTECCION DE SOBRECARGA" y será definida la protección contra sobrecorriente que no exceda la corriente de Rotor bloqueado.

La sobrecorriente originada por corto circuito o tierra, es mucho más elevada que las corrientes de rotor bloqueado. En el equipo utilizado para proteger contra cualquier daño debido a este tipo de sobrecorriente, debe de protegerse no sólo el motor, sino también los conductores del circuito y el controlador del motor. Las estipulaciones para el equipo de protección se encuentran especificadas en el Art. 430 en la parte D titulada "PROTECCION AL MOTOR POR CORTO CIRCUITO Y FALLAS POR TIERRA". En este manual este título lo designamos simplemente como "PROTECCION POR SOBRECORRIENTE", cubriendo la protección contra altas sobrecorrientes, tales como las de corto circuito o tierra.

La protección del motor por sobrecarga difiere de la protección por sobrecorriente y cada una de estas protecciones serán cubiertas en forma separada en los párrafos subsiguientes.

PROTECCION POR SOBRECORRIENTE

La función del dispositivo protector de la sobrecorriente, es la de proteger a los conductores y circuitos derivados del motor, los aparatos de control y al motor mismo, de los cortos circuitos y tierras. Los dispositivos protectores comunmente usados para sensar y librar las sobrecorrientes, son los interruptores termomagnéticos y los fusibles. El dispositivo para protección de corto circuito podrá llevar la corriente inicial del motor, pero este dispositivo no llevará calibración que exceda del 250% de la corriente a plena carga cuando no haya una letra o clabe de rotor bloqueado del motor, ó de 150 a 250% de la corriente a plena carga, dependiendo de la letra clave que lleve el motor. Cuando no tenga capacidad suficiente para llevar la corriente de arranque del motor; puede aumentarse su calibración, pero en ningún caso se excederá del 400% de la corriente de carga plena del motor.

La reglamentación eléctrica requiere (con pocas excepciones) un medio para desconectar el motor y el controlador de la línea, en adición de un dispositivo protector de la sobrecorriente. El interruptor termomagnético ilustrado puede desconectar con una sola unidad. Cuando la sobrecorriente tiene como protección los fusibles, se requiere un desconectador,

éste y los fusibles se combinan generalmente.

SOBRECARGAS

Un motor como máquina siempre llevará cualquier carga, aún si ésta es excesiva. Excluyendo la corriente de arranque o la de rotor bloqueado, un motor demanda una corriente cuando está en operación y que es proporcional a la carga, la cual va desde la corriente sin carga, hasta la corriente a plena carga cuyo valor se encuentra estampado en la placa del motor. Cuando la carga excede el par normal del motor, - - este demandada una corriente más elevada que la corriente a plena carga y esta condición se considera como una sobrecarga. La sobrecarga máxima existe bajo las condiciones del Rotor bloqueado, en las cuales la carga es tan excesiva que el motor se para o no se puede arrancar y como consecuencia, demanda la corriente de rotor bloqueado.

La sobrecarga pueden ser eléctricas o mecánicas en su origen. Trabajar un motor polifásico con una fase o línea con bajo voltaje, puede ser ejemplo de sobrecargas eléctricas.

PROTECCION DE SOBRECARGAS

El efecto de una sobrecarga es una elevación de temperatura en el devanado del motor. Mientras mayor sea la sobrecarga, más rápidamente se incrementará la temperatura a un punto tal que daña los aislantes y la lubricación del motor. Una relación inversa, por lo tanto, existe entre corriente y tiempo. Mientras mayor sea la corriente, más corto será el tiempo en el que el motor se dañe, o queme.

Todas las sobrecargas acortan la vida del motor por deterioro del material aislante. Relativamente, las pequeñas sobrecargas de corta duración causan daño en pequeño grado, pero si se sostienen, harían tanto daño como las sobrecargas de magnitud más grandes.

PROTECCION DE SOBRECARGA - FUSIBLES

Los fusibles no están diseñados para proporcionar protección de sobrecargas. Su función básica es proteger contra los cortos circuitos - - (sobrecorrientes). Los motores demandan una corriente alta de arranque (generalmente 6 veces la corriente de carga plena) al arrancar.

Así, un fusible seleccionado sobre la base de motor con corriente de carga plena, se fundiría cada vez que el motor se pusiera en marcha.

Por otra parte, si un fusible fuese escogido lo suficientemente grande para poder conducir la corriente de arranque, no protegería al motor contra las pequeñas sobrecargas perjudiciales que podrían ocurrir posteriormente.

Los fusibles de doble elemento o retardadores de tiempo, pueden dar una protección de motor por sobrecarga, pero tienen la desventaja de que al fundirse, es necesario reemplazarlos.

PROTECCION DE SOBRECARGA RELEVADORES DE SOBRECARGA

El relevador de sobrecarga es el corazón de la protección del motor. Como el fusible de doble elemento, un relevador de sobrecarga tiene características de tiempo inverso en el disparo o apertura, permitiendo mantener la conducción durante el período de aceleración (cuando se demanda la corriente de arranque), pero dando protección en las pequeñas sobrecargas de la CCP cuando el motor está operando. Contrariamente al fusible, el relevador de sobrecarga no provee protección de corto circuito. Esta es una función de un equipo protector de sobrecorrientes, como son los fusibles e interruptores termomagnéticos.

El Relevador de Sobrecarga.

Consiste en una unidad sensible a la corriente, conectada en la línea del motor, más un mecanismo que actúa por medio de la unidad, que sirve para directa o indirectamente interrumpir el circuito. En un arrancador manual una sobrecarga dispara a una especie de aldaba mecánica que causa que el arrancador abra sus contactos y desconecte el motor de la línea. En los arrancadores magnéticos una sobrecarga abra un juego de contactos que se encuentran en el mismo relevador de sobrecarga. Estos contactos son alambrados en serie con la bobina del arrancador en el circuito de control del arrancador magnético. Al abrirse el circuito de la bobina hace que los contactos del arrancador se abran desconectando así el motor de la línea.

Los Relevadores de Sobrecarga

Pueden ser clasificados en térmicos y magnéticos, los relevadores de sobrecarga magnéticos reaccionan únicamente a los excesos de corriente y

no son afectados por la temperatura. Como su nombre lo indica, en los relevadores de sobrecarga térmicos la operación depende de la elevación de temperatura causada por la corriente de sobrecarga, la cual hace operar el mecanismo de disparo. Los relevadores térmicos de sobrecarga - - pueden ser subdivididos en los tipos de aleación fusible y bimetálicos.

ESPECIFICACIONES PARA SELECCION DE MOTORES

TABLA Nº 4

C. de F.	VELOCIDAD R.P.M. SIN CARGA	TIPO	ARMAZON BASE STD	DIAM. BASE STD		ARMAZON BASE ALTERNATIVA	DIAM. BASE ALTERNATIVA		D A F O R	
				CMR.	PLGS		CMR.	PLGS	EMPUJE AXIAL EN HGS	PESO APROX EN KG
1	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				136	68
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				217	72
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				299	72
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				417	72
1 1/2	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				172	70
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				267	72
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				362	72
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				508	72
2	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				204	72
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				312	72
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				435	72
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				580	72
3	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				258	72
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				394	72
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				544	72
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				635	105
5	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				340	72
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				563	76
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				707	76
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				725	120
7 1/2	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				435	88
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				635	89
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				570	122
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				816	122
10	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				478	90
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				721	90
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				1,035	122
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				993	410
15	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				589	124
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				907	124
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				1,270	224
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				1,080	440
20	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				650	128
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				1,088	128
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				1,487	304
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				1,270	440
25	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				748	128
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				1,129	128
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				1,569	304
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				1,406	440
30	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				816	220
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				1,315	180
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				1,850	440
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				1,587	600
40	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				907	304
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				1,342	304
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				2,177	440
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				1,995	630
50	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	314
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				1,723	314
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				2,421	600
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				1,995	600
60	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	440
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				1,950	440
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				2,685	600
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				2,494	997
75	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	440
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				2,177	440
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				3,048	600
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				2,494	997
100	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	600
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				2,494	600
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				3,547	997
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				2,721	997
125	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	600
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				2,494	600
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				4,173	997
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				2,721	997
150	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	600
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				2,494	600
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				4,173	997
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				2,721	997
200	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	600
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				2,494	600
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				4,173	997
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				2,721	997
250	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	600
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				2,494	600
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				4,173	997
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				2,721	997
300	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				1,360	600
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				2,494	600

CARACTERISTICAS DE OPERACION

VOLTAJE	APM 315 HASTA A445UP		APM 1645 Y 1507	
	220/240	440 V ₃	440 V ₃	440 V ₃
FACTOR DE SERVICIO	1.0		1.0	
A 50 CICLOS	1.15		1.15	
A 60 CICLOS	1.15		1.15	
AISLAMIENTO CLASE	B		F	
TEMPERATURA MAXIMA DE TRABAJO EN 1/2 CC/445 EN 50 Y 60 CICLOS	130°		135°	
TEMPERATURA AMBIENTE	40° C		40° C	
A 1605 MESH	23° C		23° C	
A 2105 MESH	23° C		23° C	

no son afectados por la temperatura. Como su nombre lo indica, en los relevadores de sobrecarga térmicos la operación depende de la elevación de temperatura causada por la corriente de sobrecarga, la cual hace operar el mecanismo de disparo. Los relevadores térmicos de sobrecarga - - pueden ser subdivididos en los tipos de aleación fusible y bimetálicos.

ESPECIFICACIONES PARA SELECCION DE MOTORES

TABLA Nº 4

C. de F	VELOCIDAD R.P.M. SIN CARGA	TIPO	ARMAZON BASE STD	DIAM. BASE STD		ARMAZON BASE ALTERNATIVA	DIAM. BASE ALTERNATIVA		C.A.T.O.R.	
				CMH.	PLGS.		CMH.	PLGS.	EMPUJE AERIAL EN KG.	PESO APROX. EN KG.
1	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				136	68
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				217	72
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				298	72
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				417	72
1 1/2	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				172	70
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				267	72
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				362	72
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				508	72
2	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				204	72
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				312	72
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				435	72
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				580	72
3	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				258	72
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				394	72
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				544	72
	750/ 900	HU	215TP	25 400	10				635	103
5	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				340	72
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				563	74
	1000/1200	HU	215TP	25 400	10				707	74
	750/ 900	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	725	120
7 1/2	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				435	86
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				635	87
	1000/1200	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	870	122
	750/ 900	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	816	122
10	3000/3600	HU	215TP	25 400	10				498	90
	1500/1800	HU	215TP	25 400	10				771	90
	1000/1200	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	1,035	122
	750/ 900	RU	A405UP	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	997	410
15	3000/3600	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	589	124
	1500/1800	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	907	124
	1000/1200	RU	A365UP	41 910	16 1/2	A365UPH	50 480	20	1,270	224
	750/ 900	RU	A405UPY	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	1,080	440
20	3000/3600	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	680	128
	1500/1800	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	1,058	128
	1000/1200	RU	A365UP	41 910	16 1/2	A365UPH	50 480	20	1,487	304
	750/ 900	RU	A405UP	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	1,270	440
25	3000/3600	RU	256TP	30 480	12	256TPH	41 910	16 1/2	748	128
	1500/1800	RU	A284TP	30 480	12	A284TPH	41 910	16 1/2	1,128	128
	1000/1200	RU	A365UP	41 910	16 1/2	A365UPH	50 480	20	1,669	304
	750/ 900	RU	A405UP	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	1,404	440
30	3000/3600	RU	326UP	41 910	16 1/2	326UPH	50 480	20	816	230
	1500/1800	RU	A284TP	30 480	12	A284TPH	41 910	16 1/2	1,315	160
	1000/1200	RU	A405UP	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	1,850	440
	750/ 900	RU	A445UP	50 800	20	A445UPH	41 910	16 1/2	1,587	600
40	3000/3600	RU	326UP	41 910	16 1/2	326UPH	50 480	20	907	304
	1500/1800	RU	A365UP	41 910	16 1/2	A365UPH	50 480	20	1,347	304
	1000/1200	RU	A405UP	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	2,177	440
	750/ 900	RU	A445UP	50 800	20	A445UPH	41 910	16 1/2	1,995	630
50	3000/3600	RU	A365UP	41 910	16 1/2	A365UPH	50 480	20	1,360	314
	1500/1800	RU	A365UP	41 910	16 1/2	A365UPH	50 480	20	1,723	314
	1000/1200	RU	A445UP	50 800	20	A445UPH	41 910	16 1/2	2,431	600
	750/ 900	RU	A445UP	50 800	20	A445UPH	41 910	16 1/2	1,995	600
60	3000/3600	RU	365UP	41 910	16 1/2	365UPH	50 800	20	1,360	440
	1500/1800	RU	A405UP	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	1,990	440
	1000/1200	RU	A445UP	50 800	20	A445UPH	41 910	16 1/2	2,685	600
	750/ 900	HU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	2,494	997
75	3000/3600	RU	A405UP	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	1,740	440
	1500/1800	RU	A405UP	41 910	16 1/2	A405UPH	50 800	20	2,177	440
	1000/1200	RU	A445UP	50 800	20	A445UPH	41 910	16 1/2	3,048	600
	750/ 900	RU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	2,494	997
100	3000/3600	RU	405UP	50 800	20	405UPH	41 910	16 1/2	1,560	600
	1500/1800	RU	A445UP	50 800	20	A445UPH	41 910	16 1/2	2,494	600
	1000/1200	HU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	3,347	997
	750/ 900	HU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	2,721	997
125	3000/3600	RU	405UP	50 800	20	405UPH	41 910	16 1/2	1,560	600
	1500/1800	RU	A445UP	50 800	20	A445UPH	41 910	16 1/2	2,494	600
	1000/1200	HU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	4,173	997
	750/ 900	HU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	2,721	997
150	1500/1800	RU	1445P	50 800	20	1445PH	41 910	16 1/2	3,192	600
	1000/1200	HU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	4,173	997
	750/ 900	HU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	2,721	997
	1500/1800	HU	1505P	62 230	24 1/2	1505PH	50 800	20	3,628	908
200	1500/1800	HU	A150SP	62 230	24 1/2	A150SPH	50 800	20	4,173	997
	1000/1200	HU	A1507P	62 230	24 1/2	A1507PH	50 800	20	2,721	997
	1500/1800	HU	1505P	62 230	24 1/2	1505PH	50 800	20	3,628	975
	1000/1200	HU	A1507P	62 230	24 1/2	A1507PH	50 800	20	4,173	977
300	1800 (*)	HU	1505P	62 230	24 1/2	1505PH	50 800	20	3,628	986

CARACTERISTICAS DE OPERACION

VOLTAJE	AFM 215 HALLA A405UP		AFM 1445 Y 1507	
	270/440		440 Vp	
FACTOR DE SERVICIO	1.0		1.0 B	
A. 30 CICLOS	1.15		1.0 B	
A. 40 CICLOS				
AISLAMIENTO CLASE	B		B	
TEMPERATURA MAXIMA DE TRABAJO EN EL COBRE EN 50 y 60 CICLOS	130°		135°	
TEMPERATURA AMBIENTE	40° C		40° C	
A 1025 MSHM	31° C		30° C	
A 7392 MSHM				

4.- ARRANCADORES AUTOMATICOS A VOLTAJE REDUCIDO.

ARRANCADORES AUTOMÁTICOS A VOLTAJE REDUCIDO

Los arrancadores automáticos a voltaje reducido tipo auto transformador se utilizan para el arranque de motores con rotor de jaula de ardilla, para potencias de hasta 150 HP a 220 V, y 300 -- HP a 440V, 50 ó 60 Hz. Arrancadores de mayor potencia se fabrican solamente por pedidos especiales.

Estos arrancadores limitan la corriente en la etapa de -- arranque, impidiendo alcanzar corrientes que pueden causar fluctuaciones perjudiciales en la línea de alimentación.

Al arrancar con un arrancador de voltaje reducido tipo -- autotransformador, se reduce la tensión en bornes del motor, según la relación de transformación del autotransformador. Por lo gene-- ral, se utilizan autotransformadores con tomas de 50, 65 y 80 % -- de la tensión nominal.

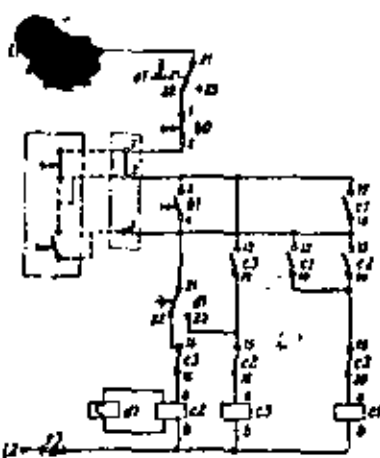
La intensidad de corriente consumida por el motor en la etapa de arranque disminuye en la misma proporción que la tensión en bornes del motor, es decir, según la relación de transformación del autotransformador.

El par de arranque del motor que puede cederse es proporcional a la potencia consumida por el motor, o sea, el par de -- arranque se reduce cuadráticamente con la relación de transformación del autotransformador.

La capacidad del secundario del autotransformador se puede -- al no tomar en cuenta la corriente de excitación y las pérdidas de tensión en el autotransformador -- igualar nuevamente su capacidad primaria sacada de la red.

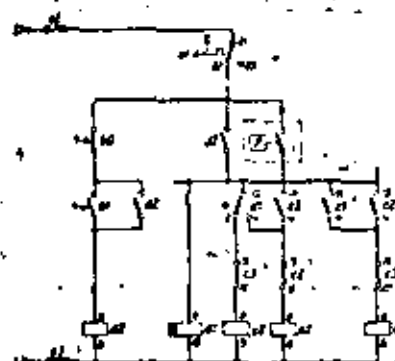
De lo anterior resulta:

Al reducir la tensión en bornes del motor por medio de -- un autotransformador, baja la corriente tomada de la red cuadráticamente con la disminución de la tensión, es decir, en la misma -- proporción que el momento de rotación del motor.

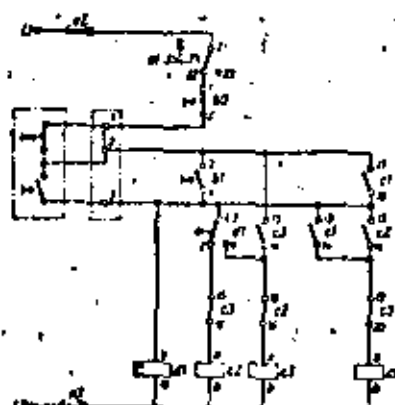


Con accionamiento por pulsadores (Contacto de corta duracion) para arrancadores hasta 45 A

Los arrancadores pueden controlarse en combinación con interruptores de presión, modificando el alambrado en la siguiente forma:

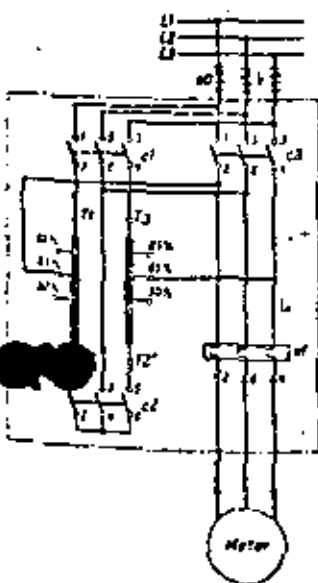


Con accionamiento por interruptor no incorporado (Contacto permanente).



Con accionamiento por pulsadores (Contacto de corta duracion) para arrancadores desde 45 A hasta 400 A

Circuito principal



Para operación o control remoto, conectar la estación de botones como se indica con líneas punteada, suprimiendo el puente entre las клемas 1 y 2

- C1 Contactor a voltaje reducido
- C2 Contactor punto estrella
- C3 Contactor a pleno voltaje
- b Interruptor (contacto permanente)
- b1 Pulsador «arrancar»
- b0 Pulsador «parar»
- a1 Elevador de tiempo (electromecánico)
- a1 Elevador bimetalico de sobrecarga
- a0 Protección contra cortocircuito (fusibles o subbreaker)
- a2/a3 Automático de protección para el circuito de control

CÁLCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

La determinación de las corrientes de corto circuito en sistemas de potencia industrial es una de las más importantes consideraciones en el diseño de los mismos. Solamente después de conocer las corrientes máximas de corto circuito es posible seleccionar todos los dispositivos de protección de dichos sistemas.

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO Y SUS EFECTOS.

En ocasiones solamente la corriente de carga se considera cuando se selecciona un circuito interruptivo ó fusible. Esto se hace debido a que los circuitos interruptivos ó fusibles puedan seleccionarse con su adecuada I.C. (capacidad interruptiva). Esta I.C. cortará la máxima corriente de corto circuito, la cual puede causar el sistema de potencia al fluir a través del circuito interruptor ó fusible si ocurre una falla en el elemento que protege.

La magnitud de la corriente de carga se determina por la cantidad de trabajo que se realiza y lleva una relación pequeña de acuerdo al tamaño del sistema de suministro.

Así la magnitud de la corriente de corto circuito está relacionada directamente con la capacidad de la fuente de potencia; mientras más grandes sean los aparatos con los cuales se suministra la potencia eléctrica al sistema, más grande será la corriente de corto circuito.

Consecuentemente, es necesario considerar el tamaño del sistema de suministro tanto como la corriente de carga, para asegurar que los interruptores ó fusibles seleccionados tengan la suficiente capacidad interruptiva para detener el flujo de la corriente de corto circuito.

FUENTES DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

Cuando se determinan las corrientes de corto circuito, es en extremo importante que todas las fuentes de corto circuito se consideren y que las reactancias características de esas fuentes sean conocidas. Las fuentes básicas de corrientes de corto circuito son: los generadores, motores y condensadores síncronos, motores de inducción. Todos pueden alimentar a la corriente de corto circuito en una falla.

CORRIENTES ASIMÉTRICAS DE CORTO CIRCUITO.

La mayoría de las corrientes de corto circuito son asimétricas. Estas corrientes se presentan si el corto circuito ocurre cuando el voltaje no es máximo. La determinación exacta de tales corrientes de corto circuito es muy complicada; se asume, por simplicidad, que consiste de dos componentes:

- a.- La componente simétrica de corriente alterna.
- b.- La componente de corriente directa.

La componente simétrica de la corriente de corto circuito, es aquella la cual se presente cuando al ocurrir el corto circuito el voltaje es máximo; se determina dividiendo el voltaje de línea a neutro entre la reactancia propia. La componente de corriente directa se determina usando un factor de multiplicación.

A manera de ejemplo se calcularán las corrientes de corto-circuito para un sistema de potencia normalmente empleado para el suministro de energía eléctrica a un equipo de Bombeo para pozo profundo.

CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

... la impedancia de la línea de alta tensión...

... el tipo de conductor = ACSR 1/0

... TRANSFORMADOR

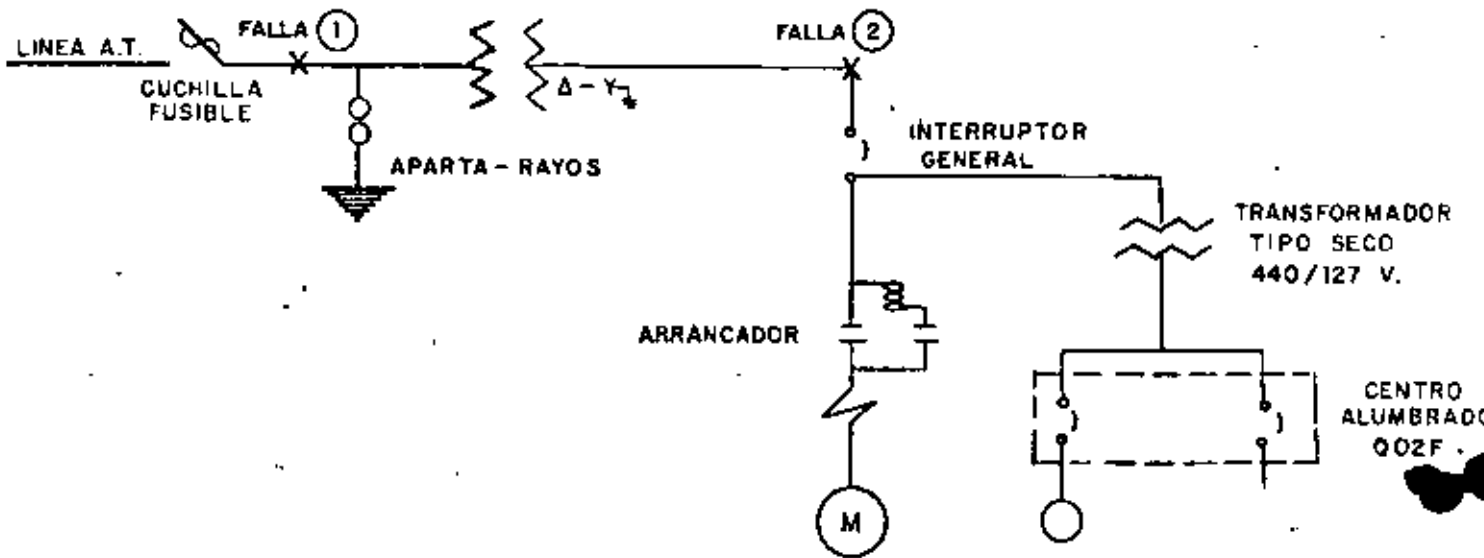


DIAGRAMA UNIFILAR

CONSIDERANDO LOS SIGUIENTES DATOS:

LINEA DE ALTA TENSION:
 Longitud = 1.5 KM, 13.2 KV.
 Tipo de conductor = ACSR 1/0

TRANSFORMADOR
 112.5 KVA, %Z=3
 13.200/440/220

Para la selección de la cuchilla tipo fusible es necesario considerar la impedancia de la línea de alta tensión.

Considerando las características de los cables de aluminio

reforzado en acero (ACSR 1/0) son los siguientes:

AREA NOMINAL DEL ALUMINIO = 53.54 mm²

NUMERO Y DIAMETRO DE ALAMBRES (mm):

ALUMINIO - 6 X 3.37

ACERO - 1 X 3.37

DIAMETRO TOTAL APROXIMADO: 10.11 mm

RESISTENCIA CC 20°C NOMINAL: 0.536 OHM/KM.

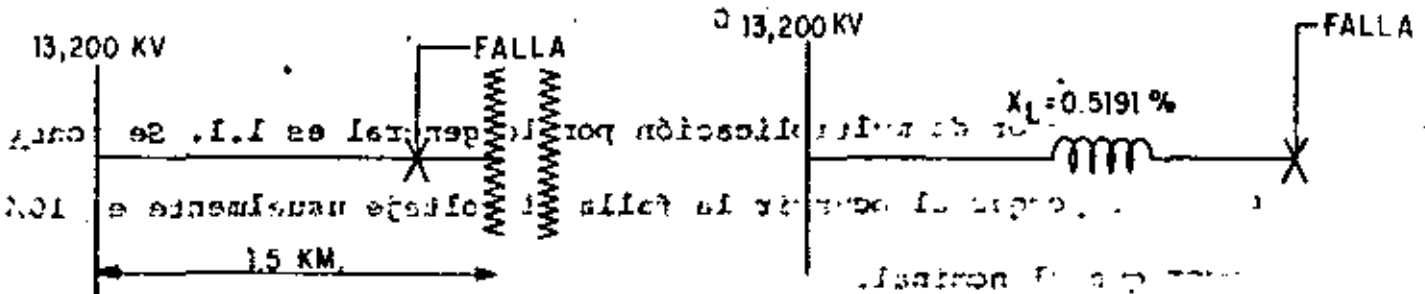
PESO NOMINAL 214.89 KG/KM.

FALLA EN EL PUNTO 1

CONSIDERANDO KVA BASE = 112.5

CONSIDERANDO

KVA BASE = 112.5 = $\frac{P_{BASE}}{I^2 X}$



$$0.01663 = \frac{0.01663}{12.12} = \frac{0.01663}{12.12}$$

CALCULO DE LA REACTANCIA DEL RAMAL, X

Para calcular la reactancia del ramal en %, se emplea la siguiente fórmula:

$$X_L = \frac{100 \times P_{BASE} \times Z}{V^2}$$

V es la tensión de la línea en KV

X_L es la reactancia total

sustituyendo.

$$X_L = \frac{100 \times 1.5 \times 0.536 \times 112.5}{(13.2)^2} = \frac{9045}{174.24} = 51.91\% = 0.5191\%$$

la corriente de base en el ramal de 13.2 KV será:

$$I = \frac{112.5}{13.2 \sqrt{3}} = 4.92 \text{ amperes.}$$

$$I_{BASE} = I_{NOMINAL}$$

la corriente subtransitoria para un tiempo de duración de 0.1 seg.

$$I''_{do} = \text{Fact. de mutti.} \times \frac{I_{base \text{ en KA}}}{\frac{X_L\%}{100}}$$

El factor de multiplicación por lo general es 1.1. Se considera así porque al ocurrir la falla el voltaje usualmente es 10% mayor que el nominal.

$$I''_{do} = 1.1 \times \frac{100 \times 0.00492}{51.91} = \frac{(1.1)0.492}{51.91} = 0.01042.$$

$$= 0.010425 \text{ KA} = 10.425 \text{ amperes.}$$

la potencia de corto circuito subtransitoria

$$P''_{do} = \text{fact.de mult.} \times \frac{P_{base}}{x\%} \text{ (KVA)} = 1,1 \times \frac{112,5 \times 100}{51,91} = \frac{11250 \times 1,1}{51,91}$$

$$P''_{do} = 238.39 \text{ KVA} \quad P_{BASE} = P_{NOMINAL.}$$

Para un tiempo de 0.1 seg. se tienen las siguientes constantes:

De la gráfica I, constante de la I_{CC} simétrica.....2.00

De la gráfica II, constante de I_{CC} asimétrica.....2.10

De la gráfica III, constante de I_{CC} dinámica (curva A)5.50

De la gráfica III, curvas B, factores para corrientes térmicas:

a 1 Seg. 1.80

a 5 Seg. 1.40

De donde se obtienen los siguientes valores

CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO SIMETRICA = $2 \times 4.92 = 9.84$ Amperes

POTENCIA DE C.C. SIMETRICA = $V \times 13.2 \times 9.84 = 224.70$ KVA

CORRIENTE DE C.C. ASIMETRICA = $2.10 \times 4.92 = 10.33$ amperes.

CORRIENTE DE C.C. DINAMICA = $5.50 \times 4.92 = 27$ amperes (máximos)

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO TERMICAS:

a 1 seg = $1.80 \times 4.92 = 8.856$ amperes.

a 5 seg = $1.40 \times 4.92 = 6.888$ amperes.

De lo anterior el Interruptor tendrá las siguientes carac

$$P''_{do} = 238.39 \text{ KVA}$$

$$P_{BASE} = P_{NOMINAL}$$

Para un tiempo de 0.1 seg. se tienen las siguientes constantes:

De la gráfica I, constante de I_{cc} simétrica	2.00
De la gráfica II, constante de I_{cc} asimétrica	2.10
De la gráfica III, contante de I_{cc} dinámica (curva A)	5.50
De la gráfica III, curvas B, factores para corrientes térmicas:	
a 1 Seg.	1.80
a 5 Seg.	1.40

De donde se obtienen los siguientes valores

$$\text{CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO SIMETRICA} = 2 \times 4.92 = 9.84 \text{ Amperes}$$

$$\text{POTENCIA DE C.C. SIMETRICA} = \sqrt{3} \times 13.2 \times 9.84 = 224.70 \text{ KVA}$$

$$\text{CORRIENTE DE C.C. ASIMETRICA} = 2.10 \times 4.92 = 10.33 \text{ amperes}$$

$$\text{CORRIENTE DE C.C. DINAMICA} = 5.50 \times 4.92 = 27 \text{ amperes (máximos)}$$

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO TERMICAS:

$$\text{a 1 seg.} = 1.80 \times 4.92 = 8.856 \text{ amperes}$$

$$\text{a 5 seg.} = 1.40 \times 4.92 = 6.888 \text{ amperes}$$

De lo anterior el interruptor seleccionado tendrá las siguientes características:

POTENCIA 200 KVA

CORRIENTE DINAMICA 30 AMPERES

CORRIENTE TERMICA A 1 SEG. 20 AMPERES

CORRIENTE TERMICA A 5 SEG. 15 AMPERES

terísticas:

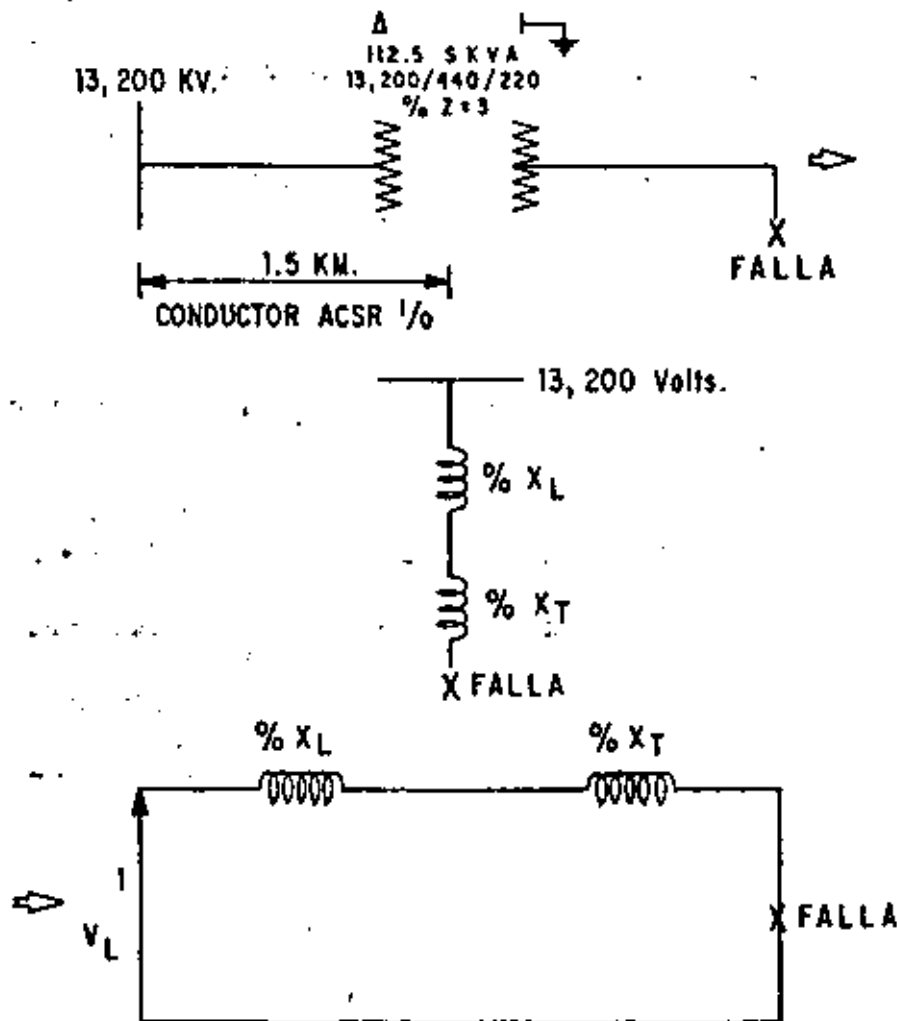
Potencia 200 KVA

Corriente Dinámica 30 amperes

Corriente Térmica a 1 seg. 20 amperes

Corriente Térmica a 5 seg. 15 amperes.

Si se usa el interruptor tipo cuchillas fusibles deberán tener una capacidad de 10 amperes.



$$X_L = 0.5191 \%$$

$$X_T = 0.03 \%$$

$$X = X_L + X_T = 54.91\% = 0.5491\%$$

$$I = \frac{112.5}{0.440 \sqrt{3}} = 147.79 \text{ amp.}$$

$$I_{\text{BASE}} = I_{\text{nominal}}$$

la corriente subtransitoria para un tiempo de duración de 0.1 seg.

$$I''_{\text{do}} = 1.1 \times \frac{0.14779}{54.91} = \frac{1.1 \times 0.14779 \times 100}{54.91} = 2.96 \text{ Kamperes} = 2960 \text{ amperes}$$

la potencia de corto circuito subtransitoria

$$P''_{\text{do}} = 1.1 \times \frac{112.5}{54.91} \times 100 = 225.368 \text{ KVA}$$

$$P_{\text{BASE}} = P_{\text{NOMINAL}}$$

Para un tiempo de 0.1 seg. se tienen las siguientes constantes:

- De la gráfica I, constante de la I_{CC} simétrica.....1.9
- De la gráfica II, constante de la I_{CC} asimétrica.....1.95
- De la gráfica III, constante de la I_{CC} dinámica (curva A) 5.25
- De la gráfica III, curvas B, factores para corrientes término:

cas:

- a 1 seg. 1.71
- a 5 seg. 1.38

Corriente de corto circuito simétrica = $1.9 \times 2960 = 5624 \text{ am}$

Potencia de c.c. simétrica = $\sqrt{3} \times 0.440 \times 5624 = 4280$ KVA.

corriente de c.c. asimétrica = $1.95 \times 5624 = 10,966.80$ amperes

corriente de c.c. dinámica = $5.25 \times 5624 = 29,256.00$ amperes

Corriente de corto circuito térmicas:

a 1 seg. = $1.71 \times 2960 = 5061.60$ amperes.

a 5 seg. = $1.38 \times 2960 = 4,084.80$ amperes.

Considerando los resultados anteriormente obtenidos el interruptor termo magnético selocionado tendrá las siguientes características:

Interruptor tipo: F.A.

Voltaje máximo en corriente alterna: 600 Volts.

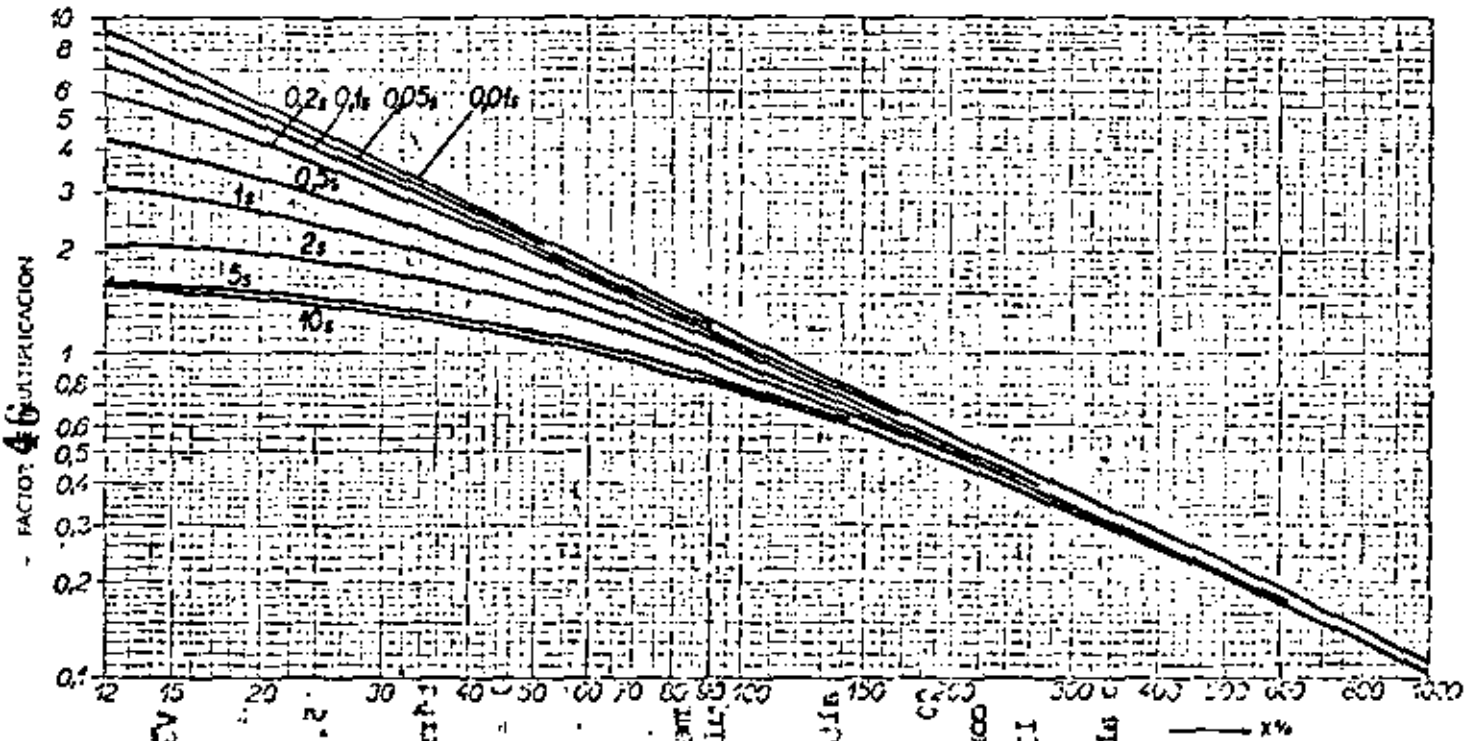
No. de polos: 3

Rango en amperes: de 15 a 100

Corriente simétrica total de corto circuito: 5100 amp.

Corriente máxima secundaria: 136 amperes

El interruptor se selecciono en base al catálogo de Square-"D" de México, S.A.



si el tipo de sistema es D, ya sea en el periodo de existencia de la corriente de corto circuito simétrica.

130 amperes
cort. circuitos: 100 subs.

aprox.: 600 A.M.P.

datos de caracteristicas:
datos operativos de interruptores para

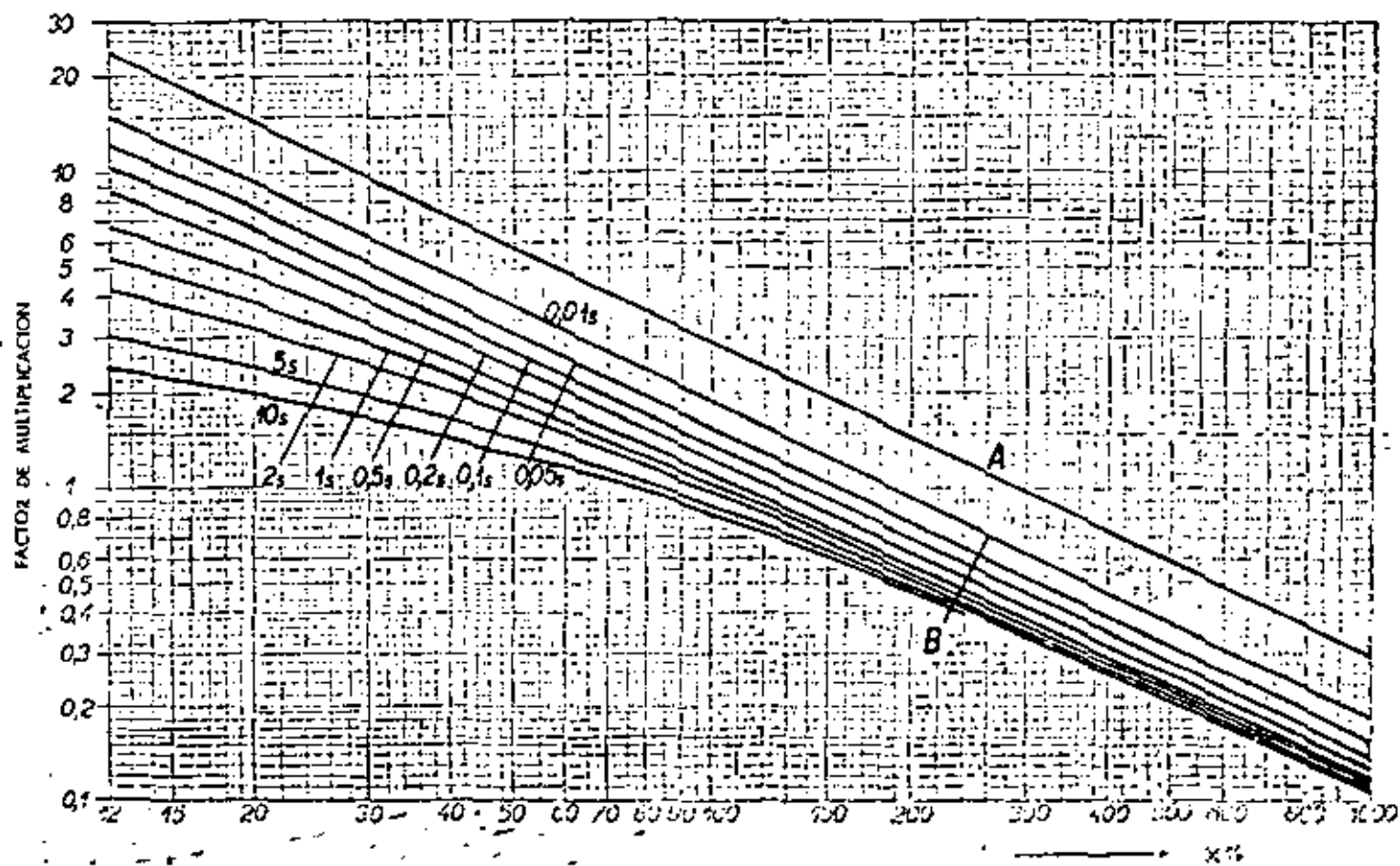
084'80 amperes
= 1021'00 amperes

FACTORES DE MULTIPLICACION

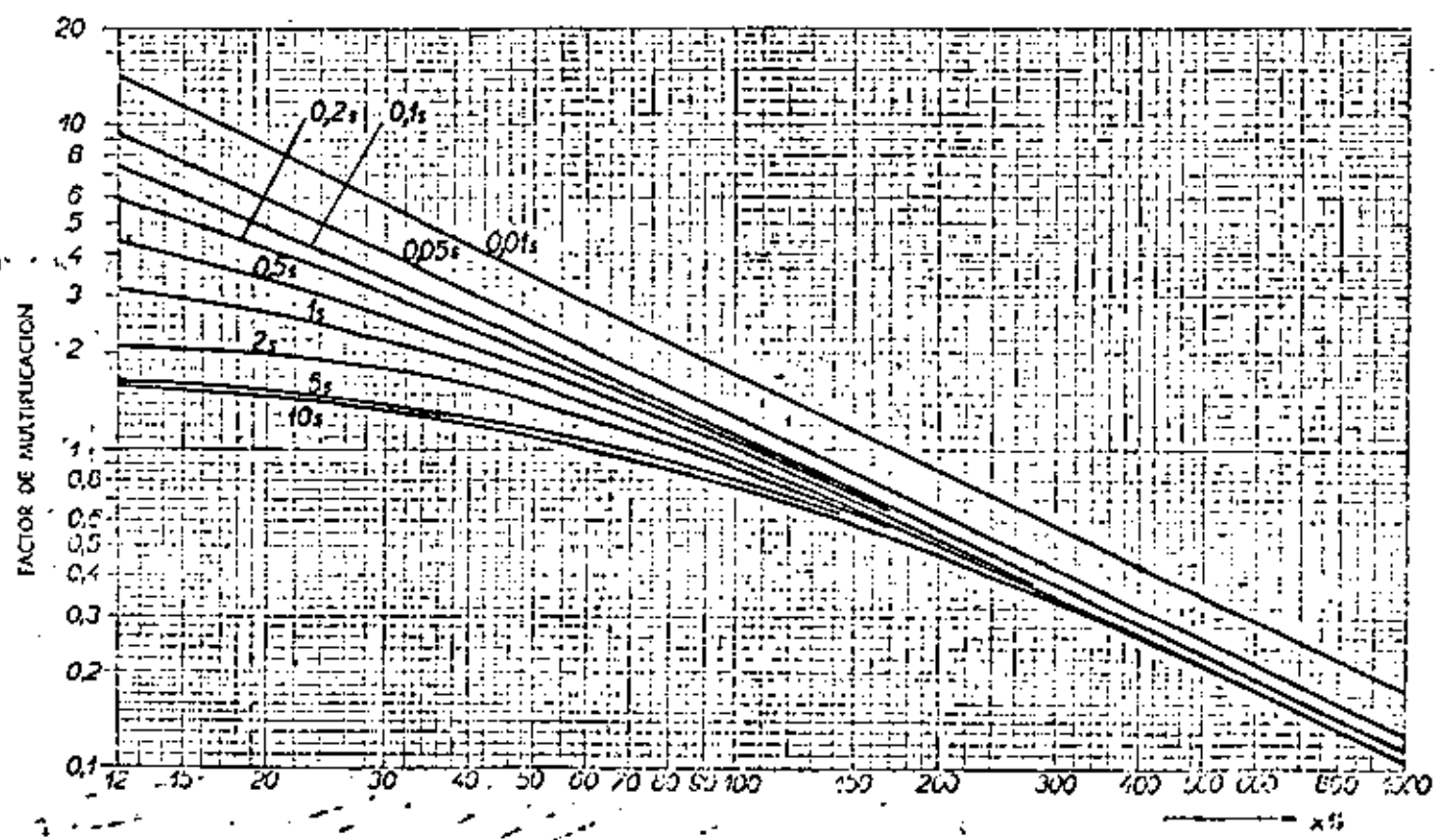
1. $2.51 \times 2054 = 5120.00$ amperes

2. $0.92 \times 2054 = 1889.80$ amperes

3. $0.440 \times 2054 = 903.80$ amperes



GRÁFICA 3. Factores de multiplicación, para obtener los coeficientes de corto circuito dinámica (curva A) y de efecto térmico (curvas B).



GRÁFICA 2. Factores de multiplicación para obtener la corriente de corto circuito asimétrica.

5.- F U S I B L E S

FUSIBLES

Definición.- Es una válvula de seguridad de funcionamiento térmico que se diseña para interrumpir un circuito eléctrico cuando por él circula sobrecorriente que pueda dañar a los conductores, equipos y/o aparatos conectados a él.

Alambres de Cobre.- A fines del siglo XIX se soldaba e intercalaba a dos terminales a un circuito determinado; con sección transversal menor que la del conductor en donde se le intercalaba. Dado que la fusión del alambre de cobre es a una temperatura de 1080°C , se dañaba el aislamiento de los conductores y los equipos vecinos antes de lograr la fusión.

ALEACIONES DE PLOMO Y ESTAÑO.- No se genera calor excesivo durante las sobrecargas. Se les encerró en tubos de vidrio, cerámica ó fibra vulcanizada.

Sin embargo, debido al bajo punto de fusión de aquéllas aleaciones (temperatura máxima de fusión a los 326°C) se tenían que utilizar alambres cuya transversal era bastante mayor que la de los correspondientes, hecho con alambre de cobre, y por tanto, durante su operación por fallas de corto circuito, se provocaban violentas explosiones.

Se buscó posteriormente un metal intermedio en lo que a punto de fusión se refiere, del cobre y el plomo. El metal seleccionado fué el Zinc cuyo punto de fusión se alcanza a los 420°C . Con el uso de éste metal se encontró además que no favorece el arqueo. Se encerraban (Como mejora técnica) los elementos sensibles a la corriente (eslabones fusibles) en tubos de cerámica ó fibra vulcanizada con un material inerte cuya misión principal es la de ahogar el arco y así reducir la magnitud de la explosión provocada en fallas de corto circuito.

Fusibles de Cartucho.- En la primera decada del siglo XX, se adoptaron en E.U.A. la forma y dimensiones de éstos fusibles que hasta la fecha se fabrican

NORMAS OFICIALES (Dimensión, material y funcionamiento)

E.U.A. - UL-198-1972

MEXICO. -DGN-J-9-1970

Fabricados para ser utilizados en tensiones de

}	250 V C.A.
	600 Amperes nominales

En ésta norma también se incluyen los fusibles de tapón los cuales se pueden utilizar con tensiones hasta de 127 Volts. C.A. de fase a tierra.

FUSIBLES MODERNOS.-

Necesidad.- Se requería contar con un fusible que fuera renovable y que cumpliera con las normas en mención.

Eslabón fusible.- Proporciona protección eficaz contra fallas del corto circuito, pero no contra sobrecargas. Se desarrolló un eslabón fusible-capaz de proteger contra sobrecargas y contra corto circuito.



Eslabón fusible diseño antiguo.



Eslabón fusible diseño moderno.

Aumento de demanda de Energía → magnitud de las corrientes de falla por corto circuito → fusibles con capacidad interruptiva superior a 10,000 amperes r.m.c. simétricos. Se fabrican de acuerdo a las normas : Oficiales de E.U.A.

UL- 198 - 3
 (Revisión de Octubre
 de 1976)

fusibles clases: G, J, L, & UL

UL- 198 - 4
 (misma fecha de
 revisión)

fusibles clase R

No existen a la fecha, normas mexicanas que cubran a éste tipo de fusibles. Todos los fusibles anteriores son no renovables.

FUSIBLES CLASE K (De doble elemento)

Subclases K-1, K-5, K-9 tendrán cualidades particulares con respecto a la magnitud de las corrientes de c.c. que puedan limitar.

Capacidad interruptiva.- 50,000-200,000 amperes simétricos rmc.

FUSIBLES CLASE G.- Alta capacidad interruptiva y limitadores de corriente. Se utilizan para circuitos con tensiones hasta de 330 volts. a tierra y corriente de hasta 60 amperes nominales

Capacidad interruptiva . - 100,000 amperes simétricos rmc.

FUSIBLES CLASE J.- Alta capacidad interruptiva y limitadores de corriente. Se utilizan para circuitos con tensiones hasta de 600 volts. y corrientes hasta de 600 amperes nominales.

Capacidad interruptiva.- 200,000 amp. simétricos rmc.

FUSIBLES CLASE L.- Alta capacidad interruptiva y limitadores de corriente tensiones hasta 600 volts. corrientes nominales desde 600 hasta 6000 amperes capacidad interruptiva 200,000 amp. simétricos rmc.

FUSIBLES { No renovables .- De eslabón fusible, también llamados "one time"
 renovables

PROTECCION DE MOTORES.-

Los fusibles se utilizan frecuentemente para proteger circuitos derivados para motores contra sobrecorrientes de corto circuito y fallas a tierra siendo por tanto necesario saber seleccionar correctamente su capacidad nominal cuando se utilicen con ese propósito.

MOTORES DE INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA.-

El motor más ampliamente utilizado en las instalaciones eléctricas industriales y comerciales es el motor de jaula de ardilla. Desde el punto de vista de la protección contra sobrecorrientes sus características más importantes son:

- a) El periodo de arranque ó aceleración
- b) La corriente de rotor bloqueado
- c) La capacidad para tolerar sobrecargas
- a) Periodo de arranque ó aceleración :

Una vez que se ha aplicado tensión a un motor se necesita que transcurra cierto tiempo para que alcance su velocidad normal. La magnitud y duración de la corriente durante ese periodo, dependen de la inercia y las características de la carga que se le acopla, de su diseño y del método de arranque .

- b) Corriente de Rotor Bloqueado:

Es aquella que demanda el motor cuando su rotor que frenado por tener acoplada una carga excesiva, por estar trabados su baleros ó por haber baja tensión en sus terminales. Su magnitud es aproximadamente igual a 6 veces la corriente de plena carga del motor.

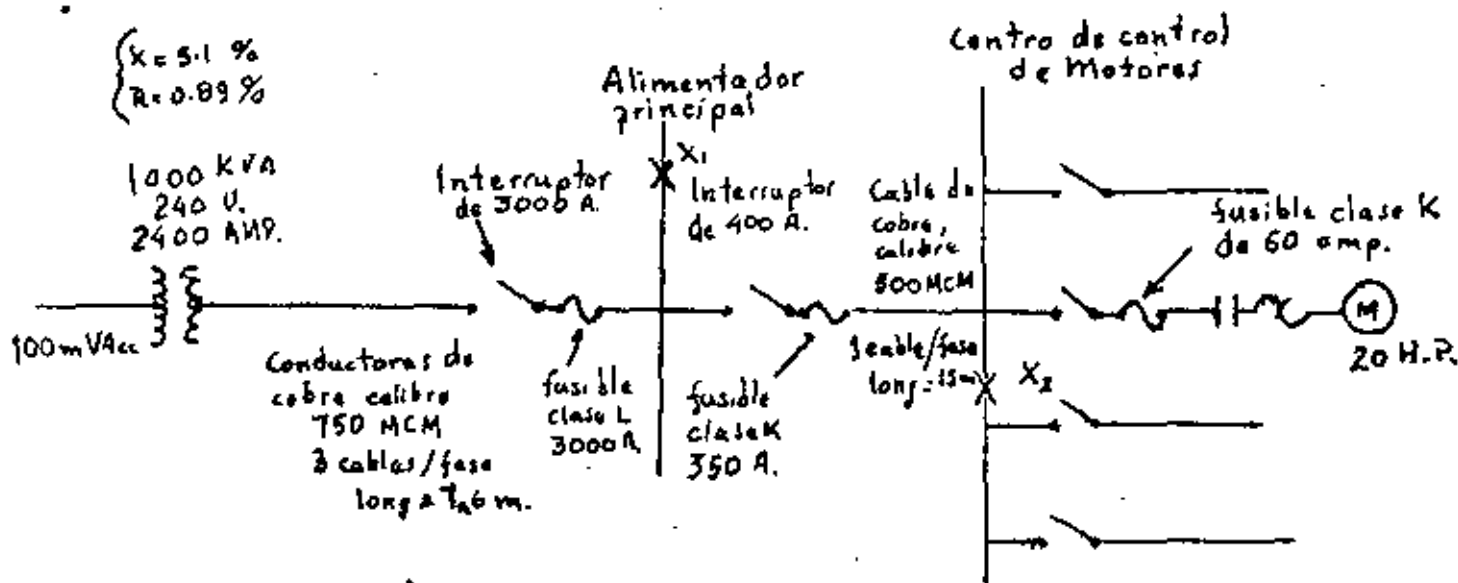
- c) Capacidad para soportar sobrecargas:

Las sobrecorrientes cuya magnitud sea hasta de 6 veces el valor de la corriente nominal del motor, se consideran debidas a sobrecargas y las mayores se consideran de corto circuito.

Para prevenir el calentamiento excesivo de los devanados del motor y evitar la inutilización del aislamiento, se deben utilizar relevadores de sobrecarga, los cuales son dispositivos de protección que permiten al motor llevar sobrecargas que no lo dañan pero que lo desconectan si la sobrecarga persiste ó es de mayor magnitud.

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

- a) Corriente simétrica eficaz (r.m.c.) en amperes
- b) Corriente máxima r.m.c. de una fase, en amperes
- c) Corriente trifásica



$$\% \text{ reactancia} = \frac{I_n \times \text{reactancia en ohms}}{V_n} \times 100$$

I_n y V_n son la corriente y tensión nominales

$$\% \text{ resistencia} = \frac{I_n \times \text{resistencia en ohms}}{V_n} \times 100$$

$$\% \text{ impedancia} = \frac{I_n \times \text{impedancia en ohms}}{V_n} \times 100$$

Contribución asimétrica del motor:

$$I \text{ rotor bloqueado} = \frac{\text{KVA/HP} \times \text{HP} \times 1000}{K \times V_L}$$

$K = 1$ para motores monofásicos

$K = 2$ para motores bifásicos

$K = \sqrt{3}$ para motores trifásicos

contribución asimétrica = 5 x corriente a plena carga del motor (aprox.)

contribución simétrica = 4 x corriente a plena carga del motor (aprox.)

Reactancias y resistencias referidas a una base en KVA

$$X_2 = \frac{\text{KVA base}}{\text{KVA}_1} \times X_1$$

$$R_2 = \frac{\text{KV base}}{\text{KVA}_1} \times 10^2 \times R_1$$

X_2 & R_2 en % referidas a la nueva base

X_1 & R_1 en % original

KVA base es la nueva base

KVA_1 son los KVA nominales

% Impedancia (resistencia ó reactancia)

dadas en ohms ó por unidad

$$\% \text{ Impedancia} = \frac{\text{impedancia en ohms} \times \text{KVA base}}{\text{KV}^2 \times 10}$$

% impedancia = 100 x impedancia en P.U.

Cuando se tiene como dato (la compañía suministradora)

a).- la capacidad de corto circuito en KVA ó MVA en la acometida--
de la instalación

b).- corriente de corto circuito

c).- capacidad interruptiva del interruptor de la línea de llegada

Se deben convertir a impedancias (reactancias y resistencias) en--
por ciento se utilizan respectivamente las siguientes formulas

$$\% \text{ impedancia} = (\text{KVA base} / \text{KVA de corto circuito del sistema}) \times 100$$

$$\% \text{ impedancia} = (\text{KVA base} / 3 \times I_{cc} \times \text{KV nominales}) \times 100$$

$$\% \text{ impedancia} = (\text{KVA base} / \text{capacidad interruptiva del interruptor en KVA}) \times 100$$

impedancia total:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X^2}$$

corriente de corto circuito simetrica r.m.c. en el punto de falla

$$I_{cc} = \frac{\text{KVA base} \times 100}{\sqrt{3} \% Z_T \times \text{KV}} \quad \text{amperes r.m.c.}$$

Relación X/R del sistema, hasta el punto de falla

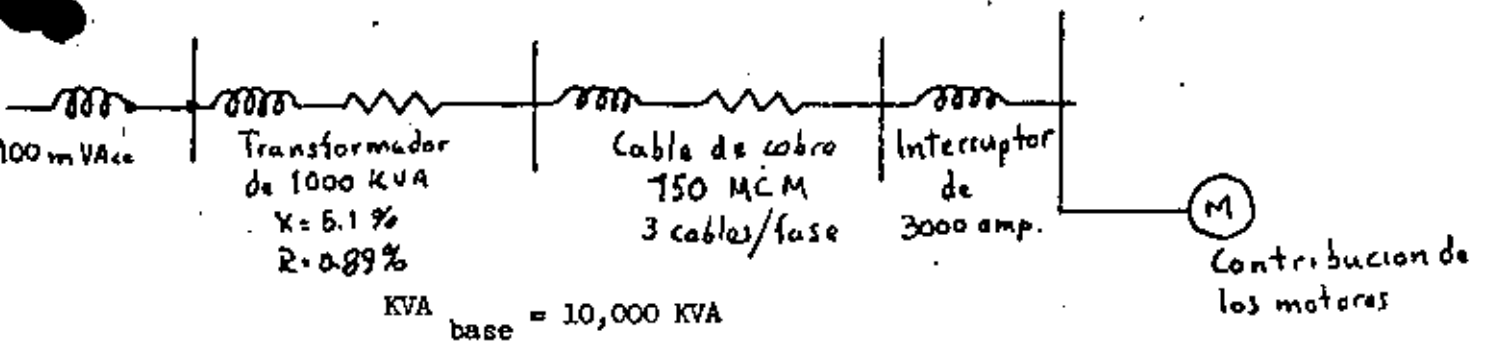
$$\frac{X}{R} = \frac{X \text{ TOTAL} (\%)}{R \text{ TOTAL} (\%)}$$

Corriente asimétrica = corriente simétrica x factor de
r.m.c. de corto circuito r.m.c. de corto circuito asimetría

Contribución de los motores:

corriente simétrica = corriente simétrica de corto circuito + contribución asimétrica de motores

CALCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO X_1 :



Reactancia de la compañía suministradora de energía:

$$X = \frac{10,000}{100,000} \times 100 = 10 \%$$

Impedancia del transformador:

$$X = \frac{10,000}{1000} \times 5.1 = 51 \%$$

$$R = \frac{10,000}{1000} \times 0.89 = 8.9 \%$$

Impedancia de los cables de cobre, calibre 750 MCM (Tabla No. 6)

Longitud/cable = 7.6 metros, No. de cables / fase = 3

$$X = \frac{7.6}{1000} \frac{0.1170}{3} = 2.963 \times 10^{-4}$$

$$X = \frac{2.963 \times 10^{-4} \times 10,000}{0.24^2 \times 10} = 5.145 \%$$

$$R = \frac{7.6}{1000} \frac{0.0640}{3} = 0.0001621$$

$$R = \frac{1.621 \times 10^{-4} \times 10^4}{0.24^2 \times 10} = 2.8142 \%$$

Reactancia del interruptor de 3000 amperes (tabla No. 8)

$$x = 0.000040 \text{ ohms.}$$

$$x = \frac{4 \times 10^{-5} \times 10^4}{0.24^2 \times 10} = 0.6944 \%$$

$$X_T = 10 + 51 + 5.144 + 0.6944 = 66.838 \%$$

$$R_T = 8.9 + 2.81142 = 11.7142$$

$$Z_T = \sqrt{(66.838)^2 + (11.7142)^2} = 67.856 \%$$

Corriente simétrica de falla

$$I_{cc} = \frac{10,000 \times 100}{1.732 \times 67.856 \times 0.24} = 35,452.969 \text{ amperes RMS}$$

Relación X/R del sistema

$$\frac{X}{R} = \frac{66.838}{11.7142} = 5.705$$

Usando tabla No. 2

$$\text{Factor de asimetría} = 1.287$$

Corriente asimétrica de c.c.

$$I = 1.287 \times 35,453 = 45,628.01 \text{ amperes r.m.c.}$$

Contribución de los motores (al 100 %)

$$\text{corriente simétrica} = 4 \times 2,400 = 9,600 \text{ amperes r.m.c.}$$

$$\text{corriente asimétrica} = 5 \times 2,400 = 12,000 \text{ amperes r.m.c.}$$

corriente total del corto circuito (I_T)

$$a) \text{ corriente simétrica} = 35,453 + 9,600 = 45,053 \text{ amperes r.m.c.}$$

$$b) \text{ corriente asimétrica} = 45,628.01 + 12,000 = 57,628.01 \text{ amperes r.m.c.}$$

Tabla No. 2

Factor de potencia, de corto circuito en %	relación X/R de corto circuito	Factores a utilizar para obtener las corrientes indicadas, $\frac{1}{2}$ ciclo después el comienzo de la falla.		
		corriente máxima instantánea de pico, en amperes. M_p	corriente máxima r.m.c. en una fase. M_m	corriente trifásica promedio en amperes r.m.c. M_a
0		2.828	1.732	1.394
1	100.00	2.785	1.696	1.374
2	49.993	2.743	1.665	1.355
3	33.322	2.702	1.630	1.336
4	24.979	2.663	1.598	1.318
5	19.974	2.625	1.568	1.301
6	16.623	2.589	1.540	1.285
7	14.251	2.554	1.511	1.270
8	13.460	2.520	1.485	1.256
9	11.066	2.487	1.460	1.241
10	9.9301	2.455	1.436	1.220
11	9.0354	2.424	1.413	1.216
12	8.2733	2.394	1.391	1.204
13	7.6271	2.364	1.372	1.193
14	7.0721	2.336	1.350	1.182
15	6.5912	2.309	1.330	1.171
16	6.1695	2.282	1.312	1.161
17	5.7947	2.256	1.294	1.152
18	5.4649	2.231	1.277	1.143
19	5.1672	2.207	1.262	1.135
20	4.8990	2.183	1.247	1.127
21	4.6557	2.160	1.232	1.119
22	4.4341	2.138	1.218	1.112
23	4.2313	2.110	1.205	1.105
24	4.0450	2.095	1.192	1.099
25	3.8730	2.074	1.181	1.093
26	3.7138	2.054	1.170	1.087
27	3.5661	2.034	1.159	1.081
28	3.4286	2.015	1.149	1.075
29	3.3001	1.996	1.136	1.070
30	3.1798	1.978	1.130	1.066
31	3.0669	1.960	1.121	1.063
32	2.9608	1.943	1.113	1.057
33	2.8606	1.926	1.105	1.053
34	2.7660	1.910	1.098	1.049

(continua)

Tabla No. 2 (continua)

factor de potencia, de corto circuito en %	relación X/R de corto circuito	Factores a utilizar para obtener las corrientes indicadas, $\frac{1}{2}$ ciclo después del comienzo de la falla.		
		corriente máxima instantánea de pico, en amperes. M_p	corriente máxima r.m.c. en una fase M_m	corriente trifásica promedio en amperes r.m.c. M_a
35	2.6764	1.849	1.091	1.046
36	2.5916	1.878	1.084	1.043
37	2.5109	1.863	1.078	1.039
38	2.4341	1.848	1.073	1.036
39	2.3611	1.833	1.068	1.033
40	2.2913	1.819	1.062	1.031
41	2.2246	1.805	1.057	1.028
42	2.1608	1.791	1.053	1.026
43	2.0996	1.778	1.049	1.024
44	2.0409	1.765	1.045	1.022
45	1.9845	1.753	1.041	1.020
46	1.9303	1.740	1.038	1.019
47	1.8780	1.728	1.034	1.017
48	1.8277	1.716	1.031	1.016
49	1.7791	1.705	1.029	1.014
50	1.7321	1.694	1.026	1.013
55	1.5185	1.641	1.015	1.008
60	1.3333	1.594	1.009	1.004
65	1.1691	1.553	1.004	1.002
70	1.0202	1.517	1.001	1.001
75	0.8819	1.486	1.0008	1.0004
80	0.7500	1.460	1.0002	1.00005
85	0.6198	1.439	1.00004	1.00002
100	0.0000	1.414	1.00000	1.00000

Datos publicados por la National Electrical Manufacturers Association en su publicación No. 1, 1964, parte 3, páginas 4 y 5.

No. 6.- Resistencia y reactancia de conductores cableados de cobre en ohms/kilómetro (3 conductores por ducto)

Alambre AWG o mm ²	En ducto magnético				En ducto no magnético			
	De 600 volts y 5 kV sin blindaje		De 5 kV con blindaje		De 600 volts y 5 kV sin blindaje		De 5 kV con blindaje	
	X	R	X	R	X	R	X	R
8	0.2473	2.6600	0.2820	2.6600	0.1980	2.6600	0.2260	2.6600
8 +	0.2473	2.5780	0.2820	2.5780	0.1980	2.5780	0.2260	2.5780
6	0.2250	1.6720	0.2610	1.6720	0.1797	1.6720	0.2086	0.1672
6 +	0.2250	1.6270	0.2610	1.6270	0.1797	1.6270	0.2086	1.6270
4	0.2074	1.0530	0.2440	1.0530	0.1660	1.0530	0.1950	1.0530
4 +	0.2074	1.0230	0.2440	1.0230	0.1660	1.0230	0.1950	1.0230
2	0.1920	0.6630	0.2250	0.6630	0.1532	0.6626	0.1794	0.6626
1	0.1870	0.5250	0.2214	0.5250	0.1496	0.5250	0.1771	0.5250
1/0	0.1771	0.4200	0.2083	0.4200	0.1417	0.4166	0.1663	0.4200
2/0	0.1750	0.3350	0.2067	0.3380	0.1397	0.3313	0.1653	0.3350
3/0	0.1700	0.2640	0.1985	0.2670	0.1361	0.2510	0.1588	0.2640
4/0	0.1630	0.210	0.1912	0.2130	0.1305	0.2076	0.1528	0.2010
250	0.1624	0.1811	0.1870	0.1830	0.1300	0.1775	0.1496	0.1794
300	0.1617	0.1522	0.1850	0.1560	0.1292	0.1480	0.1480	0.1509
350	0.1610	0.1240	0.1843	0.1270	0.1289	0.1207	0.1476	0.1230
400	0.1607	0.1168	0.1797	0.1190	0.1286	0.1122	0.1440	0.0114
450	0.1575	0.1056	0.1765	0.1080	0.1260	0.0797	0.1410	0.1023
500	0.1530	0.0764	0.1725	0.0980	0.1223	0.0905	0.1381	0.0931
600	0.1519	0.0843	0.1693	0.0870	0.1217	0.0780	0.1351	0.0807
750	0.1460	0.0708	0.1630	0.0731	0.1168	0.0640	0.1299	0.0666

Los valores tabulados corresponden a la frecuencia de 60 Hertz y a 75 °C temperatura del conductor.

conductores sólidos. (Alambre).

Tabla No. 7.- Resistencia y reactancia de conductores cableados de aluminio en ohms/kilómetro (3 conductores por ducto)

Calibre AWG o MCM	En ducto magnético				En ducto no magnético			
	De 600 volts y 5 kV sin blindaje		De 5 kV con blindaje		De 600 volts y 5 kV sin blindaje		De 5 kV con blindaje	
	X	R	X	R	X	R	X	R
6	0.1738	2.7780	-	-	0.1380	2.7780	-	-
4	0.1640	1.7450	0.2230	1.7450	0.1312	1.7450	0.1770	1.74500
2	0.1509	1.0990	0.2070	1.0990	0.1214	1.0990	0.1640	1.0990
1	0.1574	0.8690	0.1935	0.8690	0.1148	0.8690	0.1542	0.8690
1/0	0.1410	0.6890	0.1837	0.6890	0.1115	0.6890	0.1476	0.6890
2/0	0.1345	0.5478	0.1804	0.5478	0.1082	0.5478	0.1443	0.5478
3/0	0.1312	0.4363	0.1738	0.4330	0.1214	0.4363	0.1378	0.4330
4/0	0.1280	0.3480	0.1673	0.3440	0.1017	0.3440	0.1345	0.3440
250	0.1260	0.2939	0.1624	0.2926	0.1007	0.2932	0.1299	0.2922
300	0.1230	0.2460	0.1571	0.2447	0.0984	0.2447	0.1256	0.2440
350	0.1210	0.2112	0.1535	0.2099	0.0804	0.2099	0.1227	0.2093
400	0.1194	0.1863	0.1506	0.1847	0.0955	0.1847	0.1204	0.1837
500	0.1164	0.1506	0.1456	0.1486	0.0932	0.1486	0.1164	0.1476
600	0.1177	0.1273	0.14114	0.1250	0.0941	0.1250	0.1132	0.1237
700	0.1148	0.1109	0.1387	0.1089	0.0918	0.1082	0.1109	0.1070
750	0.1118	0.1043	0.1374	0.1017	0.0895	0.1014	0.1099	0.0997
1000	0.1118	0.0827	0.1360	0.0797	0.0895	0.0784	0.1086	0.0767

Los valores tabulados corresponden a la frecuencia de 60 Hertz y a 90 °C de temperatura del conductor.

No. 3.- Reactancia por polo, de interruptores desconectores para baja tensión (600 volts o menos)

Capacidad del interruptor en amperes	Reactancia (X) en Ohms
200	0.0001
400	0.00008
600	0.00008
800	0.00007
1200	0.00007
1600	0.00005
2000	0.00005
3000	0.00004
4000	0.00004

Nota.- Los valores tabulados corresponden a la frecuencia de 60 Hz.

cc

64

... (or ...)

<p>(2) ...</p>	<p>...</p>
<p>...</p>	<p>...</p>
<p>...</p>	<p>...</p>
<p>6.-</p>	<p>APARTARRAYOS-TIPO AUTOVALVULAS</p>
<p>...</p>	<p>...</p>
<p>...</p>	<p>...</p>
<p>...</p>	<p>...</p>
<p>...</p>	<p>...</p>

...

APARTARRAYOS TIPO AUTOVALVULAS.GENERALIDADES.-

La seguridad de servicio en las instalaciones eléctricas de abastecimiento de energía se ve amenazada frecuentemente por la aparición de sobretensiones. Con objeto de limitarlas, se tienen que prevenir los correspondientes dispositivos de protección. Estos tienen como misión preservar el aislamiento de la instalación a proteger, de operaciones eléctricas inadmisibles, debidas a sobretensiones.

Se entiende por sobretensiones todas aquellas que exceden del valor de la tensión de servicio máxima permanentemente admisible, de las que los aparatos de protección contra sobretensiones derivan sólo on das de choque.

Se subdividen en:

- 1.- Sobretensiones atmosféricas (exteriores), las cuales se originan en campos eléctricos o debido a la influencia de tormentas.
- 2.- Sobretensiones resultantes de la influencia de otras redes.
- 3.- Sobretensiones interiores que tienen su origen en procesos de maniobra voluntarios o involuntarios, tales como al conectar baterías de condensadores, desconectar líneas de servicio en vacío, reducir cargas, establecer contactos a tierra o al producirse cortocircuitos.

Para el caso de que las sobretensiones superen un valor que resultase perjudicial para los aparatos conectados, deberán limitarse -- por medio de aparatos de protección. En este caso, es de decisiva importancia, no solamente la magnitud de las sobretensiones, sino también su transcurso cronológico.

DESCARGADORES DE VALVULAS.-

Durante los últimos años, los descargadores de válvulas se han acreditado y actualmente se emplean de manera preferente, lo que hay que atribuir a sus ventajas técnicas respecto a otras posibilidades de protección, así como a su reducido precio.

Las ventajas técnicas del descargador de válvula son las bajas tensiones de reacción y residual, así como un servicio constante durante un largo período de tiempo.

DESCRIPCION.-

Los apartarrayos son de resistencia variable, que protegen contra sobretensiones exteriores e interiores el aislamiento de los medios de servicio en redes eléctricas. En calidad de apartarrayo tipo -- autoválvula limita el valor de las sobretensiones, por el hecho de que establece una unión entre el conductor y tierra a través de resistencias dependientes de la tensión. La intensidad posterior originada por la -- tensión con la frecuencia de servicio se limita por medio de la resistencia dependiente de la tensión hasta el punto, que puede ser interrumpida con seguridad por el explosor de extensión.

ESTRUCTURAAPARATOS TIPO AUTOMÁTICOS

Los apartarrayos son de una sola pieza.

REACCIONES

Todas las partes activas del descargador están montadas en un tubo aislante robusto y alojadas en la envolvente de porcelana. La envolvente de porcelana va provista en ambos extremos de cubiertas con objeto de evitar fenómenos de corrosión en el interior del descargador, se ha cerrado herméticamente al aire y relleno de nitrógeno para evitar oxidaciones.

Se entiende por sobretensión toda aquella que exceda de la tensión de servicio máxima permitida, en el momento de la reacción.

FUNCIONAMIENTO

Si la sobretensión que se presenta en el descargador -- sobrepasa los valores de reacción válidos para el mismo, reacciona -- éste, es decir, los explosores de extinción, son cortocircuitados -- en el lugar de reacción por arcos voltaicos.

Debido a la reacción de todos los explosores de extinción del descargador, se establece la unión entre el conductor y tierra, a través de los discos de resistencia. Las resistencias son dependientes de la tensión, a fin de mantener reducida la caída de tensión en el descargador (tensión residual), incluso cuando las intensidades de descarga son máximas. La resistencia es relativamente alta a la tensión de servicio, y al aumentar la sobretensión desciende con mucha rapidez a valores reducidos. Al disminuir la sobretensión, aumenta rápidamente la resistencia, la cual limita la intensidad posterior, por el hecho de que los explosores de extinción montados en serie pueden interrumpirla en el próximo paso por cero de la corriente. Los electrodos de ranura doble de los explosores de extinción son del tipo de tobera y tienen una gran capacidad de extinción. La tensión de reacción permanece casi invariable debido al efecto de desplazamiento del arco.

En caso de que el descargador, a pesar de su gran capacidad de absorción de energía, se sobrecargue, es decir, en el supuesto de que los explosores no estén en condiciones de extinguir la intensidad posterior, debido al arco, se produce en el descargador un aumento inadmisibles de la presión, la cual hace que actúe el fusible de sobrecarga antes de que pueda deteriorarse la envolvente de porcelana. Por la forma del platillo inversor, los chorros calientes de gas que salen del interior, bajo presión a alta velocidad son desviados hacia arriba. El arco de cortocircuito salta entonces de nuevo entre el platillo inversor y la cubierta superior, en la atmósfera caliente muy ionizada, y arde a una distancia prudencial de la envolvente de porcelana, de modo que se evita también una destrucción térmica secundaria de esta última.

Los transformadores utilizados en sistemas de potencia o en aplicaciones industriales, precisan ser instalados de modo que se hallen protegidos contra tensiones excesivamente elevadas y contra sobrecargas peligrosas; deben disponerse de modo que sea fácil su mantenimiento y no constituya un serio peligro de incendio o accidente. Existen 2 causas que pueden producir tensiones excesivas entre las terminales. La primera, el rayo, produce ondas progresivas de frente de onda muy pronunciado que se propagan en ambos sentidos desde el punto de incidencia en las líneas de hilos y se refleja en los extremos y en los empalmes, originando una serie de picos de tensión agudos. Cuando alcanza las terminales de un transformador una de estas de alta tensión, puede atravesar el aislante.

Aislante entre espiras, o entre espiras y tanque. La forma inmediata de reducir al mínimo el efecto de estas ondas, es conectar un dispositivo entre la línea de potencia y tensión, el cual proporciona un camino para las corrientes intensa alrededor del transformador y así disipa la energía de la onda sin efectos nocivos. Los dispositivos empleados para este fin reciben el nombre de pararrayos.

Construcción y Funcionamiento.

El pararrayo básicamente es una envoltente de porcelana herméticamente cerrada, se encuentran montadas las partes activas del descargador, entre las que figuran la resistencia que trabaja en función de la tensión y el explosor de extinción compuesto de electrodos tipo tobera. El descargador está lleno de nitrógeno, evitándose así fenómenos de corrosión y de envejecimiento.

La resistencia dependiente de la tensión tiene la propiedad de que, al pasar por ella intensidades de cualquier magnitud, varía automáticamente su resistencia, de tal modo que la caída de tensión (es decir, la tensión residual de la onda ambulante que sigue circulando), tenga valores admisibles determinados .

Como su valor de resistencia es relativamente elevado en el campo de la tensión de servicio, la intensidad de corriente porterior se limita tanto que es interrumpida con toda seguridad por el explosor de extinción. La segunda causa de tensión peligrosamente alta, es una descarga que se produzca a causa de un fallo en el sistema de potencia o de un error en la conmutación. La solución en este caso también es el empleo de pararrayos.

7.- DISPOSICIÓN Y REALIZACIÓN DE ELECTRODOS DE LAS
TOMAS DE TIERRA.

DISPOSICION Y REALIZACION DE ELECTRODOS DE LAS TOMAS DE TIERRA

En la elección de los electrodos para toma de tierra y en su ulterior organización se han de tener en cuenta los factores locales, la naturaleza del suelo y la resistencia de difusión de la toma de tierra, dependiente de esos factores y de la naturaleza.

Muchas veces ofrece dificultades el alcanzar una baja resistencia de puesta a tierra, que depende de la que llamaremos resistencia de difusión de la toma de tierra y de la resistencia de los conductores a tierra. Aquélla depende de la resistencia específica del suelo y en alto grado de las dimensiones geométricas del electrodo de toma de tierra.

Para obtener la resistencia de puesta a tierra, se tiene que medir, por consiguiente, la corriente y su caída de tensión. Para ello basta medir la tensión entre la toma y un antielectrodo dispuesto con una separación de unos 20 m. tal que se pueda contar con que en él exista un potencial nulo. En la inmediata vecindad de la toma, existe una mayor caída de tensión, la cual, con grandes corrientes como las que circunstancialmente pueden ocasionarse en las instalaciones de alta tensión, puede ser peligrosa. Si un hombre pasa por este lugar existirá entre sus dos pies una diferencia de tensión (tensión de paso) en virtud de la cual circulará una corriente a través de su cuerpo. Ciertamente se presenta aquí la circunstancia favorable de que la parte de esa corriente que atraviesa el corazón es relativamente pequeña. Más desfavorable es el caso de ciertos animales; por ejemplo, las vacas, las cuales, a causa de su corpulencia y de la consiguiente mayor separación de sus extremidades, sirven de puente para mayores tensiones, y por añadidura su corazón se encuentra en la trayectoria de la corriente. Para prevenir tales peligros hay que proteger los alrededores de la toma.

Decisiva sobre la resistencia de difusión de la puesta a tierra es, ante todo, la resistencia específica del suelo. Esta vale para:

	<u>Ω-m</u>
Suelo Pantanoso.....	30
Tierra de labor y tierra de arcillosa .	100
Tierra arenosa.	200
Suelo de guijarros húmedo.	500
Suelo de guijarros o arenoso seco . .	1000
Suelo rocoso.	3000

Los electrodos de toma de tierra pueden ser de profundidad o superficiales. Los primeros son tubos de gran longitud introducidos en el suelo. Los superficiales son, por ejemplo, los cables o bandas de hierro que se entierran a una profundidad de unos 0.5 m, dándoles, por lo común, una disposición radial.

La fórmula para el cálculo de la resistencia a tierra empleando una varilla circular es la siguiente:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(L \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

Donde:

- R = Resistencia eléctrica de la conexión a tierra - mínima en ohms.
- ρ = Resistencia eléctrica específica del terreno -- en ohms por cm³.
- a = Radio de la varilla en centímetros.
- L = Longitud de la varilla en centímetros.

⊖ Conexión y Resistencia a Tierra

Valores aceptables recomendados.-

El más elaborado sistema de tierras que sea diseñado, puede ser inadecuado, a menos que la conexión del sistema a tierra sea adecuada y tenga una resistencia baja. Por consiguiente la conexión a tierra es una de las partes más importantes de todo sistema de tierras. Esto es también la parte más difícil de diseñar y obtener.

La perfecta conexión a tierra deberá tener una resistencia con valor cero, pero esto es imposible de obtener.

Para subestaciones grandes y estaciones de generación, el valor de la resistencia a tierra no deberá exceder de un ohm.

Para subestaciones pequeñas y plantas industriales, el valor de la resistencia a tierra no deberá exceder de 5 ohms. El NEC (National Electrical Code 1971) recomienda que la resistencia máxima no deberá exceder de 25 ohms.

La Resistividad de Diferentes Terrenos

Terreno	Resistencia (Ω ms) varillas de 5/8 Pulg. x 5 pies			Resistividad (ohms por cm ³)		
	Promedio	Mín.	Máx.	Promedio	Mín.	Máx.
Rellenos, escurias, salmuera, desechos	14	3.5	41	2,370	590	7,000
Arcilla, arcilla esquitosa, suelo arcilloso, tierra negra	24	2	98	4,000	340	18,300
Igual, con variaciones en las proporciones de arena y grava	93	6	800	15,800	1,070	135,000
Grava, arena, piedras, con arcilla pequeña o barro	554	35	2,700	9,400	50,000	450,000

El Efecto del Contenido de Agua o Humedad en la Resistividad del Terreno

Contenido de agua o humedad (% del peso)	Resistividad (ohms/cm ³)	
	Terreno superior	Barra arenosa
0	>1000 x 10 ⁶	>1000 x 10 ⁶
2.5	250 000	150 000
5	165 000	43 000
10	53 000	18 500
15	19 000	10 500
20	12 000	6 300
30	6 400	4 200

El Efecto de la Temperatura en la Resistencia del Terreno (Barro arenoso con 15.2% de humedad)

Temperatura		Resistividad (ohms por cm ³)
°C	°F	
20	68	7 200
10	50	9 900
0 (agua)	32	13 800
0 (hielo)	32	30 000
-5	23	79 000
-15	14	330 000

Cálculo de la resistencia a tierra.- la resistencia a tierra puede ser calculada y / o medida.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam.



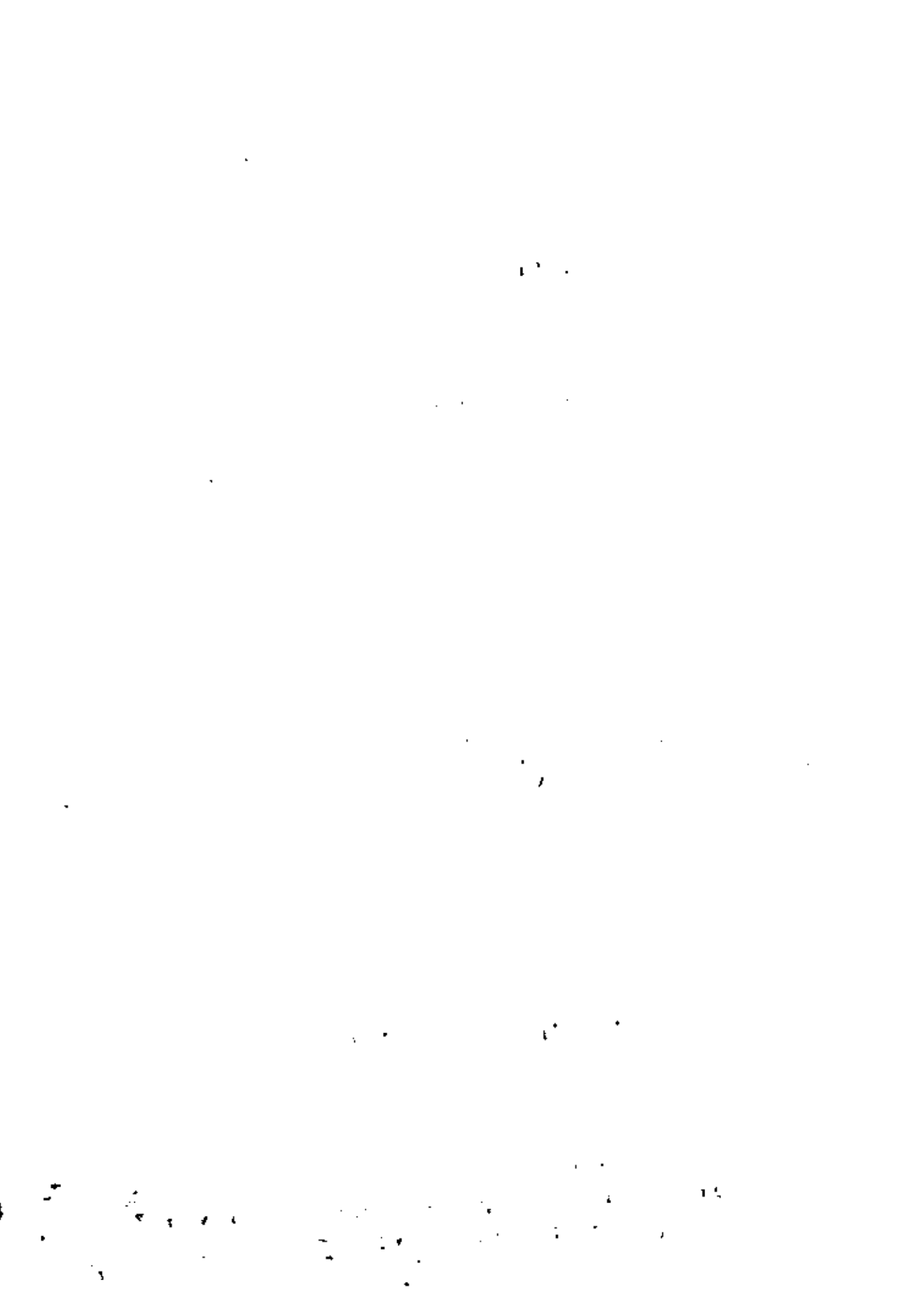
PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS DE BOMBEO

Tipos de Bombas
Centrífuga
Turbina Vertical
Sumergible

ING. ROBERTO FRANYUTTY

JUNIO, 1979.



CURSO DEL CENTRO DE EDUCACION CONTINUAFACULTAD DE INGENIERIASEMINARIO SOBRE BOMBAS SUMERGIBLESPRESENTADO POR :ING. ROBERTO FRANYUTTICONTENIDO

- 1.- Introducción
- 2.- Diseño
- 3.- Operación y Mantenimiento
- 4.- Aplicación de las bombas sumergibles
- 5.- Por qué usar bombas sumergibles ?

1.- INTRODUCCION .-

La edad " de las bombas sumergibles " tuvo su comienzo en Europa a principios de los años 20 de este siglo, cuando en Rusia se tuvo la necesidad de bombear aceite de pozos profundos. A partir de esta aplicación, se vió que este tipo de bombas podría utilizarse también en el bombeo de agua. La compañía KSB, fué una entre las pocas empresas dedicadas a la fabricación de bombas, que se dió cuenta de la importancia de este nuevo concepto y empezó a investigar una aplicación más general en la industria cuando hubiera necesidad de bombear líquidos desde grandes profundidades.

La compañía KSB concentró sus primeros esfuerzos en construir este tipo de bombas estando el motor sumergido en el agua, es decir con sus embobinados y partes rotativas totalmente sumergidas en agua. Ya que en este tiempo no se disponía de sellos mecánicos ó cuando más, de sellos con poca calidad industrial, este tipo de motor sumergido destacó como el diseño más lógico. Naturalmente que en el inicio no había resultados prácticos de alguna aplicación semejante.

La experiencia no tardó mucho en demostrar que este tipo de motor mostraba ventajas, por la rápida disipación del calor generada por el motor. El tipo del recubrimiento del alambre de embobinado, resultaba en una seria inconveniencia en cuanto a la relación del diámetro del alambre contra el diámetro del cable. Esto se notaba más significativamente en motores de baja potencia y diámetros pequeños. De manera que al principio se enfocó la fabricación a motores de potencias altas.

Esta fué la razón más sobresaliente por la cual la KSB nunca intentó fabricar motores sumergibles de capacidades pequeñas.

Durante los primeros 10 a 15 años del desarrollo de bombas sumergibles, los fabricantes encontraban barreras técnicas debido a que el aislamiento del alambre era de hule natural. Sólomente a partir del descubrimiento del hule sintético y más tarde de los materiales plásticos -- y con ellos las ventajas del alambre correctamente aislado y a prueba de agua -- empezaron los motores sumergibles a introducirse en el mercado del bombeo en pozos profundos. El peldaño hacia la fabricación de motores de alta potencia y voltaje, tales como 2300 y 6000 volts, fué sólomente una cuestión de tiempo y desarrollo.

Estos antecedentes significaron para la KSB el título como " El fabricante más experimentado en la fabricación de bombas sumergibles ". La fábrica KSB está dentro de las muy pocas compañías en el mundo que fabrican motores sumergibles con potencias mayores de 1000 HP.

El desarrollo de las bombas sumergibles en América tomó otra dirección. La bomba sumergible de 4" luchó por introducirse en el mercado de suministro de agua. No cabe duda que los fabricantes americanos con sus motores lubricados y enfriados por aceite, estuvieron a la cabeza en este campo. Durante los años 50 las bombas sumergibles de 4" fueron las que virtualmente llegaron a tener más aceptación. Durante el curso de los años 60, los motores sumergibles de 6" y 8" empezaron a competir contra las bombas tradicionales de turbina.(pozo profundo).

En ese tiempo no había ninguna razón aparente por la cual las bombas sumergibles de ese tamaño no pudieran introducirse en el mercado americano, como lo habían hecho en Europa 20 años antes. De esta manera la controversia en la aplicación de las bombas verticales tipo turbina y las sumergibles, se ha definido más claramente. Las bombas sumergibles han adquirido tal aceptación, que el suministro de agua en la industria y el suministro municipal, raramente hecha mano de las bombas de flecha tipo turbina convencionales.

2.- DISEÑO

2.1. Bombas sumergibles

La bomba sumergible es la adaptación de una bomba convencional de turbina de pozo profundo, que es más ó menos universalmente conocida. Sin embargo, las bombas sumergibles no están restringidas a impelentes de flujo mixto sólomente. El amplio rango de aplicaciones, que más adelante se expondrá, han definido el diseño tanto como de impulsores de flujo mixto, como de impulsores de flujo axial. En bombas más grandes de varios pasos y cuando el empuje axial es crítico para la chumacera de la bomba, se incluye la posibilidad de tener impelentes de doble succión.

2.2.1. Bombas de impelentes de flujo radial

La figura 1 muestra un arreglo típico de bombas sumergibles con impelentes de flujo mixto. La figura 2 muestra una bomba sumergible de flujo radial y pasos múltiples con doble succión. Como se puede ver de estas dos figuras, el líquido a bombear, entra, entre el cuerpo de impulsores y el cuerpo del motor.

Materias extrañas son filtradas por el filtro que se encuentra entre estas dos partes. El diseño de este tipo de bombas, normalmente es de pasos múltiples.

Las carcasas están radialmente bipartidas con el difusor integrado, ya sea por fundición ó insertado. La flecha tiene cojinetes entre cada paso de la bomba, así como en la succión y en la descarga. Los materiales de fabricación son normalmente hierro fundido ó bronce para las carcasas, bronce para el impulsor y acero inoxidable para la flecha, aunque es posible elegir otros materiales, dependiendo de la aplicación específica que se le vaya a dar a la bomba, dependiendo del líquido a bombear.

2.1.2. Bombas de flujo mixto.

El diseño general de esta bomba es semejante al de la radial antes descrito.

2.1.3. Flujo axial ó bombas de propela.

Existen dos diseños disponibles. El primer diseño es semejante al descrito anteriormente, el segundo es como el que se muestra en la figura 3 y su aplicación es generalmente para el control de inundaciones, drenaje ó semejantes, siendo las bombas hasta de 24" de diámetro.

2.2. Motores sumergibles.

El diseño básico, como se muestra en la figura 4, de los motores sumergibles permanece invariable para toda la gama de potencias. Los motores son llenados con agua potable. Sólomente se puede notar diferencia pequeñas en el diseño general del motor en sus partes de enfriamiento y en el estator.

El relleno con agua potable fué seleccionado por las siguientes razones :

El agua como enfriamiento es un excelente medio de transferencia de calor. Disipa el calor rápida y eficientemente, evita puntos aislados calientes y mantiene a los embobinados frescos. Este hecho toma más importancia cuando se trata de motores de potencias altas, donde el área de transferencia de calor es menor en relación al calor generado.

Algunos diseños de motores tienen un sistema interno auxiliar de recirculación para proveerlos de mejor enfriamiento.

En cuanto a la eficiencia se refiere, hay dos factores que influyen especialmente:

- a) El claro entre el rotor y el estator.
- b) La viscosidad del líquido que envuelve al rotor. Las pérdidas por fricción son directamente proporcionales a la viscosidad. De lo cual podemos concluir que el agua es mejor que el aceite, ya que genera menos pérdidas.

Para motores de gran tamaño en servicio continuo, el consumo de potencia es muy importante factor económico.

Por esto, las eficiencias merecen una atención muy especial.

A continuación se explican brevemente las ventajas y desventajas entre un relleno con agua y una con aceite.

LUBRICACION

El argumento de que el agua no es tan buen lubricante como el aceite, es solamente una verdad a medias. A lo que nos referimos, es que si se seleccionan los materiales adecuados, siendo esta selección el producto de la experiencia y el " Know-how ", el agua es tan buena como el aceite.

Finalmente la lubricación por agua es muy simple, ya que no requiere ni filtros, ni depósitos especiales, como sería el caso de una lubricación por aceite, además el agua necesaria para rellenar al motor es algo fácil de conseguir.

SELLOS :

El interior del motor de una bomba KSB sumergible, está relleno con agua normal de la llave. El embobinado del motor está completamente rodeado por esta agua. No es necesario ningún elemento para mantener agua fuera de este compartimiento, ya que el motor está diseñado para trabajar en estas condiciones.

Diseños con relleno de aceite dependen enteramente de un sellado perfecto para prevenir el agua del exterior entre al motor. Otros diseños hacen uso de envases de acero inoxidable para aislar el embobinado del agua. Pero tanto el sello mecánico como el envase pueden fallar ocasionando escurrimiento del agua, estropeándose así el motor.

El motor KSB relleno con agua también incluye un sello mecánico. Su primera función sin embargo, no es la de mantener el agua fuera del motor, sino para prevenir la entrada de arena ó elementos abrasivos dentro del motor. Si el sello mecánico dejara de funcionar como originalmente previsto, el motor generalmente no pierde sus condiciones de funcionamiento, no siendo así el caso de los motores llenados con aceite.

CONTAMINACION:

Motores rellenos de aceite usados para el suministro de agua, pueden contaminar al agua que se bombea, si se tienen fallas en el sello. Pero en el caso de los motores rellenos de agua no se presenta obviamente este problema .

La carcasa del estator está maquinada internamente. El laminado del estator está hecho de lámina de metal dynamoy embutidas en la carcasa del estator. Los embobinados colocados en la laminación del estator están hechas de cobre ya sea en forma sólida ó de alambre con un aislamiento de material sintético, tal como " P V C " ó " P E ", siendo este último el más apto para temperaturas altas. Actualmente existen materiales aislantes para voltajes hasta de 6 KV.

Materiales aislantes para voltajes de 10 KV y mayores, se encuentran actualmente en desarrollo. Cabe notar que la KSB introdujo el primer motor de 6 KV.

La técnica de embobinado para motores sumergibles es también utilizada en bombas para la alimentación de calderas. Estas bombas han demostrado su confiabilidad en múltiples aplicaciones. Motores de 6 KV y con potencia de salida hasta de 3300 HP, están dentro del programa de fabricación normal. Para motores mayores de 3300 HP se requiere de aislamientos muy especiales, ya que su alimentación es de 10 KV. Este aislamiento está todavía en vías de perfeccionamiento.

Los extremos del embobinado están soportados de tal manera que no llegan a rozar con las carcacas de baleros. Baffles de hule colocados en la parte inferior de la carcasa determinan la posición de los embobinados.

Las ranuras donde se han de colocar los embobinados del estator van previstas con una laminita protectora, lo cual facilita y protege la colocación de los embobinados y a su vez ya estando en servicio el motor, se disminuye la posibilidad de que por fricción se estropee el aislamiento.

Las flechas están soportadas por dos baleros. Los bujes guías están hechos de bronce y en bombas de mayor tamaño el metal está impregnado con grafito, procurando darse en los dos casos un maquinado muy fino.

La flecha del rotor del motor soporta al laminado del rotor, siendo estas láminas de material Dynamo. El rotor contiene además barras y anillos en corto circuito. Las conexiones en corto circuito están cobrizadas. Un anillo de bronce se coloca detrás de cada anillo en corto circuito para facilitar el balanceo del rotor.

El empuje axial de la bomba está soportado por una chumacera tipo Kingsbury.

La cara del anillo de empuje está cubierta por una capa muy delgada de material sintético. El empuje admisible para este material, es de 420 Psi para motores de 2 polos, ya sea de 50 ó 60 cps. y de 280 psi para motores de 4 polos igualmente de 50 y 60 cps.

Al fondo de la carcasa de chumaceras se localiza un diafragma de hule. Esto tiene su razón, ya que es el compensador de expansión del agua de enfriamiento del motor y evita la formación de presiones al elevarse la temperatura del motor.

3.- HISTORIA DE SERVICIO Y MANTENIMIENTO

El número de bombas sumergibles en servicio es innumerable. Para dar un ejemplo tenemos un cliente que tiene 2000 bombas sumergibles en servicio, cuya totalidad requiere 360 MW de potencia a la entrada, que nos resulta por unidad aproximadamente en 250 HP. Las bombas más grandes instaladas por este cliente son de 6KV de 2200 HP, y cuya velocidad de operación es de 1500 rpm. Estas quizás son las bombas sumergibles más grandes del mundo.

A través del tiempo se han logrado mejoras en el diseño de este tipo de bombas, lo cual se refleja en el servicio que llega a ser hasta de -- 60,000 horas por equipo. Naturalmente que la vida útil de estas bombas está dado por el líquido que se bombea, contenido en sólidos y otros factores. En este sentido las bombas sumergibles no difieren grandemente en su diseño comparadas a las llamadas de pozo profundo (tipo turbina). Como hemos visto anteriormente el motor no se ve afectado grandemente por la calidad del agua bombeada. Para citar el ejemplo del cliente antes -- mencionado, las bombas con motores de 6 Kv y potencias de 1100 HP, han estado en servicio por 45,000 horas. Este motor nunca ha sido reparado y todavía está en servicio. Generalmente se recomienda una revisión periódica de los motores cada 3 años, así como del aislamiento, el nivel del agua del motor, profundidad del agua en el pozo y condiciones de carga de la bomba. También se recomienda la medición del voltaje y corriente, cada 3 meses.

El historial acumulado en estas revisiones periódicas, nos informa de una manera excelente las condiciones, tanto del pozo, como del servicio propio de la bomba y nos dá un lineamiento para el mantenimiento del equipo.

4.- Aplicación de las bombas sumergibles

La aplicación de las bombas sumergibles, varía desde el servicio público, hasta para usos domésticos en aprovisionamiento de agua, también en la industria y en la minería (drenaje de minas), drenaje de la tierra, desajamiento de agua para propiciar excavaciones secas, bombeo de gasolina, aceite y gas líquido, y otros.

A continuación damos ejemplos de las aplicaciones que tienen estos equipos.

4.1. - Utilización de bombas sumergibles en la minería a campo abierto.

Para este campo de aplicación se utilizan bombas de fabricación normal así como algunas de diseño especial, ver figura 2.

Esta bomba es de doble succión con 11 pasos y trabaja a 1480 rpm. Sus condiciones de trabajo son 1000 m³/h con una carga de 350 m.

La figura 5 muestra las curvas características de la bomba con una eficiencia máxima de 80%. Una instalación típica se muestra en las figuras 6 y 7.

La bomba más grande de este tipo, nos proporciona un gasto de 1800 m³/h y una carga de 270 m.. El motor de 6 KV entrega 2150 HP. Esta bomba se muestra en las figuras 8 a 12.

4.2.- Minería bajo tierra

En las minas de carbón se utiliza este tipo de bombas para drenar el agua que se acumula en los túneles de excavación .

Dependiendo de la profundidad del nivel de la mina donde se encuentra la bomba sumergible, éstas bombearán directamente a la superficie ó a un cárcamo recolector del cual se rebombeará a la superficie. Ver figura 13.

Aquí, el agua acumulada en el 4^o piso de las minas de "REDEM" del conjunto minero " SAAR " es bombeada al 2^o piso a través de dos bombas sumergibles y de ahí nuevamente bombeada por medio de equipos convencionales hacia la superficie.

Las ventajas del drenado en minas bajo tierra utilizando bombas sumergibles en lugar de sistemas horizontales convencionales, son las siguientes:

- a).- Ahorro considerable en cuanto al personal de servicio, ya que no se necesitan cuartos ni fundamentos especiales para las bombas.
- b).- Sumergencia completa garantizada.
- c).- No hay problemas de succión.
- d).- Un sistema 100% a prueba de explosión .

La figura 14, nos muestra una bomba sumergible que bombea 260 m³/h, de agua sucia y agresiva a 220 m. Su eficiencia es de 80% y la eficiencia del motor 88%. El voltaje es de 500 y su velocidad 2935 rpa.

4.3.- Bombas sumergibles para el manejo de aceite crudo, subproductos de éste y gas líquido.

El almacenamiento subterráneo de aceite crudo, derivados del petróleo y gas líquido, cobra cada vez más importancia ya que ofrece ventajas económicas notables al compararlas con el almacenamiento tradicional en tanques, además de sus ventajas propias por su alta seguridad ya que se minimizan los peligros de explosión y contaminación ambiental.

Este tipo de almacenamiento se prefiere para productos como petróleo, aceite diesel, aceites combustibles, gasolina y gas líquido (propano y butano). Este procedimiento es utilizado por refinerías, plantas eléctricas y la industria militar. Las cavernas pueden ser minas abandonadas ó cavidades grandes hechas en minas de sal. Aunque la mayoría de este tipo de almacenes se logra por la perforación directa en roca masiva.

Este procedimiento nuevo ha tenido éxito en los países escandinavos, ya que disponen ellos de un subsuelo rocoso.

En la figura 15, vemos un arreglo típico de 4 excavaciones en una mina de sal cerca de Rustringen Alemania, Federal.

En la figura 16, se muestra una excavación directa en roca.

La figura 17, muestra un acercamiento a las bombas en esta caverna.

El aceite por tener un peso específico menor que el agua, flota sobre ésta, que es la acumulación de derrames internos de la caverna y la cual se concentra en el fondo de la misma. El nivel del agua es controlado por medio de pequeñas bombas sumergibles evitándose así su inclusión en el bombeo del aceite almacenado.

4.4. Abastecimiento de agua

La aplicación que vemos en la figura 19, es una de las tantas que tienen las bombas sumergibles. Dos bombas sumergibles elevan agua desde un lago hasta la fábrica de papel " Alexander Forest " de la división de papel de la fábrica Mackenzie Pulp. Las bombas están colocadas horizontalmente en un fundamento incluido en el suministro del equipo, a una profundidad de 20 m bajo el nivel del agua.

La fábrica KSB suministró las unidades completas. La instalación de este equipo fué realizada por un grupo de buzos.

Los datos de estas bombas son : Gasto 1800 m³/h, Carga Dinámica 70 m., a una velocidad de 1770 rpm., y potencia de 650 HP.

4.5. Bombas sumergibles para prevención de incendios.

Las bombas sumergibles se usan con frecuencia como bombas contra incendio.

Se usan mucho en los puertos navales permanentemente sumergidas. Grandes instalaciones de este tipo se encuentran en Hamburgo y Rotterdam. Las ventajas de estas bombas en estos sitios son el que no se atascan por el hielo que se forma en la superficie del agua en invierno, lo cual las hace disponibles en todo tiempo.

4.6. Estaciones Booster

La demanda de este tipo de estaciones va en incremento. Nuestra casa matriz fabrica una diversidad de modelos de estaciones booster entre las cuales algunas van equipadas con bombas sumergibles. La figura 20 muestra 3 de estas estaciones. La presión de descarga se mantiene independiente de la presión de entrada. La ventaja de estas unidades, es que casi no necesitan mantenimiento y el nivel del ruido producido es muy bajo. Tampoco hay escurrimientos debido a juntas defectuosas ó fallas de sellos mecánicos, lo cual sucedería con una bomba común y corriente. En pocas palabras es un sistema listo para conectarse y trabajar, haciendo falta únicamente la instalación en la tubería.

5. Por qué usar bombas sumergibles ?

Vamos a resumir brevemente las ventajas de las motobombas sumergibles.

El problema que hemos querido resolver, es el de elevar agua evitándose las inconveniencias en la succión. Las bombas sumergibles nos solucionan este viejo problema de una manera óptima. Las bombas de pozo profundo han dominado el campo del bombeo desde grandes profundidades y con ello han almacenado gran experiencia en este tipo de operaciones, la cual se ha analizado para ser competitiva a la bomba sumergible. A continuación enlistamos las propiedades de la bomba sumergible que la hace elegible para la aplicación en pozos profundos :

Inversión inicial baja.

Definitivas ventajas económicas generales.

Operaciones de mantenimiento y reparación reducida.

Alto nivel de adaptabilidad.

Ahorrador de espacio en áreas muy pobladas.

Protegida contra elementos dañinos exteriores ó vandalismo, etc.

Sin problemas en la succión ó pérdida del cebado.

Adaptable aún en pozos fuera de la vertical.

Extremadamente silenciosos y libres de vibraciones.

Profundidad de instalación virtualmente sin límite, es decir el límite es la curva característica de la misma bomba.

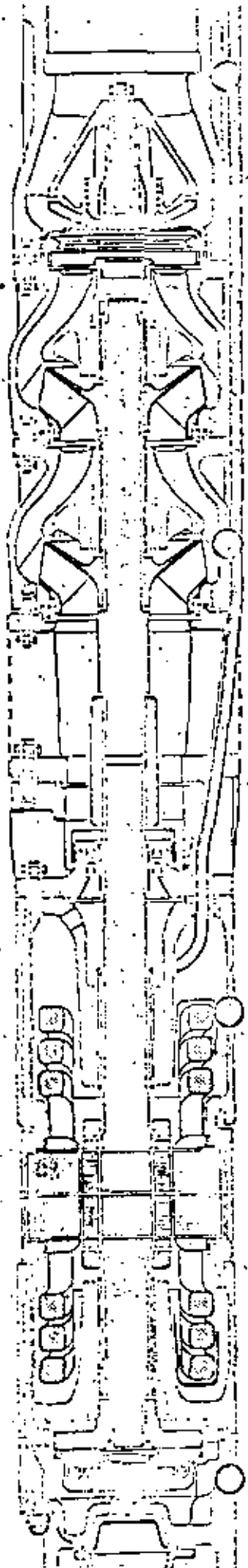


Fig. 1

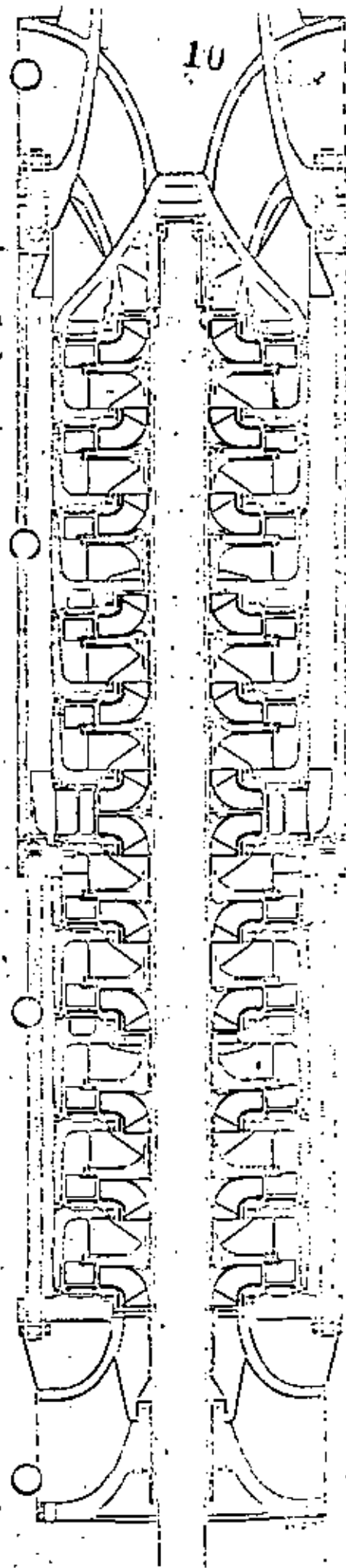


Fig. 2

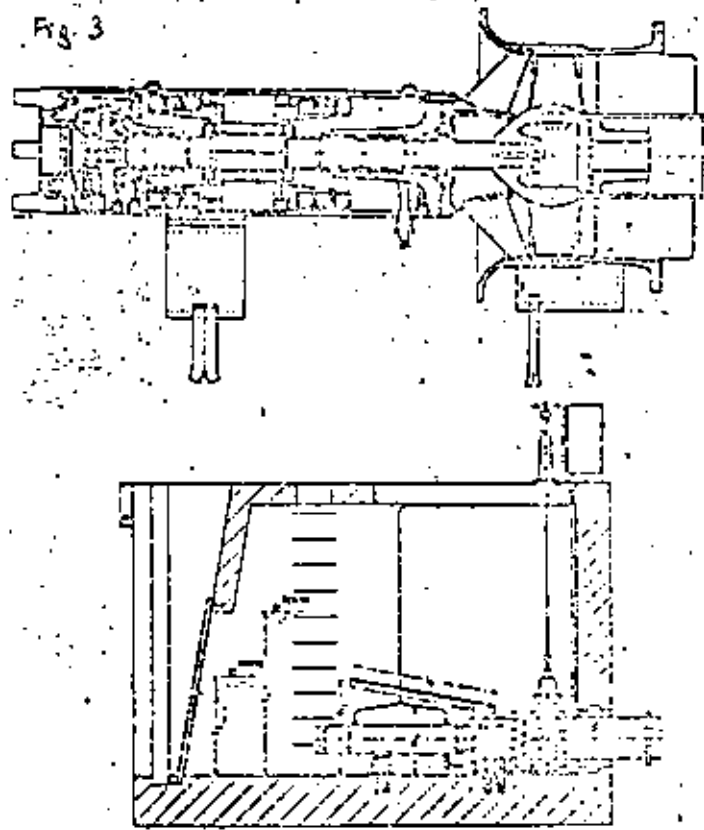
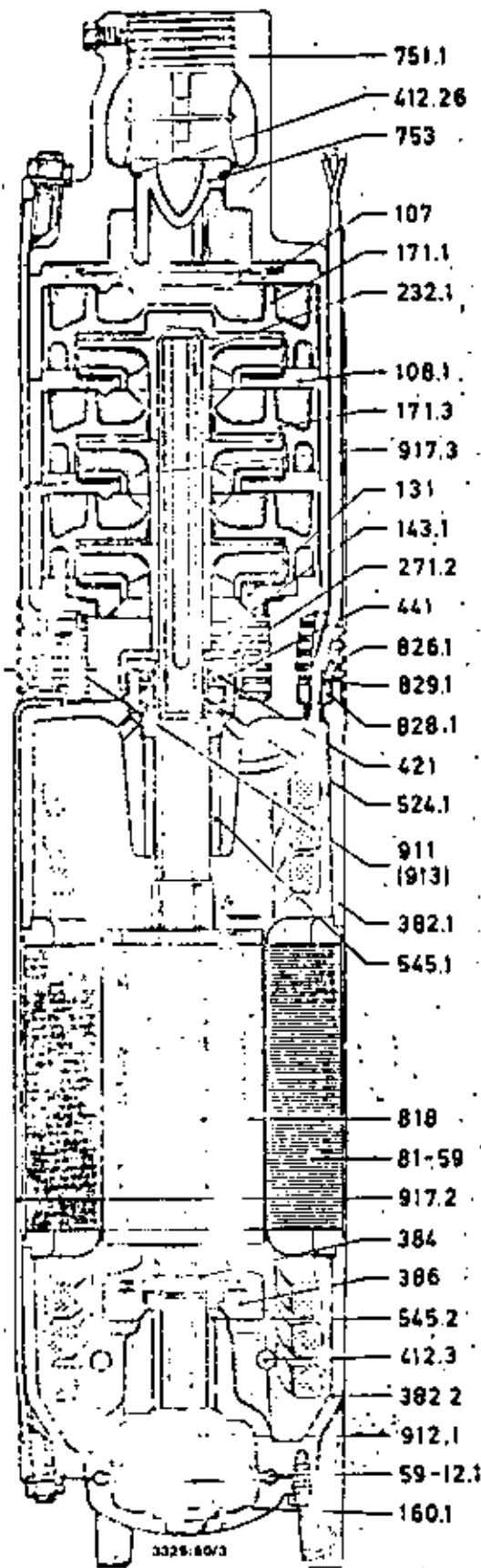


Fig. 3

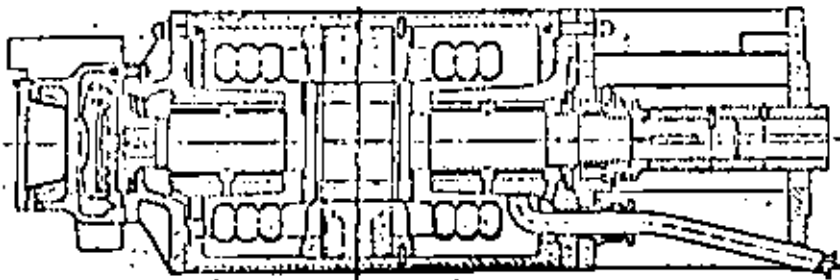


Teil Nr.	Benennung
59-12.1	Membrane
61-59	Stator
107	Druckgehäuse
108.1	Stufengehäuse
131	Einführung
143.1	Saugstab
150.1	Deckel
171.1	Leitrad
171.3	Leitrad
232.1	Rechtslaufrad
271.2	Bandglocke
382.1	Lagerkörper
382.2	Lagerkörper
384	Axiallagersteller
386	Axiallagertring
412.26	Runddichtring
412.3	Runddichtring
421	Radialdichtring
441	Gehäuse für Wellendichtung
524.1	Wellenschutzgüte
545.1	Lagerbuchse
545.2	Lagerbuchse
751.1	Ventilgehäuse
753	Ventilkegel
818	Rotor
826.1	Kabelstopfbuchse
828.1	Kabelgummiring
829.1	Kabeldruckring
911	Füllschraube
912.1	Entlüftungstopfen
913	Entlüftungsschraube
917.2	Bandanker
917.3	Bandanker

Fig. 4

Abdichtung der Gehäuseteile gegeneinander durch: Terosen.
 Bei Verwendung des Aggregates in einer Hochwasseranlage mit automatischer Belüftung des Druckbehälters durch unser Belüftungsventil in der Steigrohrleitung muß der Ventilkegel (753) ausgebaut werden.

Bei Ersatzteilbestellungen sind unbedingt anzugeben: Pumpentyp, Motortyp, Werke-Nummer, Benennung der Teile, Teil Num., Stückzahl, Versandart.



Stromart: Drehstrom 50 Hz
 Nennspannung: 6 KV
 Drehzahl: 1475 U/min
 Nennstrom: 207 A
 Nennleistung: 1600 KW
 Wirkungsgrad: 92,5 %
 Max. Durchmesser: 680 mm
 Baulänge: 3 985 mm
 Gewicht: 6 650 kp
 Motor wassergefüllt, Wickeldraht kunststoffisoliert, Umlaufkühlung mittels MÜHLlaufrad

Bild 4

Fig. 4

Unterwassermotor

L 9.13

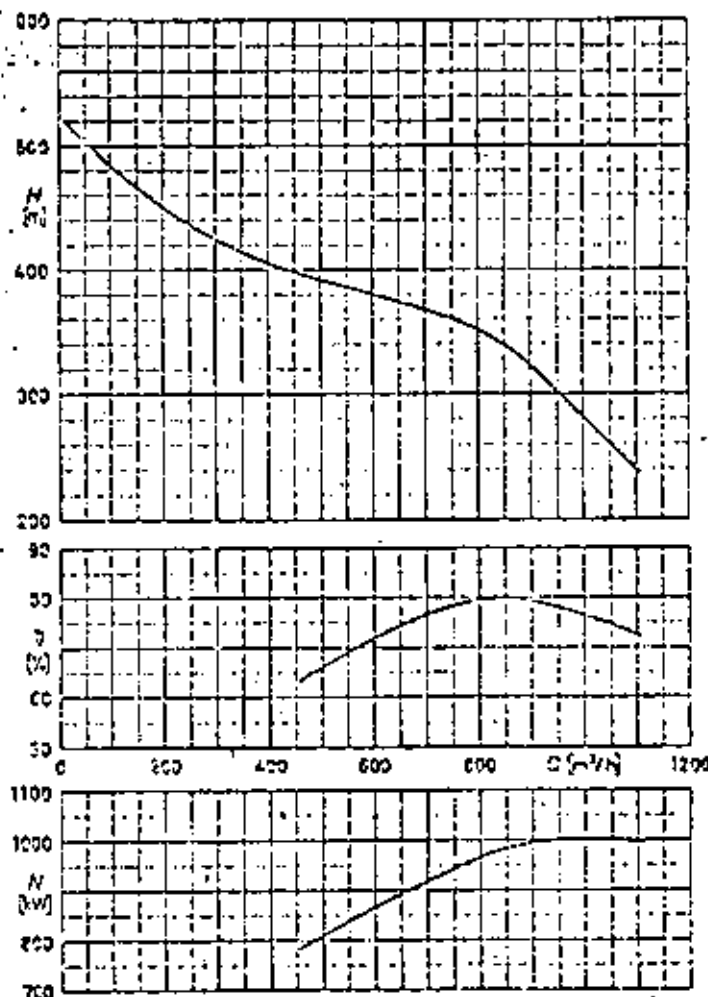


Fig. 5

MSB

 Kennlinie der
 DPG 534/11 n=1480 U/min

M 9.05

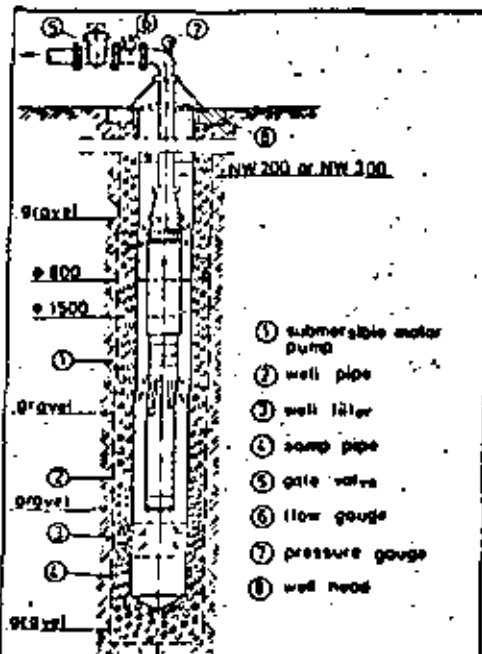


Fig. 6. Section through a deep well with submersible motor pump.

Fig. 6

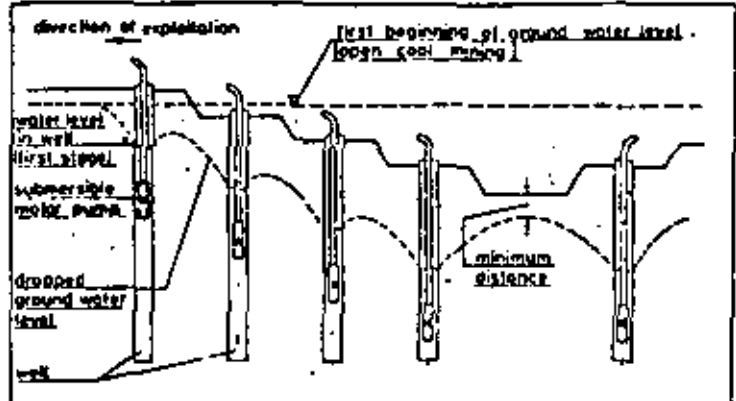


Fig. 7. Section through an open coal mine.

Fig. 7

Fig. 9, 10

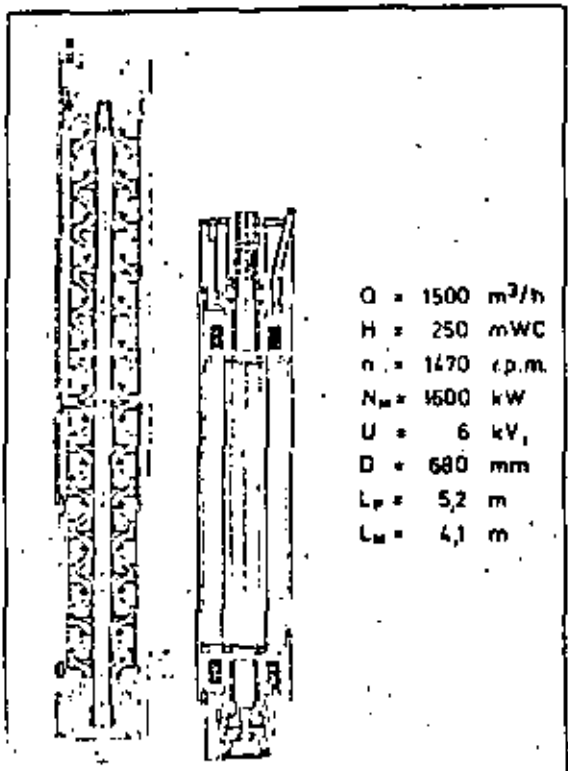


Fig. 8. Submersible motor pump

Fig. 8

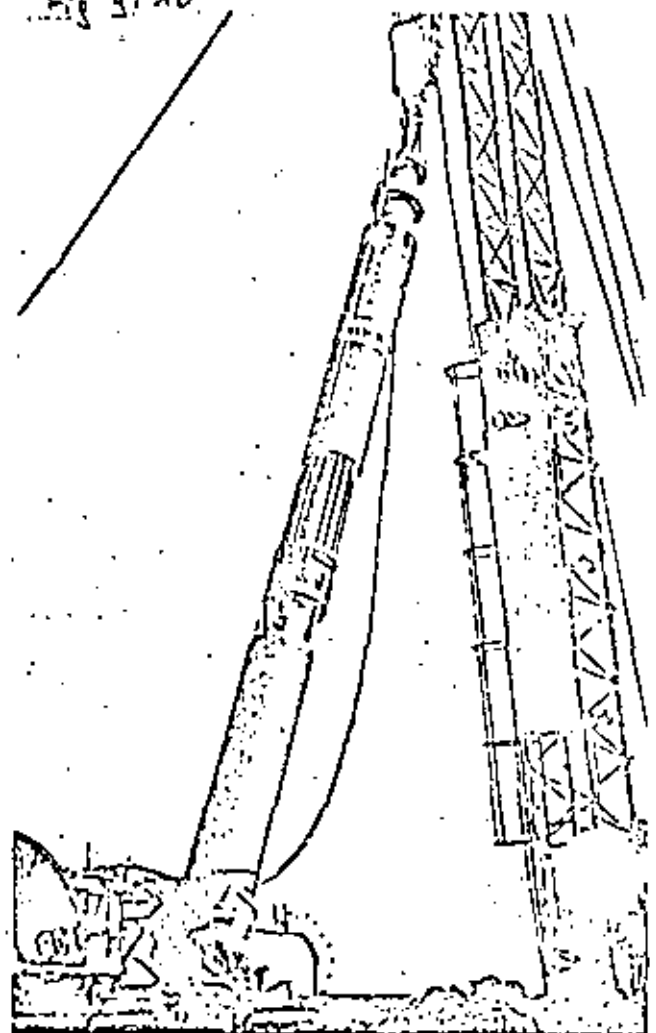


Fig. 9, 10

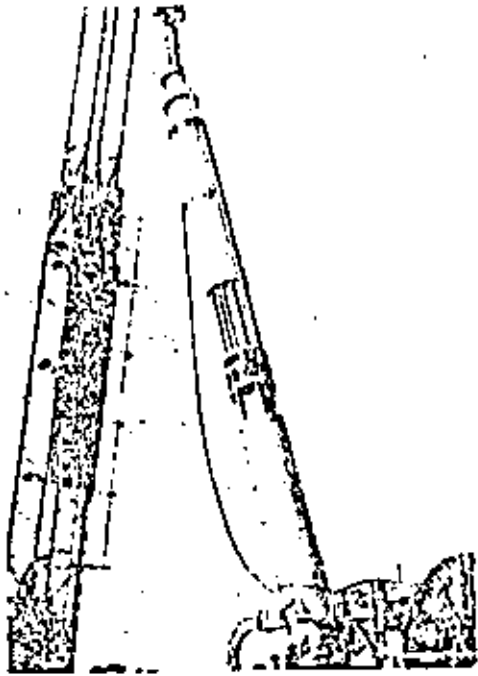


Fig. 11 a. 12

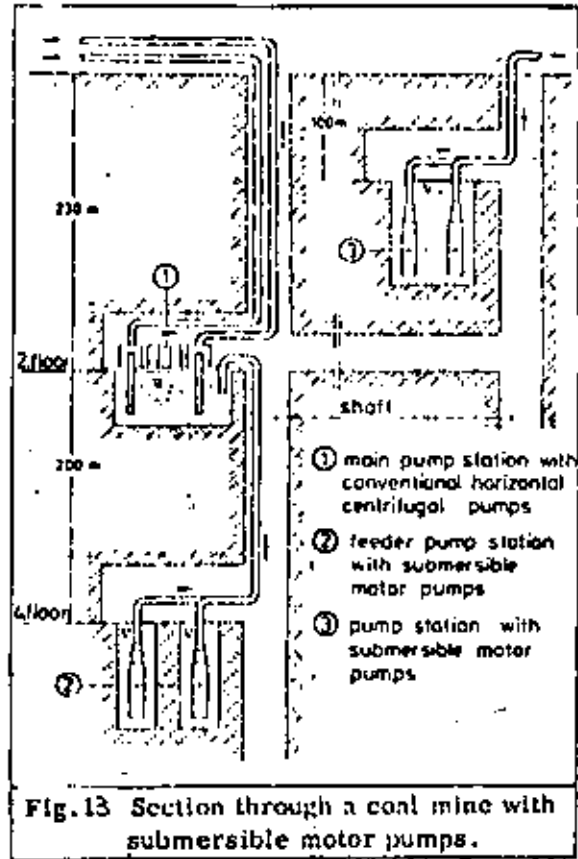


Fig. 13 Section through a coal mine with submersible motor pumps.

Fig. 13

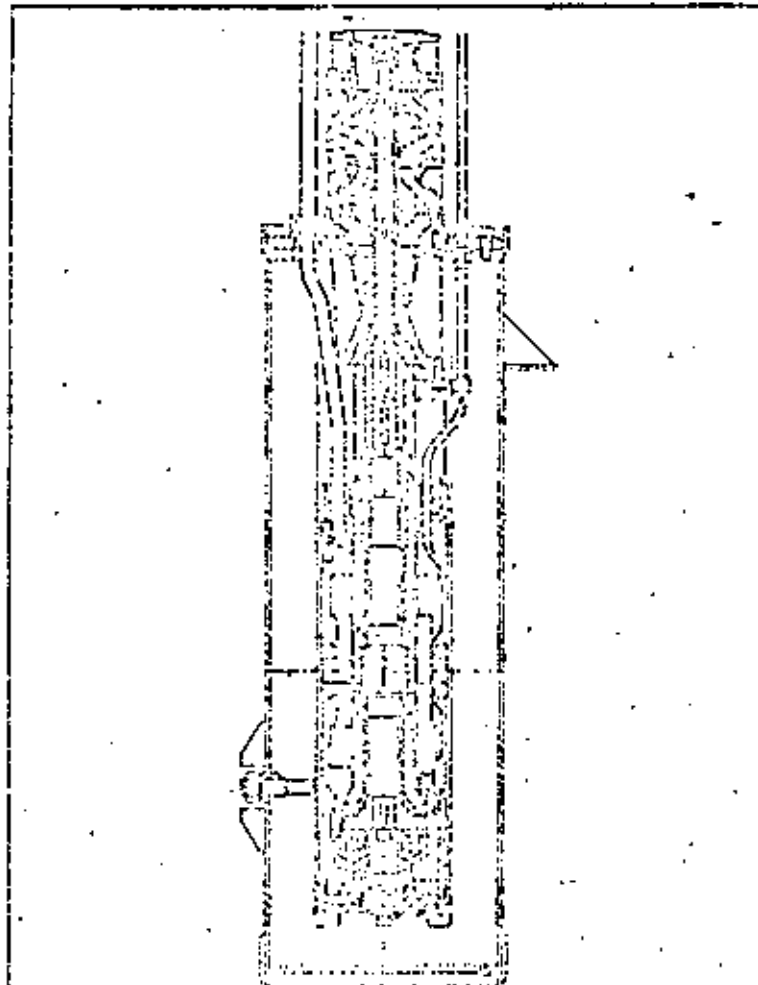


Fig. 14

Schlagwellengeschützte
 Untertageantriebspumpe
 DRT 488/500TP 2503

11 2 07

Fig. 14

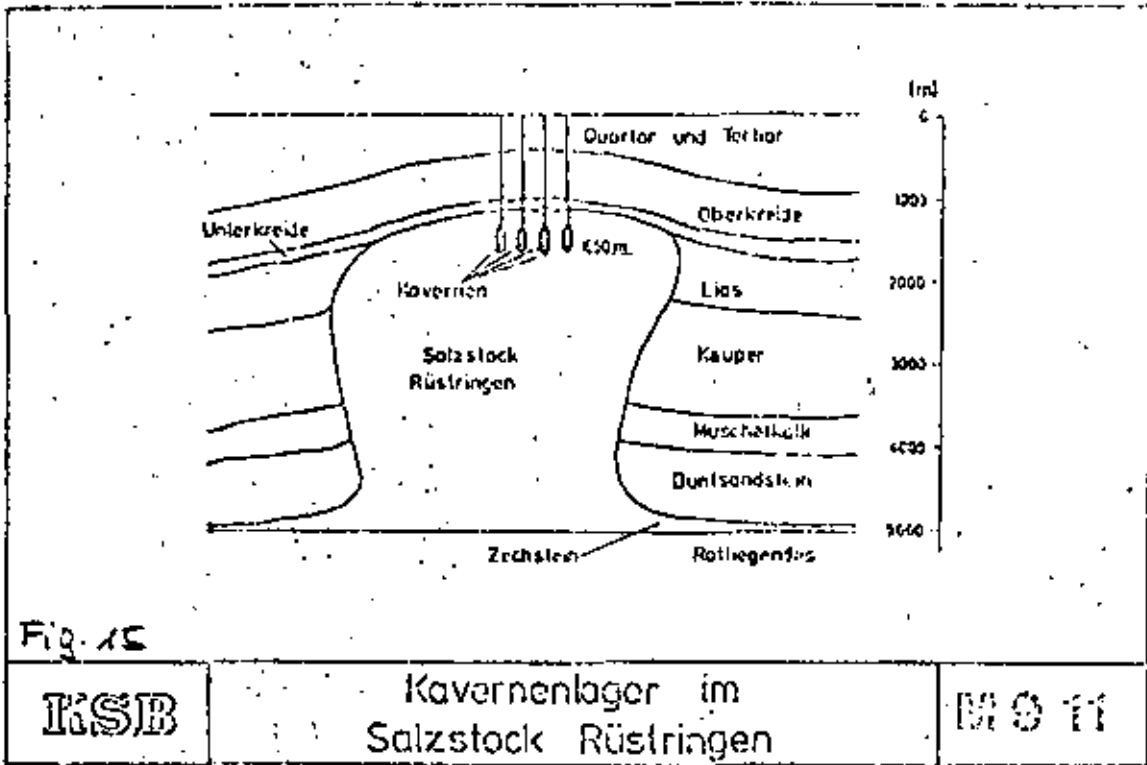


Fig. 15

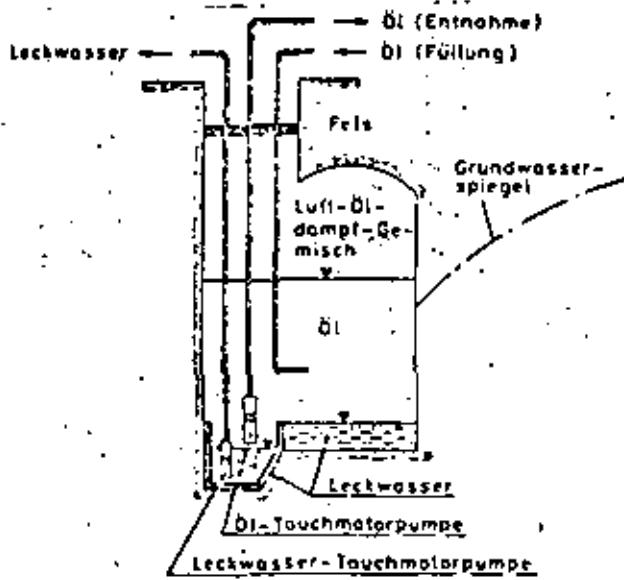


Fig. 16

KSB	Kavernenanlage mit festem Wasserbett	M 9 12
-----	--------------------------------------	--------

Fig. 16

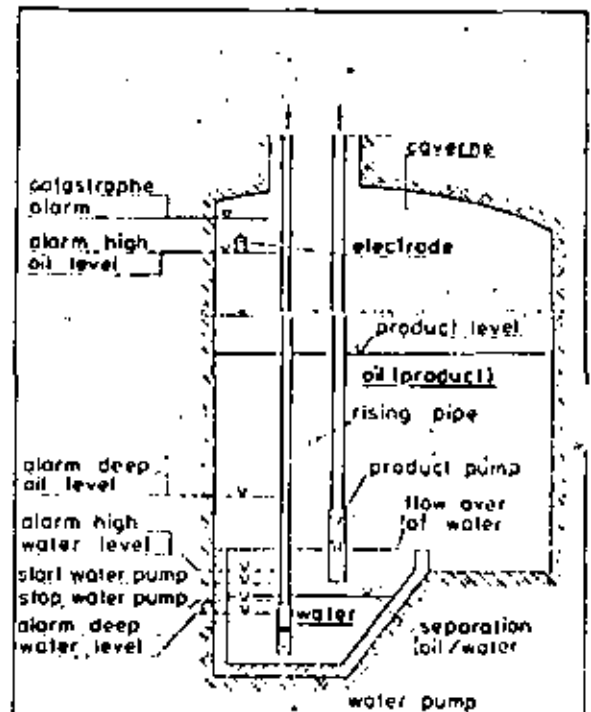


Fig. 17 Level control in a storage cavern.

Fig. 17

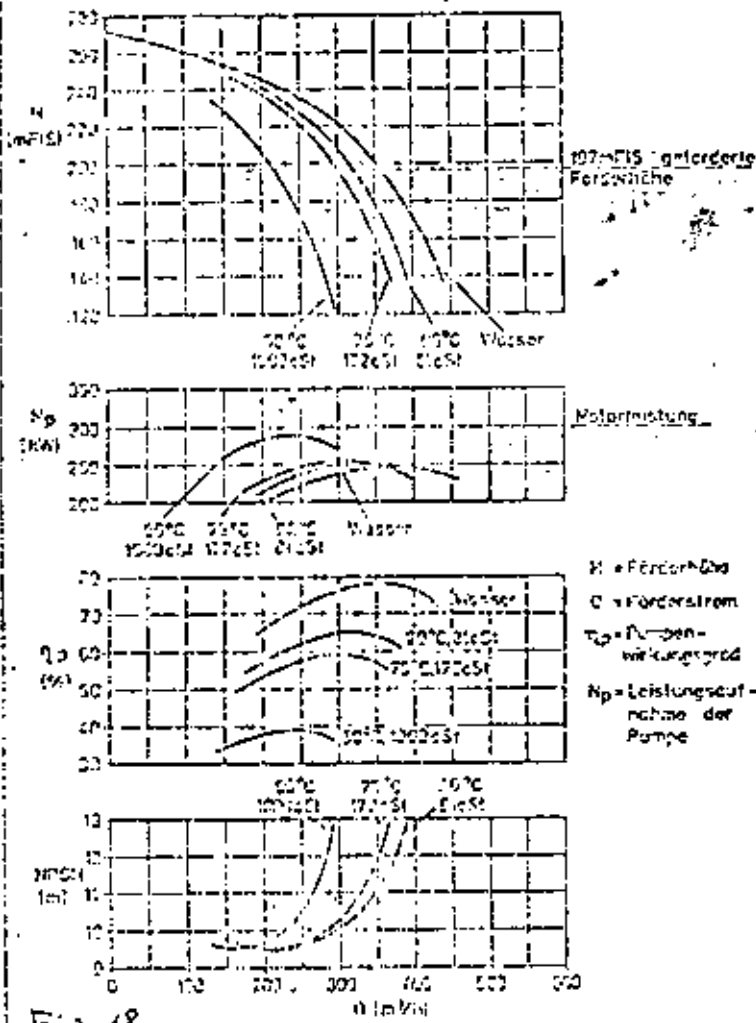


Fig. 18

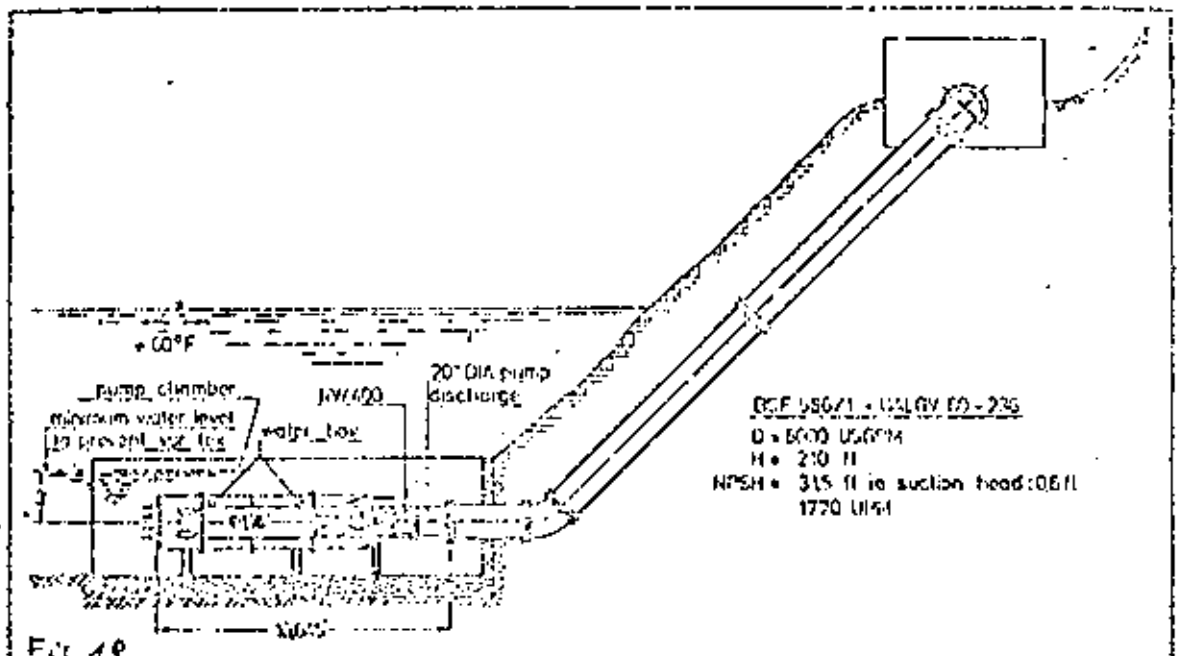
BRUNNEN DGF 486/5+VB4103 M 9 10

Fig. 18



Fig. 20

Fig. 20



BRUNNEN

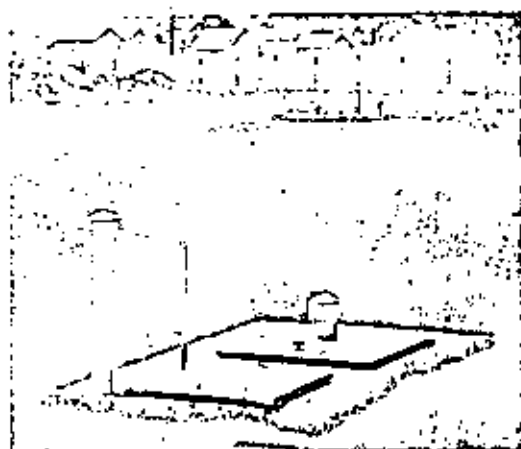
Anlage Alexander Forest
DSF 586/1 + UALGV 60-236

N 9.03

Fig. 19

Motobombas sumergibles para el abastecimiento de agua potable

18



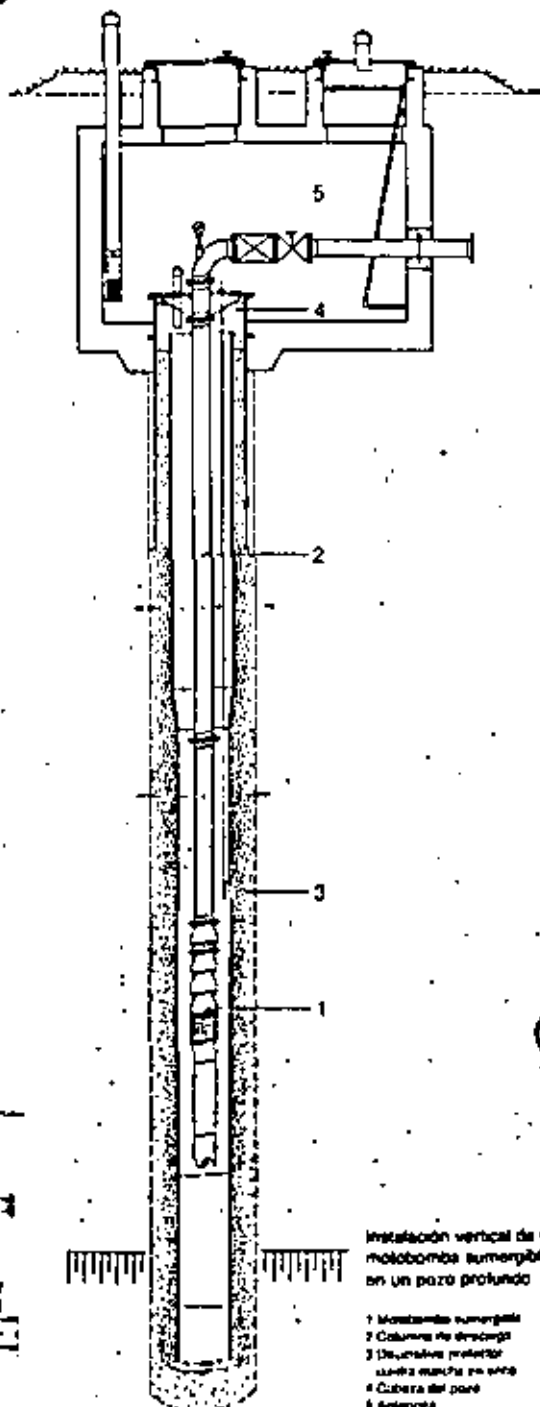
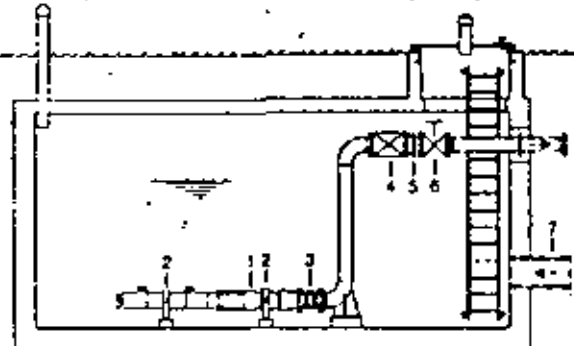
La obtención de agua es uno de los principales campos de empleo de las motobombas sumergibles. Según las características del suelo y de la veta de agua subterránea, el agua potable se bombea de diferentes profundidades:

de pozos profundos perforados o normales,
de pozos o depósitos rasos poco profundos.

Las motobombas sumergibles se instalan verticalmente y en casos especiales, según el motor y la bomba, también en posición horizontal o inclinada, e impulsan el agua bien a estaciones de tratamiento o directamente a depósitos elevados o estaciones de distribución.

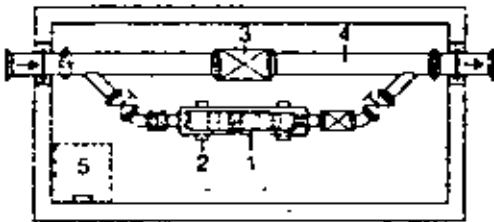
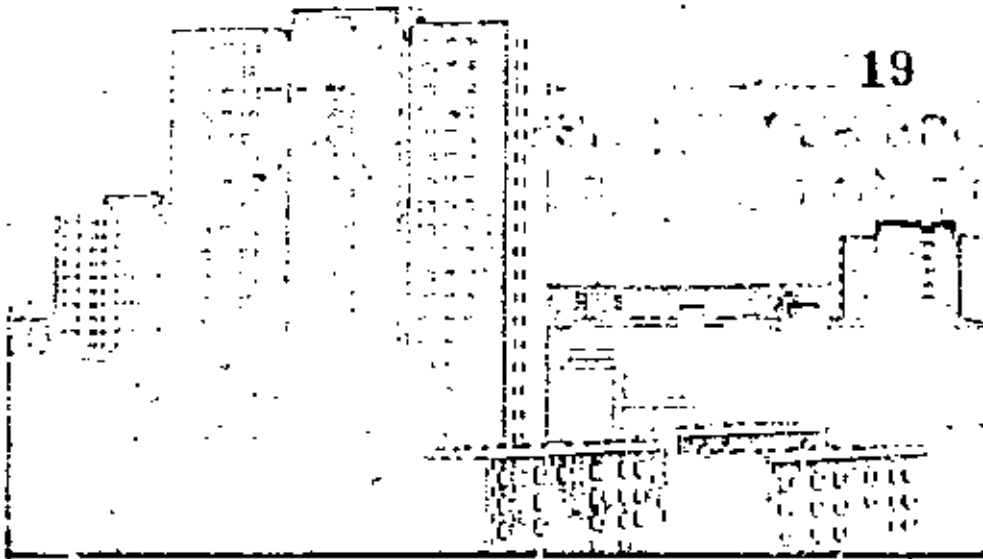
Instalación horizontal de una motobomba sumergible en un depósito raso.

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Soportes de la bomba
- 3 Pieza de conexión
- 4 Válvula de retención hidráulica
- 5 Pasa a un lado
- 6 Válvula de cierre
- 7 Carga



Instalación vertical de una motobomba sumergible en un pozo profundo

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Columna de protección
- 3 Dispositivo protector contra marcha en seco
- 4 Cubeta del pozo
- 5 Anillo



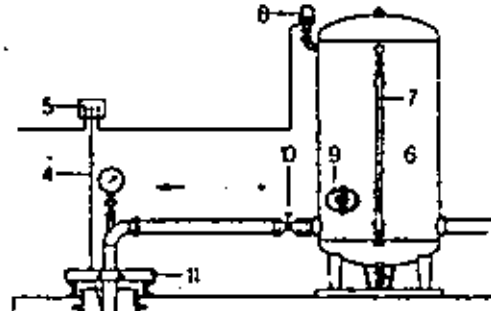
Motobomba sumergible con camisa de presión como bomba elevadora de presión paralelamente a la tubería principal de la red de distribución

- 1 Motobomba sumergible con camisa de presión (en bypass)
- 2 Sopones de la bomba
- 3 Válvula de retención (hydrostop)
- 4 Tubería de la red
- 5 Abertura para vista o montaje

Además del empleo en pozos, las motobombas sumergibles se utilizan cada día con más frecuencia como bombas para la elevación de presión.

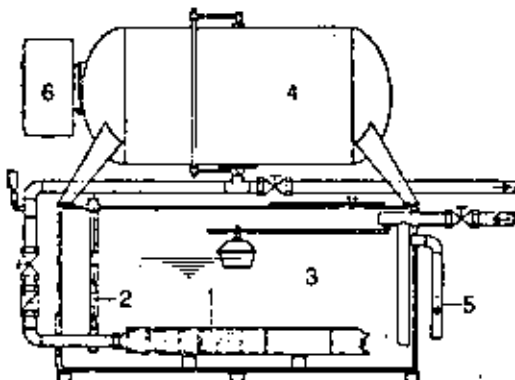
Sin grandes costos se pueden instalar horizontalmente en una camisa de presión directamente en la tubería de la red de abastecimiento o paralelamente a ella. Para la elevación de presión en edificios altos se emplean equipos compactos con motobombas sumergibles instaladas.

Si no se tiene conexión directa a la red central de abastecimiento de agua o si por motivos de economía se desea tener sistemas de abastecimiento de agua propios, entonces se emplean las motobombas sumergibles como bombas ideales para pozos profundos en conexión con un sistema automático de abastecimiento de agua. Con ellas se abastecen, por ejemplo, casas aisladas, fincas, casas de fin de semana o de cacería.



Equipo para el abastecimiento de agua en casas

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Columna de descarga
- 3 Válvula para carga de aire
- 4 Cable
- 5 Tablero de control
- 6 Tanque de presión
- 7 Nivel de agua
- 8 Precastado
- 9 Regulador de aire
- 10 Válvula de cierre
- 11 Abrazadera soporte



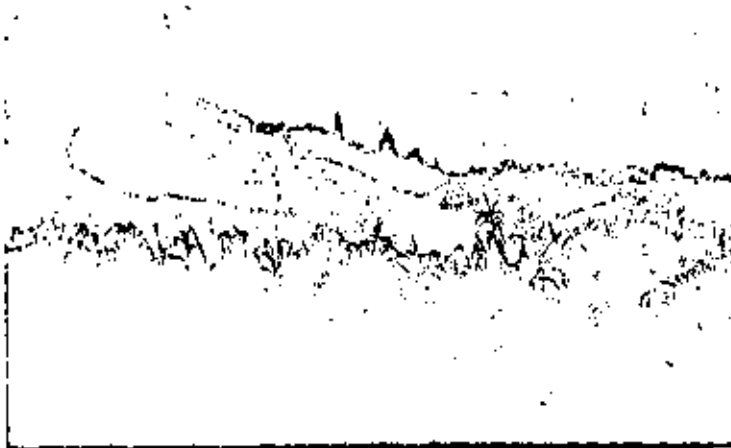
Motobombas sumergibles para la elevación de presión en equipo compacto HYAMAT UHS para conexión indirecta (según DVGW hoja W314)

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Mando por electrodos
- 3 Depósito de aspiración sin presión
- 4 Tanque especial de presión
- 5 Rebose
- 6 Tablero de mando

(6)

Motobombas sumergibles para el abastecimiento de aguas industriales

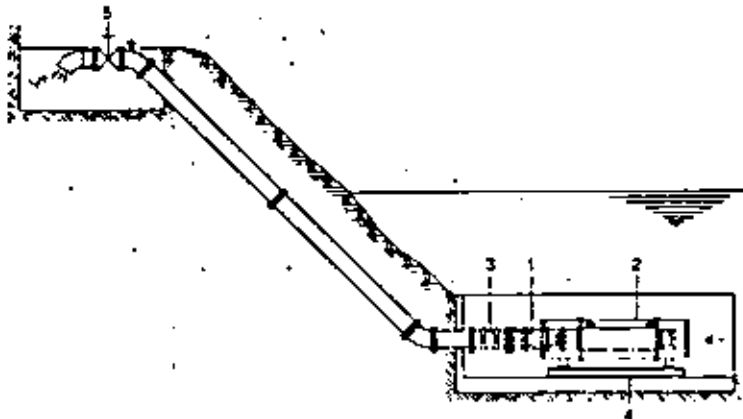
20



Si en la industria o en explotaciones agrícolas se necesitan continuamente grandes cantidades de agua como por ejemplo para el riego por aspersión o si se necesita cubrir temporalmente una necesidad punta, entonces, por razones económicas, se recomienda utilizar un sistema de abastecimiento de aguas. Las motobombas sumergibles impulsan agua de pozos, lagos o ríos.

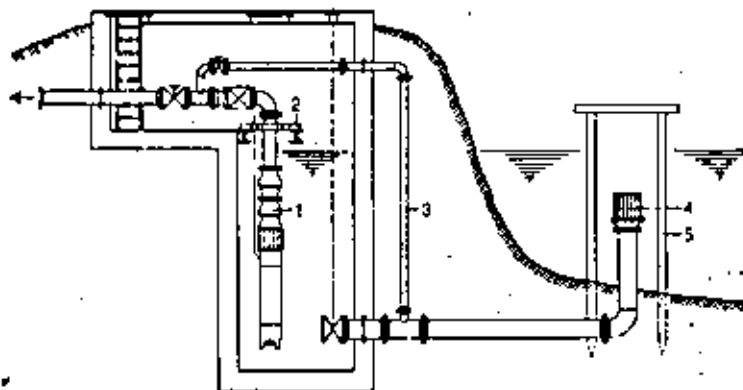
Si la presión existente en la red de abastecimiento de agua es insuficiente, entonces se utilizan equipos compactos para la elevación de presión con motobombas sumergibles instaladas como por ejemplo, para hidrantes, equipos contra incendios, equipos de pintura, equipos de lavado y equipos de acondicionamiento de aire.

También se utilizan motobombas sumergibles para auríferos y dragados de agua, ya que ellas permiten una ejecución sencilla y económica. También se utilizan con frecuencia en equipos de recirculación de agua de refrigeración.



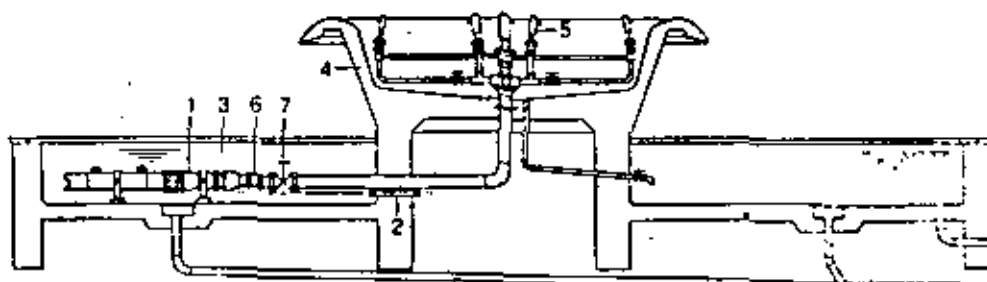
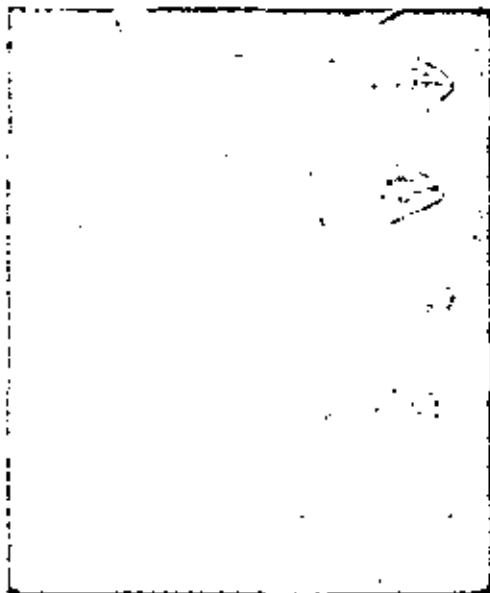
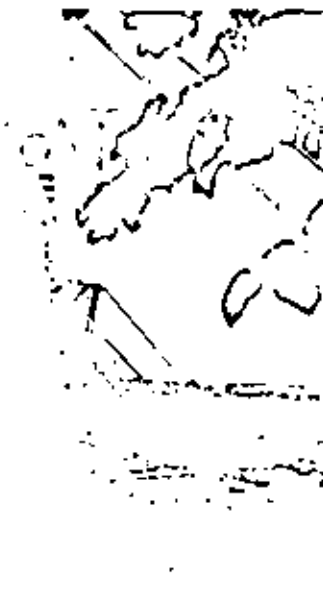
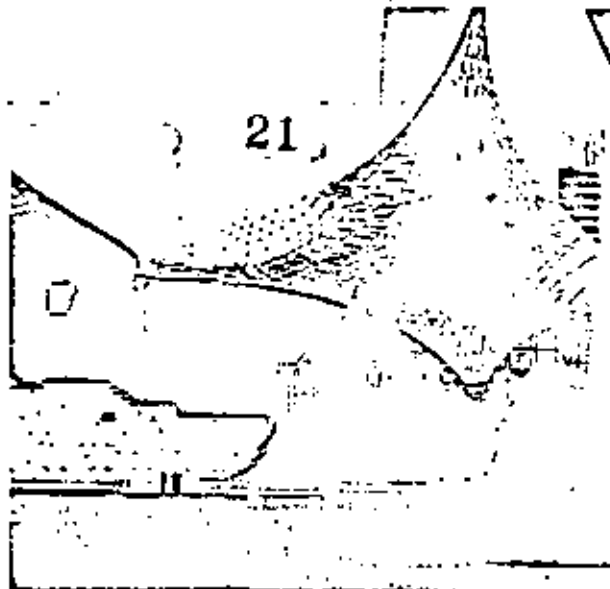
Motobombas sumergibles para la obtención de aguas superficiales de un lago

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Conducto de aspiración
- 3 Piezo de medición
- 4 Rejilla de succión
- 5 Válvula de cierre



Toma de agua de un río

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Abrasora en serie
- 3 Agua a presión para el lavado
- 4 Cámara de succión
- 5 Válvula

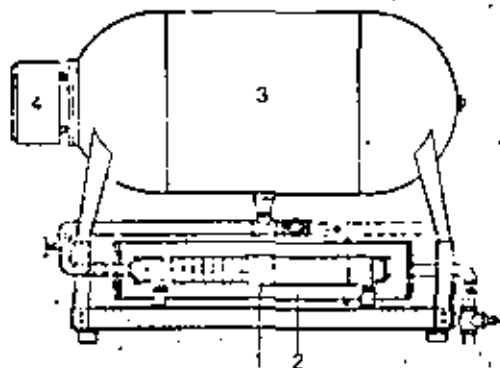


Motobomba sumergible en un surtidor

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Paseables
- 3 Fuente rasa
- 4 Fuente del surtidor en forma de bandeja
- 5 Toberas del surtidor
- 6 Pieza de conexión
- 7 Válvula de cierre

Motobomba sumergible en un armario de acondicionamiento de aire

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Depósito de agua
- 3 Toberas excéntricas
- 4 Carcasa

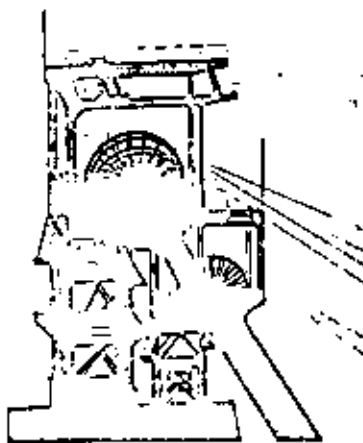
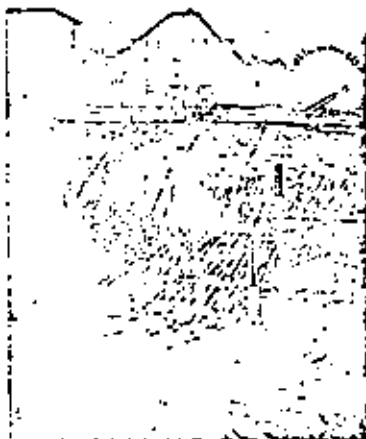


Motobombas sumergibles para la elevación de presión en un equipo compacto HYAMAT UHMS para conexión directa a la red (según DVGW hoja W314)

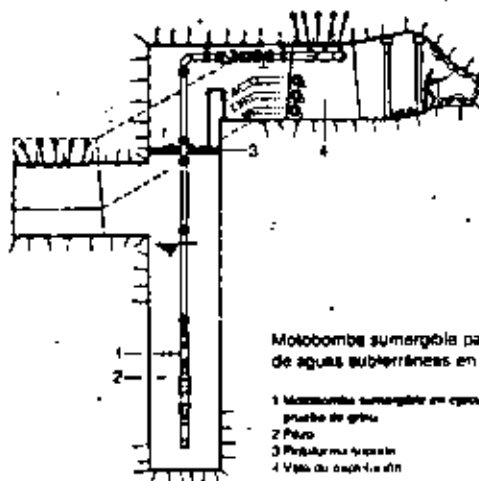
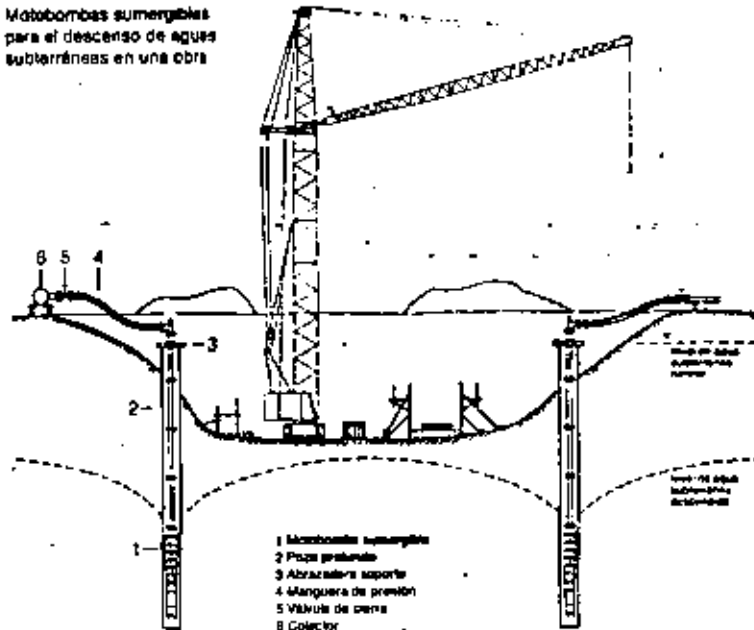
- 1 Motobombas sumergibles
- 2 Cámara de presión
- 3 Tanque especial de presión
- 4 Tablero de control



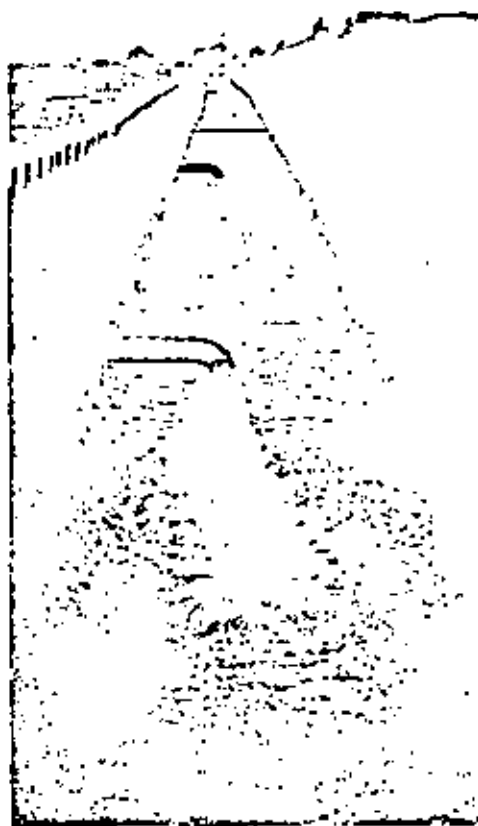
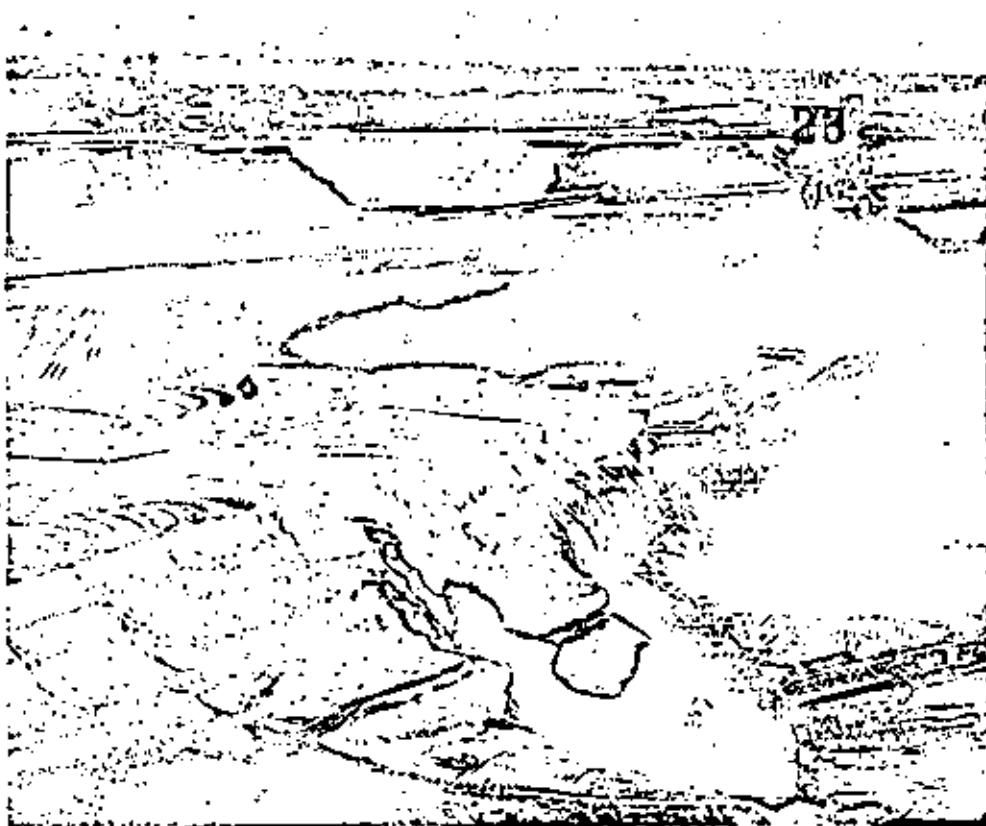
Motobombas sumergibles para el descenso y la eliminación de aguas subterráneas



Motobombas sumergibles para el descenso de aguas subterráneas en una obra



Motobomba sumergible para la eliminación de aguas subterráneas en minas



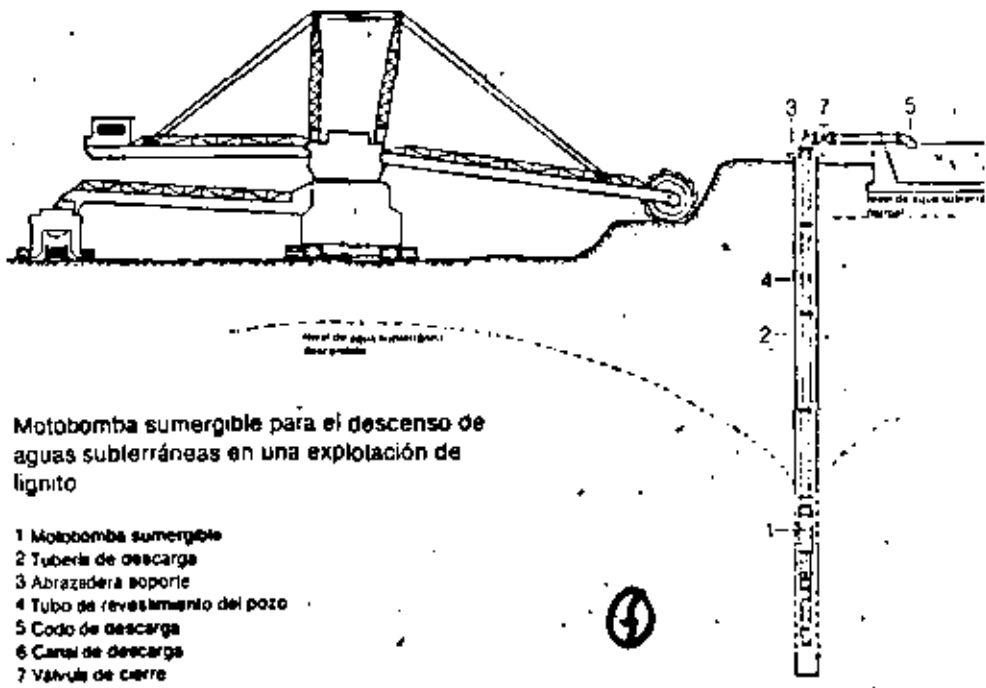
Sin motobombas sumergibles apenas se puede pensar en la posibilidad de descenso o eliminación de aguas subterráneas.

En la construcción de túneles para trenes subterráneos, para esclusas, canales y otras construcciones subterráneas se desciende el nivel de las aguas subterráneas con ayuda de motobombas sumergibles por debajo del piso de la construcción.

Las motobombas sumergibles trabajan aquí a veces bajo condiciones de servicio supremamente difíciles y con máxima seguridad de servicio y eficiencia.

La obtención y explotación de lignito requiere que las aguas subterráneas desciendan hasta un determinado nivel mínimo de seguridad. Para ello se requieren, además de los diferentes pozos en el lugar de explotación, diferentes series de pozos por fuera de la explotación superficial, los cuales se juntan en las llamadas galerías de pozos.

Gracias a su economía, debida a la exención de mantenimiento, y a la posibilidad de control automático, se emplean las motobombas sumergibles en ejecución a prueba de gnú cada día más en minas de explotación subterránea de carbón.

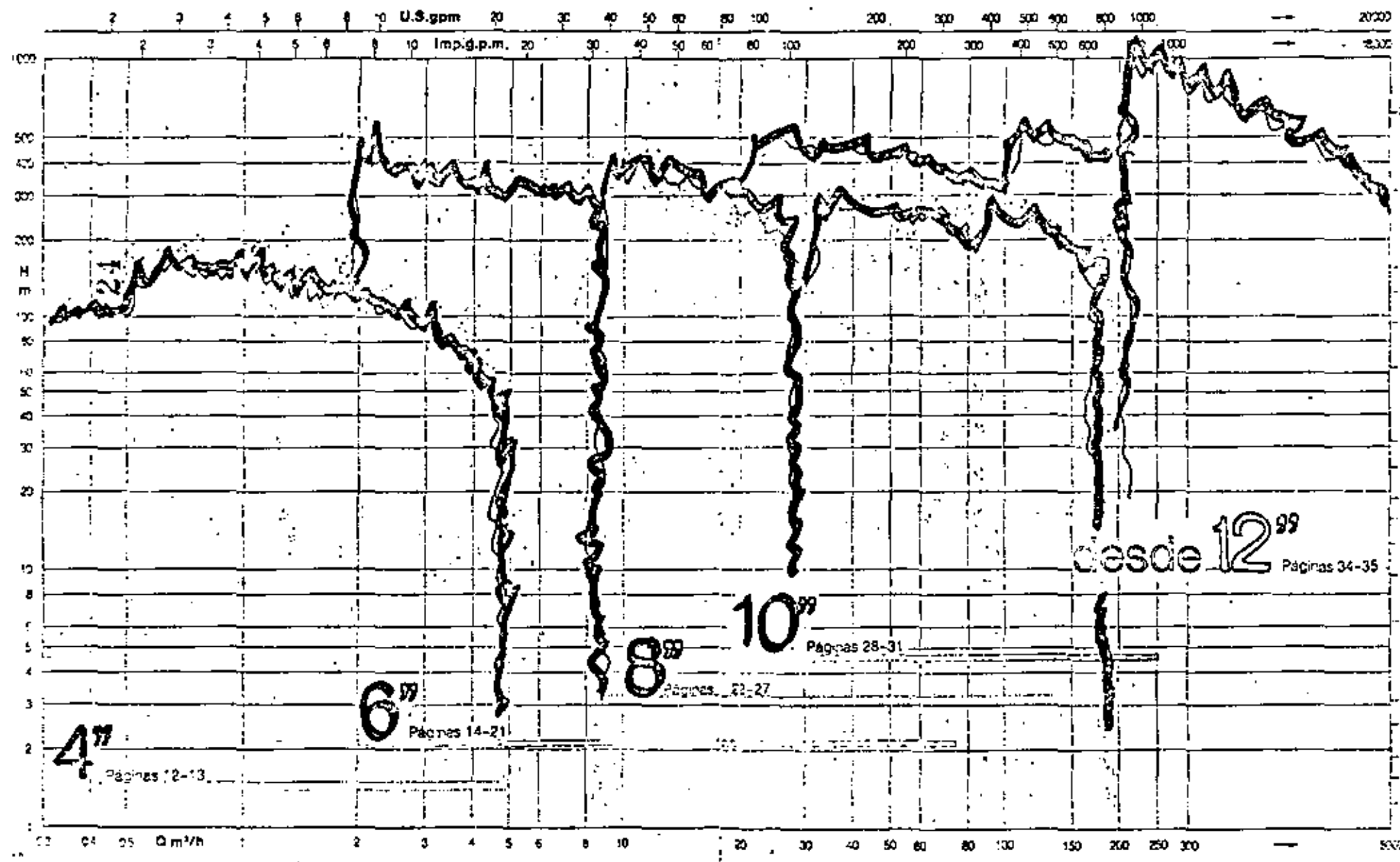


Motobomba sumergible para el descenso de aguas subterráneas en una explotación de lignito

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Tubería de descarga
- 3 Abrazadera soporte
- 4 Tubo de revestimiento del pozo
- 5 Codo de descarga
- 6 Canal de descarga
- 7 Válvula de cierre

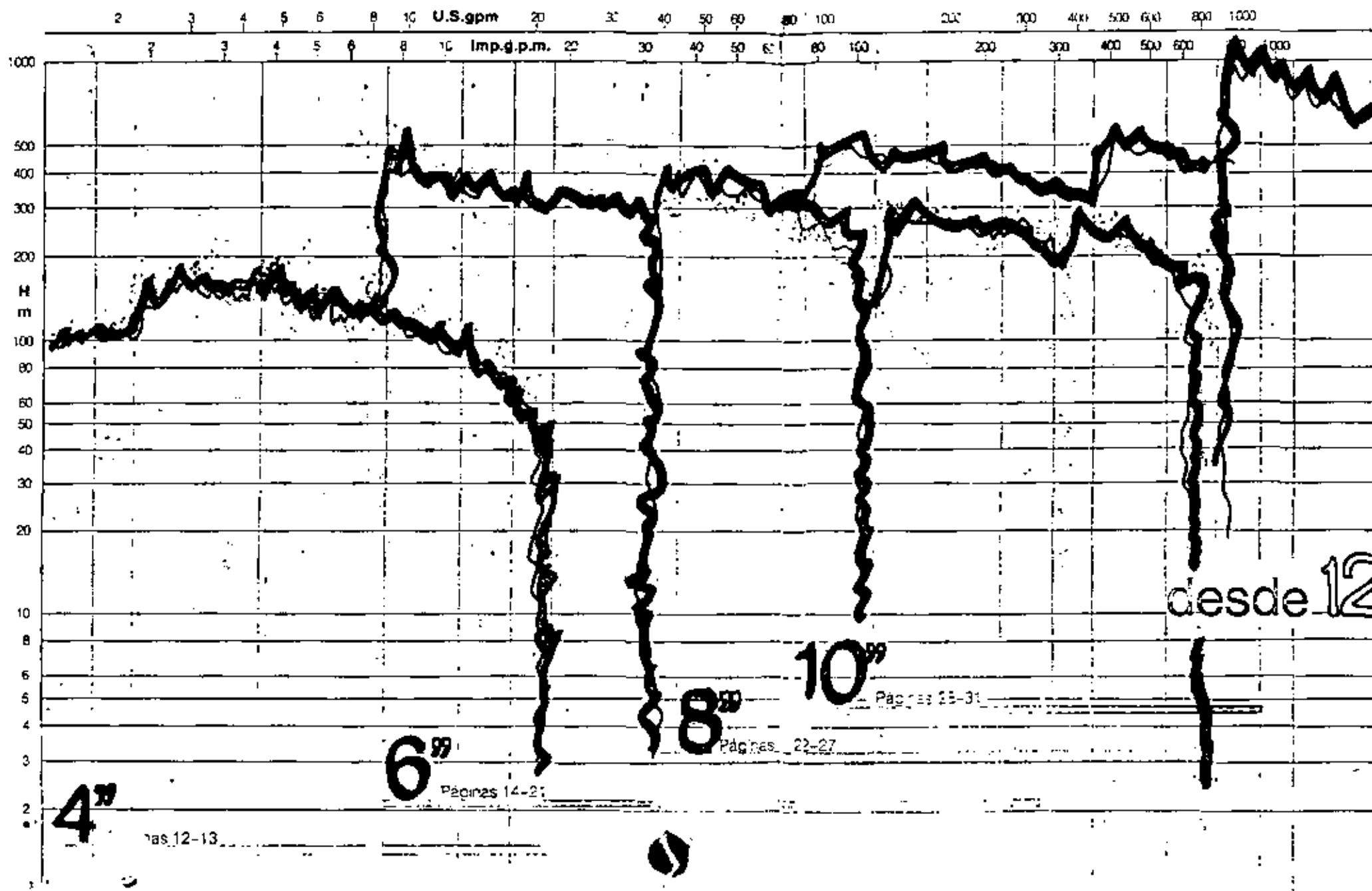
Motores sumergibles para 50 Hz presentación del programa de bombas

25



Motobombas sumergibles para 50 Hz presentación del programa de bombas

25



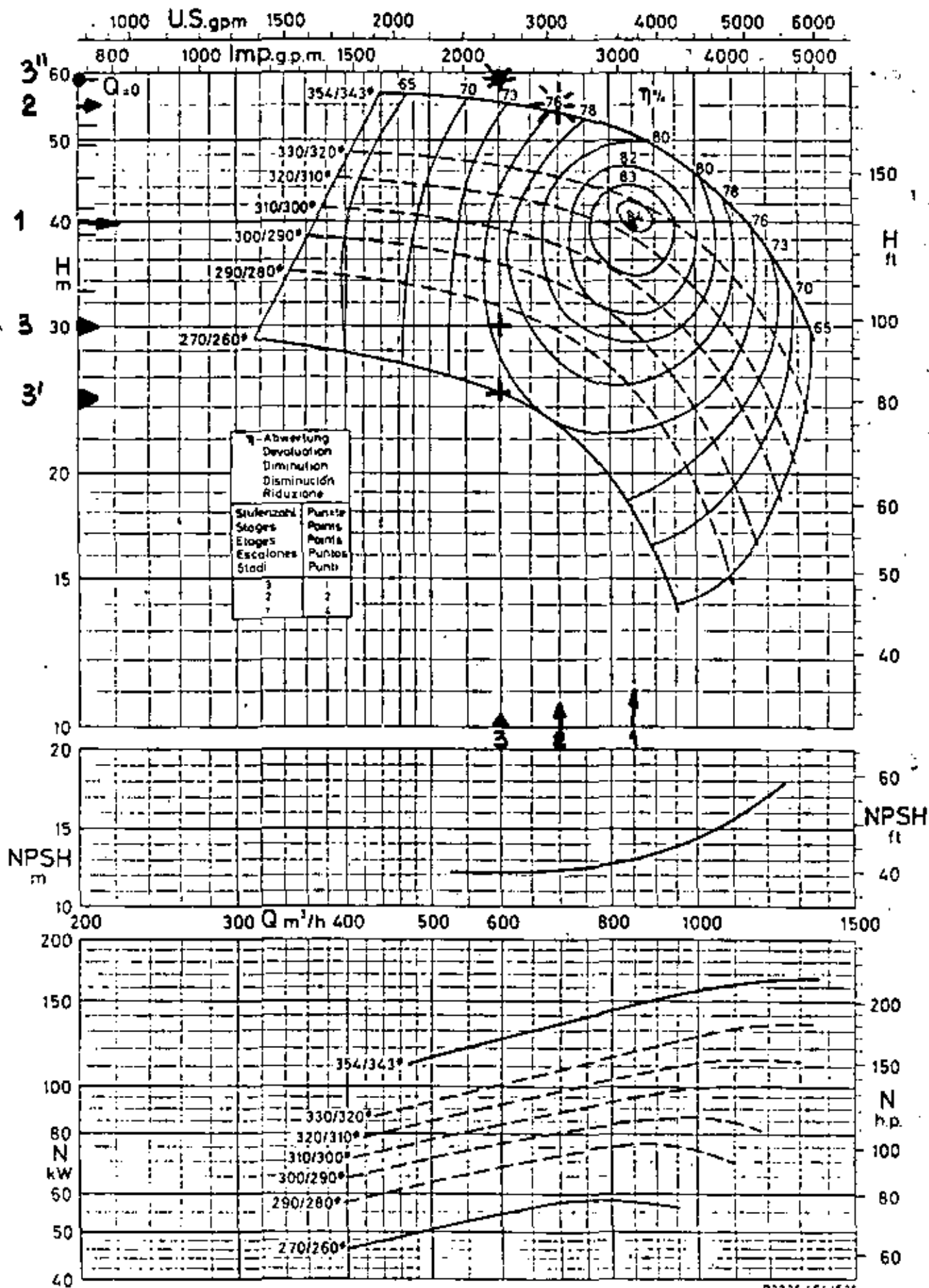
4 CRITERIOS DE EVALUACION AL ELEGIR UN EQUIPO DE
BOMBEO

- 1.- Adaptar el sistema a la bomba óptima.
- 2.- Adaptar el sistema a la bomba óptima con la elección de 2 diámetros diferentes.
- 3.- Sistema fijo, elección de bomba.
- 4.- Eliminación por el sistema fijo.

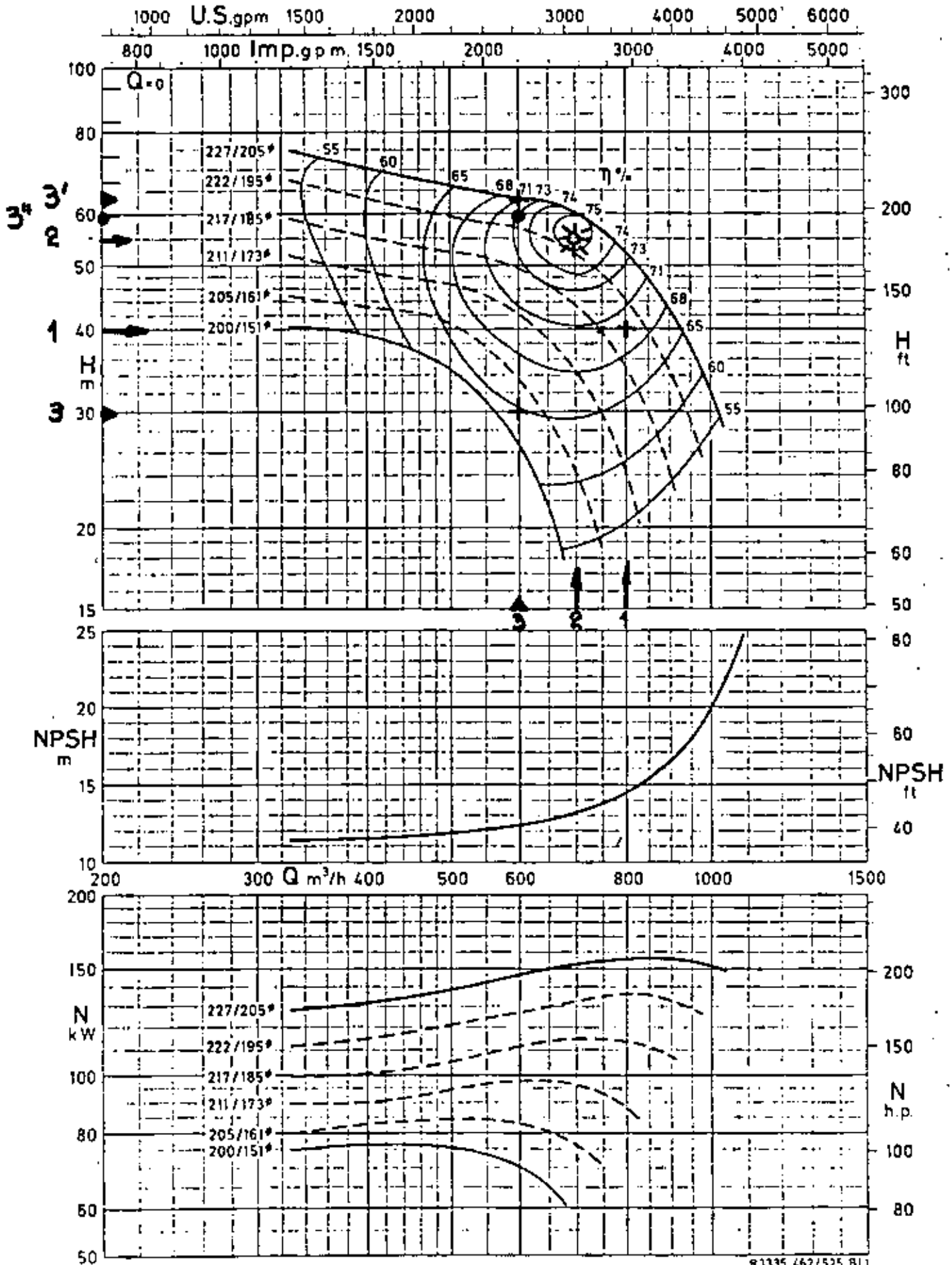
En las figuras A y B se muestran gráficamente los 4 criterios antes mencionados correspondiendo :

- 1.- Punto 1,1.
- 2.- Punto 2,2
- 3.- Punto 3,3
- 4.- Punto 3,3' ; 3,3"

27

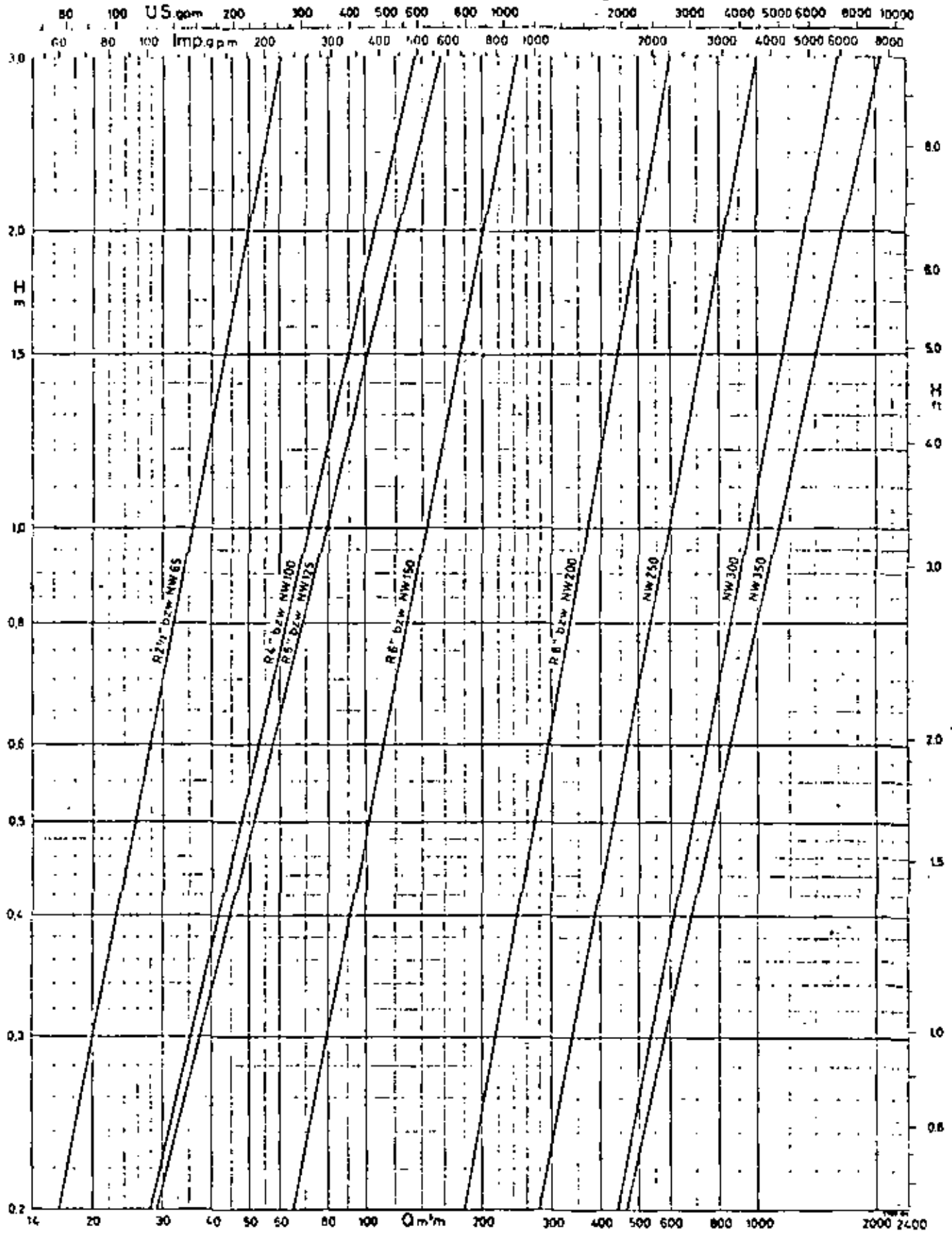


Pump single-stage - Pompe à un étage - Bomba monoescalonada - Pompa con un estante



8. Widerstände in Rückschlagventilen

Resistances in the non-return valves — Pertes de charge dans les clapets de non-retour —
 Resistencias en válvulas de retención — Perdita di carico delle valvole di ritenzione







centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ARTICULO SOBRE LA CONFERENCIA SUSTENTADA POR

DR. JAY H LEHR

JUNIO, 1979.

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

Groundwater: Flow Toward an Effluent Stream

Abstract. *Hydrodynamic, topographic, and geologic factors control flow of groundwater toward an effluent stream. Features of such flow are illustrated by a hydraulic model that simulates the stream and surrounding consolidated rocks. Colored ink in the flow system marks progress toward the stream. Visual analysis shows that groundwater moves into the effluent stream along curvilinear flow lines. The total head of groundwater beneath the stream increases with depth.*

One of the most interesting groundwater flow-patterns in nature occurs in the vicinity of an effluent stream, a stream which is supplied by the surrounding groundwater. Legal disputes have arisen from misinterpretation of information about the flow patterns near such streams. Water levels in wells drilled along an effluent stream can be higher than the water level of the stream, and this fact has been submitted as evidence that groundwater and surface water are not connected (1). Once established as a fact in court, a decision can be obtained in some states that action taken upon the groundwater

body cannot possibly have any effect on the surface water body. Such a stand may be taken by a groundwater user to prove that pumping cannot deplete surface water. A groundwater user could similarly argue that he cannot contaminate surface water by discharging waste into his well. Results derived from a hydraulic model, analogous to the geologic setting commonly found near an effluent stream, show that such arguments in many cases may be spurious. Only by adequate definition of both the geology and hydraulics near the stream can the courts render sound judgment on such matters (2).

The model (Fig. 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin (3). It is 30 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high at each end and slopes down to a small channel near the center. The channel represents the cross section of the effluent stream. Ink was discharged into the model through a perforated brass tube buried in each end. The ink entering the sand progresses through it and marks the path of flow, or flow line, from each perforation. Water was recharged into both ends and discharged only from the simulated stream. The

water table nearly coincided with the rock surface on either side of the stream. Figure 1 indicates the general direction of flow at several times after the flow of ink was started.

The flow lines turn up near the center and appear to defy gravity. Although the water is definitely flowing upward topographically, it is flowing downward hydraulically in accordance with physical principles. Groundwater always moves from regions of high hydraulic head to regions of low hydraulic head.

The effluent stream may be compared with a horizontal well. In a man-made well, an area of low head is produced by pumping and the groundwater thus flows from the surrounding areas of high hydraulic head to the region of lower head near the well. The effluent stream is also an area of low head, but the head distribution about the stream is a function of the topography and rainfall which have caused a high water table to form; a region of high hydraulic head surrounding the topographically low-stream channel is thus furnished. Consequently, water moves from the adjacent high-land into the stream.

Figure 2 shows the flow diagram of the effluent stream model. Flow follows

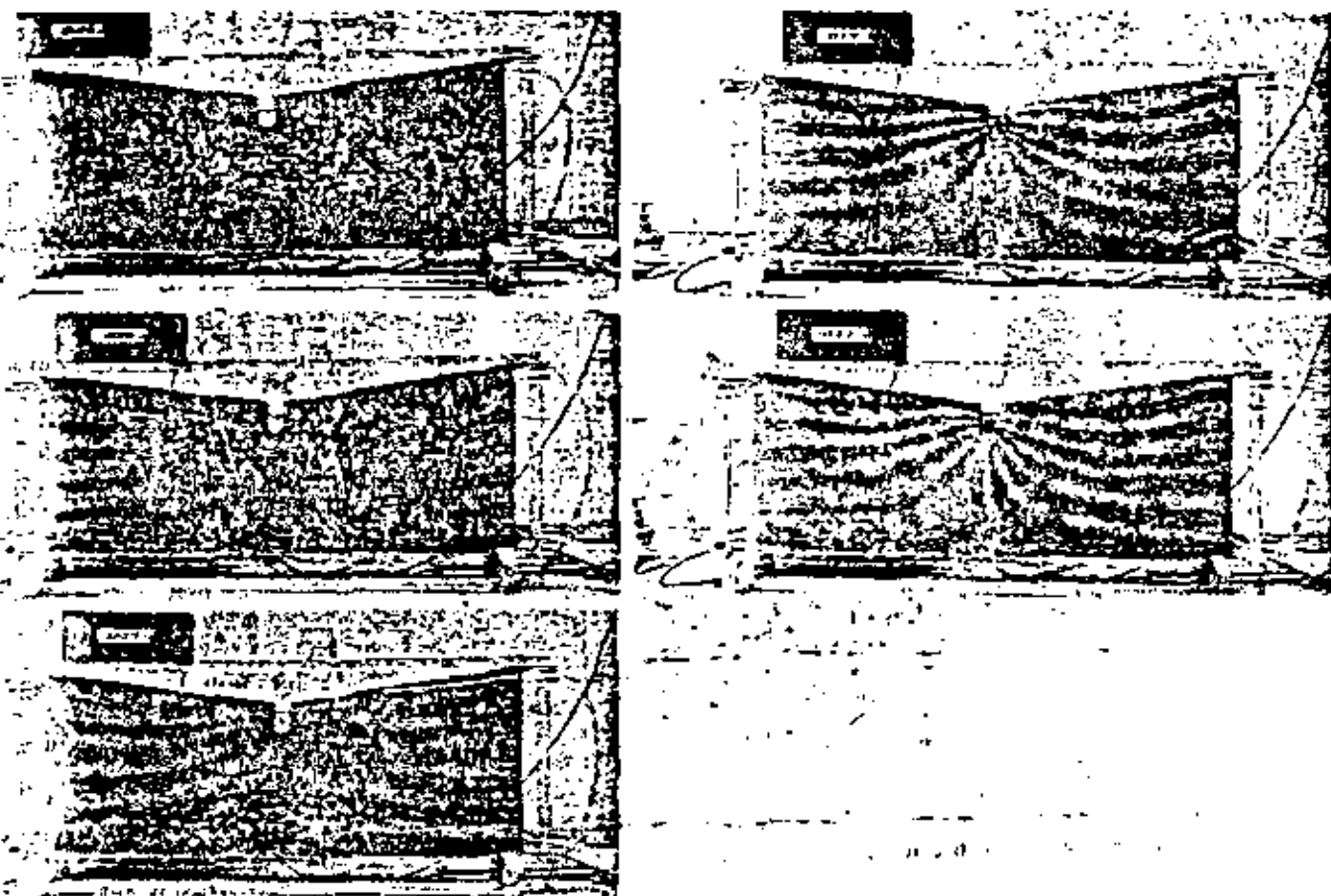


Fig. 1. Model of an effluent stream. Flow bands move through a porous medium of limestone toward the

the direction of maximum gradient as a ball takes the steepest path when rolling slowly down a hill. Since the gradients are maximum along paths normal to the equipotentials, the flow lines cross the equipotential lines at right angles and thus form a conjugate system. The equipotential lines beneath the stream become horizontal as they connect points of equal hydraulic head on opposite sides of the stream. The groundwater flow which crosses these equipotentials at right angles must therefore move vertically upward in this region.

The increased potential with depth beneath the effluent stream was verified in the model. Two wells were drilled in

the stream channel and screened at different depths. The water levels in the wells rose to different heights above the level of the stream itself. The deeper of the two wells had the higher water level which indicates the higher potential at greater depth.

The model (Fig. 1) contains a homogeneous medium with an isotropic permeability which resulted in a set of flow lines following smoothly curving paths. Figure 3 shows a model of an effluent stream similar to the one in Fig. 1. The consolidated medium was sand of the same type as Fig. 1, but packed unevenly. Variations in packing caused variations in permeability, which in turn caused the tortuous paths

of the flow bands (Fig. 3). Although the model in Fig. 1 was more convenient for theoretical studies of flow, the pattern of flow near an effluent stream in nature may be much less predictable because the permeability is not generally uniform.

Comparison of the rates of movement of the flow lines (Fig. 1) shows that the flow along the base of the aquifer is much slower than at points higher in the model. This knowledge is very important in studying streams near the sea which are subject to onshore winds and salt water tides. The salt water may move up the stream during a storm and raise the water level, and thus temporarily reverse the groundwater gra-

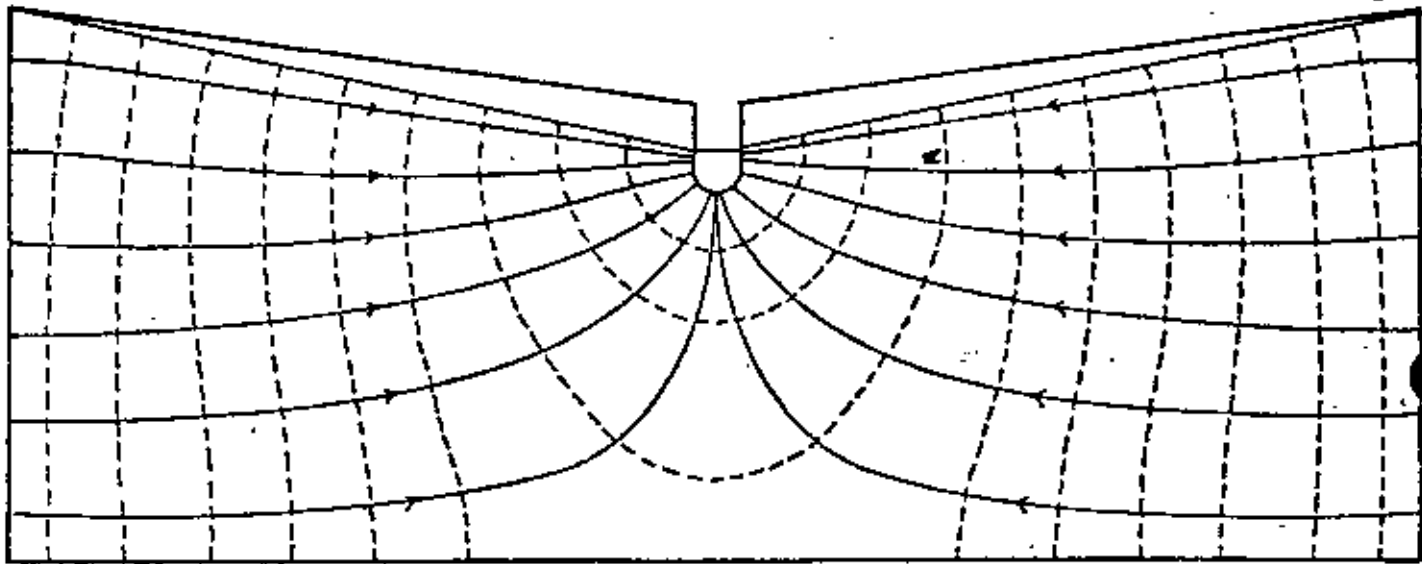


Fig. 2. Flow diagram of effluent stream model shown in Fig. 1. The path which a particle of water follows is called a flow line; these are represented by solid lines with arrows. The head decreases along the path of flow. Lines connecting points of equal head are called equipotential lines and are indicated by dashed lines. An unlimited number of flow and equipotential lines can be drawn in any flow system; however, in a flow diagram a finite number of lines suffices to illustrate best the general pattern (about 1/4 actual size).

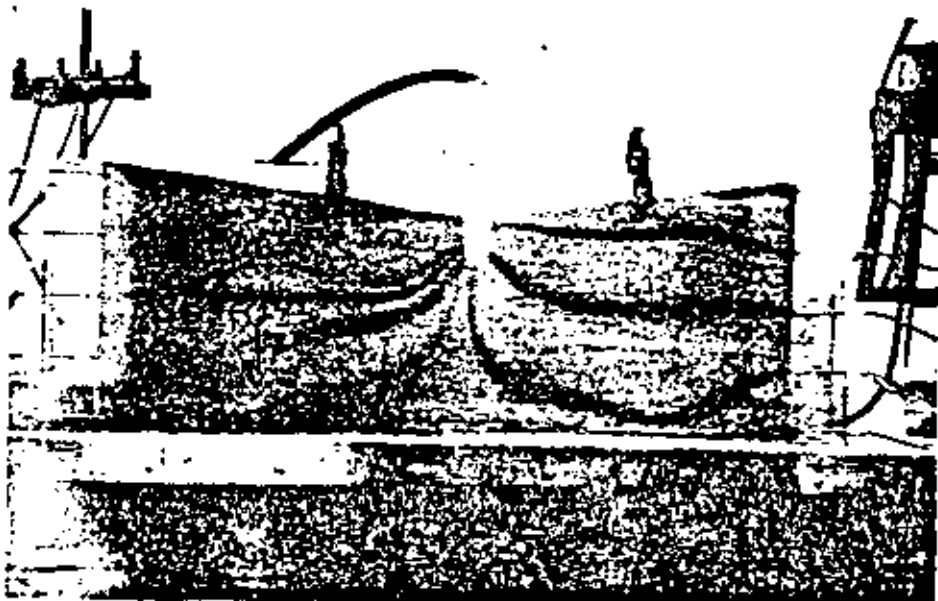


Fig. 3. Model of an effluent stream. It contains a porous medium of anisotropic permeability.

dient. During this temporary flow reversal, salt water moves from the stream into the ground water body and because of its high density may eventually sink to the bottom of the formation (4). A salt-water mound is thereby formed beneath the stream channel; this mound may have a long-lasting, detrimental effect on water-supply wells in the deep portion of the aquifer near the stream channel. Although the original groundwater gradient may be resumed soon after the stream subsides, a long time will be required to wash out all the salt by the comparatively slow movement of groundwater through the deep zone. A town's water supply can be temporarily impaired beyond use by this phenomenon, but this occurrence can be avoided if water-supply wells are placed at a safe distance from the bank of any stream; subject to salt-water tides.

Reprinted from *Science*, June 21, 1963, Vol. 140, No. 3573, pages 1318-1320
Copyright © 1963 by the American Association for the Advancement of Science

Groundwater: Flow Toward an Effluent Stream

Abstract. Hydrodynamic, topographic, and geologic factors control flow of groundwater toward an effluent stream. Features of such flow are illustrated by a hydraulic model that simulates the stream and surrounding consolidated rocks. Colored ink in the flow system marks progress toward the stream. Visual analysis shows that groundwater moves into the effluent stream along curvilinear flow lines. The total head of groundwater beneath the stream increases with depth.

One of the most interesting groundwater flow-patterns in nature occurs in the vicinity of an effluent stream, a stream which is supplied by the surrounding groundwater. Legal disputes have arisen from misinterpretation of information about the flow patterns near such streams. Water levels in wells drilled along an effluent stream can be higher than the water level of the stream, and this fact has been submitted as evidence that groundwater and surface water are not connected (1). Once established as a fact in court, a decision can be obtained in some states that action taken upon the groundwater

body cannot possibly have any effect on the surface water body. Such a stand may be taken by a groundwater user to prove that pumping cannot deplete surface water. A groundwater user could similarly argue that he cannot contaminate surface water by discharging waste into his well. Results derived from a hydraulic model, analogous to the geologic setting commonly found near an effluent stream, show that such arguments in many cases may be spurious. Only by adequate definition of both the geology and hydraulics near the stream can the courts render sound judgment on such matters (2).

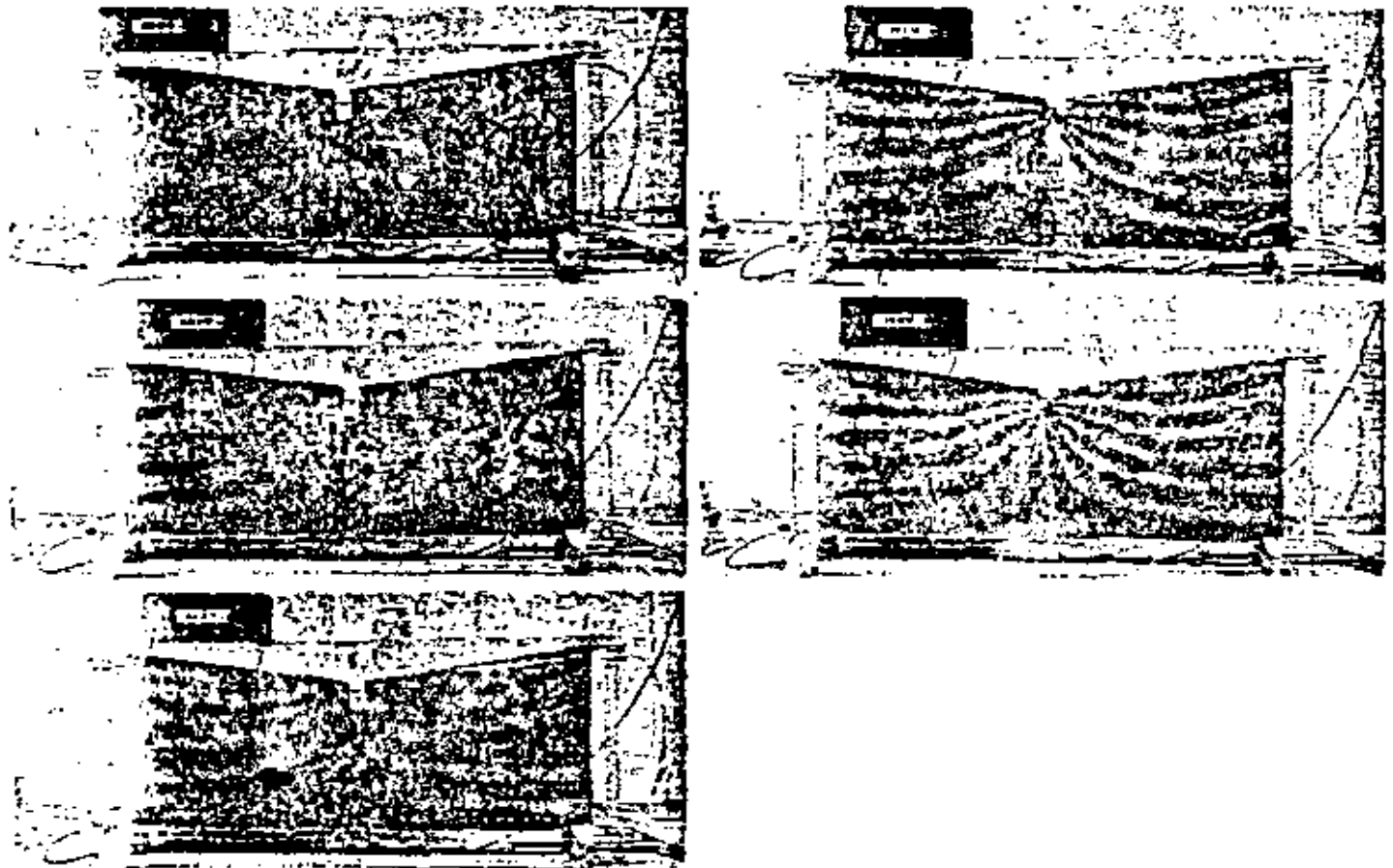
The model (Fig. 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin (3). It is 30 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high at each end and slopes down to a small channel near the center. The channel represents the cross section of the effluent stream. Ink was discharged into the model through a perforated brass tube buried in each end. The ink entering the sand progresses through it and marks the path of flow, or flow line, from each perforation. Water was recharged into both ends and discharged only from the simulated stream. The

water table nearly coincided with the rock surface on either side of the stream. Figure 1 indicates the general direction of flow at several times after the flow of ink was started.

The flow lines turn up near the center and appear to defy gravity. Although the water is definitely flowing upward topographically, it is flowing downward hydraulically in accordance with physical principles. Groundwater always moves from regions of high hydraulic head to regions of low hydraulic head.

The effluent stream may be compared with a horizontal well. In a man-made well, an area of low head is produced by pumping and the groundwater thus flows from the surrounding areas of high hydraulic head to the region of lower head near the well. The effluent stream is also an area of low head, but the head distribution about the stream is a function of the topography and rainfall which have caused a high water table to form; a region of high hydraulic head surrounding the topographically low-stream channel is thus furnished. Consequently, water moves from the adjacent highland into the stream.

Figure 2 shows the flow diagram of the effluent stream model. Flow follows



the direction of maximum gradient as a ball takes the steepest path when rolling slowly down a hill. Since the gradients are maximum along paths normal to the equipotentials, the flow lines cross the equipotential lines at right angles and thus form a conjugate system. The equipotential lines beneath the stream become horizontal as they connect points of equal hydraulic head on opposite sides of the stream. The groundwater flow which crosses these equipotentials at right angles must therefore move vertically upward in this region.

The increased potential with depth beneath the effluent stream was verified in the model. Two wells were drilled in

the stream channel and screened at different depths. The water levels in the wells rose to different heights above the level of the stream itself. The deeper of the two wells had the higher water level which indicates the higher potential at greater depth.

The model (Fig. 1) contains a homogeneous medium with an isotropic permeability which resulted in a set of flow lines following smoothly curving paths. Figure 3 shows a model of an effluent stream similar to the one in Fig. 1. The consolidated medium was sand of the same type as Fig. 1, but packed unevenly. Variations in packing caused variations in permeability, which in turn caused the tortuous paths

of the flow bands (Fig. 3). Although the model in Fig. 1 was more convenient for theoretical studies of flow, the pattern of flow near an effluent stream in nature may be much less predictable because the permeability is not generally uniform.

Comparison of the rates of movement of the flow lines (Fig. 1) shows that the flow along the base of the aquifer is much slower than at points higher in the model. This knowledge is very important in studying streams near the sea which are subject to onshore winds and salt water tides. The salt water may move up the stream during a storm and raise the water level, and thus temporarily reverse the groundwater gra-

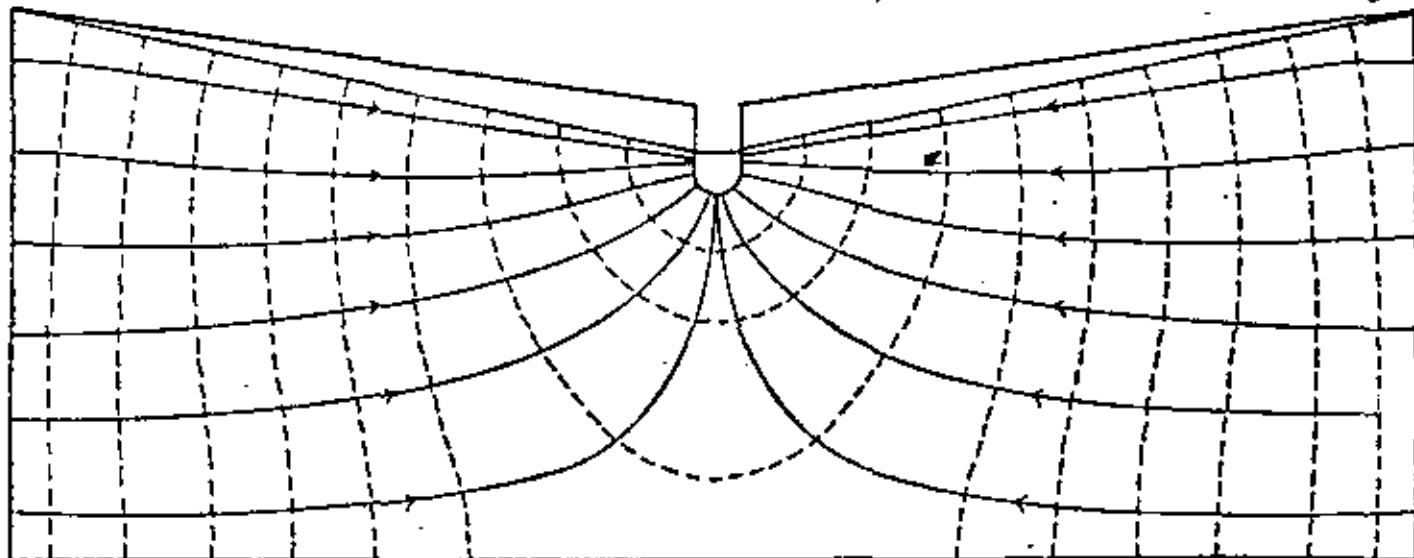


Fig. 2. Flow diagram of effluent stream model shown in Fig. 1. The path which a particle of water follows is called a flow line; these are represented by solid lines with arrows. The head decreases along the path of flow. Lines connecting points of equal head are called equipotential lines and are indicated by dashed lines. An unlimited number of flow and equipotential lines can be drawn in any flow system; however, in a flow diagram a finite number of lines suffices to illustrate best the general pattern (about $\frac{3}{4}$ actual size).

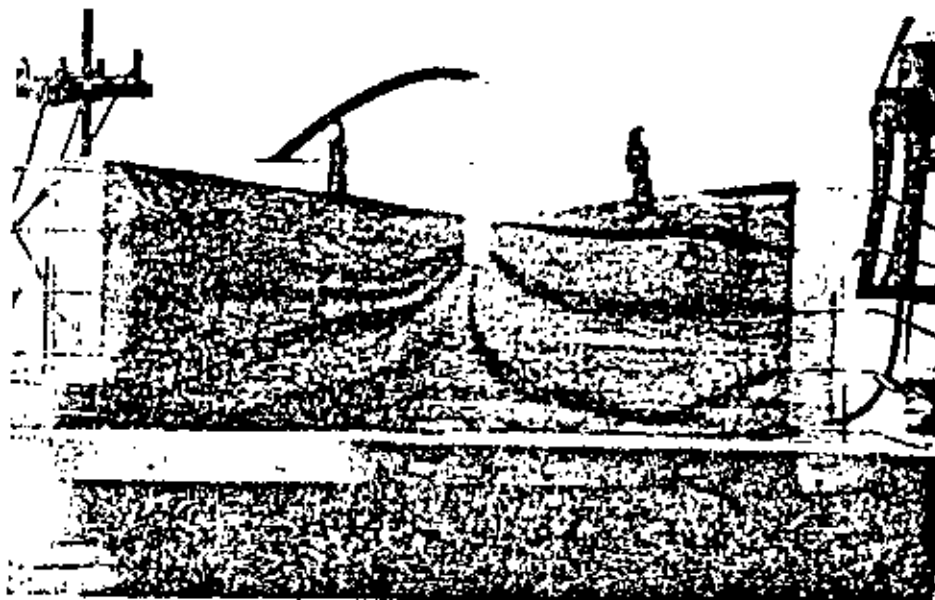


Fig. 3. Model of an effluent stream. It contains a porous medium of anisotropic permeability.

dient. During this temporary flow reversal, salt water moves from the stream into the ground water body and because of its high density may eventually sink to the bottom of the formation (4). A salt-water mound is thereby formed beneath the stream channel; this mound may have a long-lasting, detrimental effect on water-supply wells in the deep portion of the aquifer near the stream channel. Although the original groundwater gradient may be resumed soon after the stream subsides, a long time will be required to wash out all the salt by the comparatively slow movement of groundwater through the deep zone. A town's water supply can be temporarily impaired beyond use by this phenomenon, but this occurrence can be avoided if water-supply wells are placed at a safe distance from the bank of any stream subject to salt-water tides.

ship it also occurs that individual cones of depression can be superimposed upon one another to form a purely additive composite cone of depression. Therefore, if two wells (well no. 1 and well no. 2) pumping at constant rates in an artesian system caused individual drawdowns at a nearby observation well (well no. 3) of 10 and 30 feet respectively, when the two wells, pumped together they would produce a cumulative drawdown of 40 feet at the observation well. If, however, the two wells were being pumped in an unconfined water table aquifer, drawdown will not vary directly as discharge and the individual cones of depression cannot simply be superimposed upon one another through the process of adding together individual drawdowns. This follows from the fact that when a portion of the aquifer surrounding a pumping well is dewatered, the saturated thickness of the aquifer is decreased. This results in a decrease in the transmissibility (since transmissibility is equal to permeability times the saturated thickness of the aquifer) which in turn serves to further increase drawdown. When Jacob modified Dupuit's equation (Jacob, 1944 and Ferris, 1949) he determined exactly what portion of the drawdown was produced by the dewatering of the aquifer and the subsequent decrease of transmissibility. He found that the increase in drawdown was equal to

$$\frac{s^2}{2m}$$

where s is actual drawdown and m is the initial thickness of the saturated aquifer. Therefore, the drawdown that would occur if there were no dewatering (let this drawdown be s') is

$$s' = s - \frac{s^2}{2m}$$

In the hypothetical case of wells 1, 2 and 3 mentioned previously, let us now assume unconfined water table conditions where:

$s_{1,1} = 10$ feet = observed equilibrium drawdown at well 3 due to pumping at some constant rate in well 1;

$s_{2,2} = 30$ feet = observed equilibrium drawdown at well 3 due to pumping at some constant rate in well 2;

$m = 100$ feet = initial saturated aquifer thickness;

then,

$s'_{3,1} = s_{3,1} - \frac{(s_{3,1})^2}{2m}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in well 1 if no dewatering occurred

$$s'_{3,1} = 10 - \frac{100}{200} = 9.5 \text{ feet}$$

$s'_{3,2} = s_{3,2} - \frac{(s_{3,2})^2}{2m}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in well 2 if no dewatering occurred

$$s'_{3,2} = 30 - \frac{900}{200} = 25.5 \text{ feet}$$

and,

$s'_{3,1,2} = s'_{3,1} + s'_{3,2}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in wells 1 and 2 simultaneously if no dewatering occurred

$$s'_{3,1,2} = 9.5 + 25.5 = 35 \text{ feet}$$

$s_{3,1,2}$ = actual drawdown at well 3 which will occur when well 1 and 2 pump simultaneously (dewatering does occur)

$$s_{3,1,2} = s'_{3,1,2} + \frac{(s_{3,1,2})^2}{2m}$$

therefore,

$$s_{3,1,2} = 35 + \frac{(s_{3,1,2})^2}{200}$$

$$200s_{3,1,2} = 7000 + (s_{3,1,2})^2$$

$$(s_{3,1,2})^2 - 200s_{3,1,2} + 7000 = 0.$$

The solutions of this quadratic equation are:

$$s_{3,1,2} = 45.2 \text{ feet and } 154.8 \text{ feet.}$$

Since the aquifer thickness is 100 feet, $s_{3,1,2}$ cannot equal 154.8 feet; therefore, the only correct answer is $s_{3,1,2} = 45.2$ feet.

In the problem above, if one had followed the simple process of addition used in calculating multiple drawdown in an artesian aquifer, an incorrect value of 40 feet would have been obtained. The correct calculations, however, show that the actual drawdown will be 45.2 feet, 10.2 feet of which is due to dewatering ($\frac{s^2}{2m} = 10.2$).

These situations can be calculated and then empirically observed in the cone of depression model. Figure 4 shows just such a situation where the white and black lines on the model represent the individual drawdowns of wells A and B when they were pumped individually. The gray line drawn on the model represents the drawdown in the model at the time the photograph was taken when both wells A and B were being pumped simultaneously at the same rates at which they were pumped individually. The observed drawdown agreed with the calculated drawdown. When the individual drawdowns are small with respect to the saturated thickness of the aquifer, such that the

remaining laminar, become curvilinear as they approach the well, but a high degree of parallelism is still maintained.

The upper white line drawn on the model in all of the pictures in Figure 1 represents the undisturbed hydraulic gradient or water table prior to pumping. The lower white line drawn on the model in Figure 11 represents the drawdown of the water table or cone of depression caused by the pumping well. Due to the fact that water is held above the water table by capillary forces in the capillary tubes, the rock both above and below the water table appears to be the same color. Therefore, it is not possible to actually see the shape of the cone of depression in this model by observing the change of color between the saturated rock below the water table and the unsaturated rock above the water table. Super capillary observation wells are required to see the physical position of the water table or cone of depression.

Therefore, a hydraulic model analogous to very general subsurface geologic conditions, containing 30 observation wells, was constructed for the purpose of studying and demonstrating the changes in the configuration of the water table produced by pumping wells. The model (Figure 2) consists of a watertight plexiglass case containing a consolidated medium which is a mixture of sand and epoxy resin (Lehr, 1963). The model case is made of 1/2 inch plexiglass



Fig. 2. Photograph of the cone of depression model after pumping in well B had reached a steady state. The cone of depression is drawn in black.

having inside dimensions of 33 in. x 12 in. x 3 in. The medium at the extreme right of the model is impermeable and is intended to represent the subsurface portion of an igneous mountain front. The remaining medium within the model has a permeability of 2,000 USGS units (gal/day/ft²/1:1 gradient). The left end tank of the model is intended to represent the cross section of a stream channel into which the water is recharging. The 30 observation wells, which accurately measure the position of the water table within the model, have 1/4 inch diameters. The four deepest wells are screened at their lowest 6 inches, while the rest of the wells are open only at the bottom. A small black bead of wax was placed in each observation well so that the water level would be clearly visible within the wells.

Figure 2 shows the model before and after well B had been pumped for a long enough period to achieve a steady state condition. The white line marked static

water level illustrates the position of the water table before pumping. Notice here the definite effects of the boundary conditions upon the cone of depression, which has been marked by a black line on the model. The limb of the cone to the right of the well was almost flat, due to the effect of the impermeable boundary to the right. The well was unable to take water from storage beyond this impermeable barrier and hence, was forced to take an increased amount of water from storage in front of the barrier, which resulted in a lowering of the cone of depression in that area. The cone of depression at the left of the well extended to the surface of the recharging water. At that point, it ceased to grow because it induced recharge from the end tank, thus eliminating the necessity of drawing any further water from storage within the aquifer and enlarging the cone of depression. This is exactly what happens in nature when a well pumping near a stream extends its cone of depression to the edge of that stream. Figure 3 shows the model



Fig. 3. Photograph of the cone of depression model after pumping in well A had reached a steady state. The cone of depression is drawn in white.

after well A had been pumped for a long enough period to achieve steady state conditions. The surface of the cone of depression is drawn in white on the face of the model. Once again, the effects of the two boundary conditions are evident. In this situation, the effect of the recharging end tank was more intense than the effect of the impermeable barrier, because well A was closer to the end tank than to the barrier.

When two or more wells are pumped simultaneously within close proximity of each other it is possible to calculate the resultant cone of depression if one first knows the drawdowns produced by the individual wells pumping alone. In an artesian system where the saturated thickness of the aquifer remains constant, the Theis non-equilibrium equation (Theis, 1935)

$$s = \frac{114.6 QW(u)}{T}$$

(where s is drawdown in feet, Q is discharge in gallons per minute, $W(u)$ is the dimensionless well function of u and T is transmissibility in gallons/day/ft) shows that s varies directly as Q at a given time and place, since all other factors will remain constant. Therefore, if the discharge, Q , is doubled the drawdown, s , will in turn be doubled. Due to this relation-

An Empirical Model Study of Cones of Depression, Produced by Pumping Wells^a

by J. H. Lehr^b

Abstract

It is of the utmost importance that ground-water users understand the basic concept that all the ground water within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. It is therefore worthwhile for all ground-water users to understand the manner in which ground water moves through the pore spaces of saturated rock and to understand the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells. The movement of ground water is illustrated in two hydraulic models which were constructed in order to bring ground-water flow into surroundings where it can be visually observed. The models consist of watertight plexiglass cases containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin, which simulates a true sandstone. The models are used to study cones of depression produced by pumping wells. Photographic histories of several ground-water flow conditions are illustrated.

It is of the utmost importance that ground-water users understand the basic concept that all the ground water within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. Any changes superimposed on one portion of the system will eventually modify the conditions in the rest of the system. It is this very concept which has resulted in the formation of ground-water conservancy districts. Although there are a large number of ways in which ground-water users may put their water to work, it is surely in the common interest of all to conserve their water in a manner which will yield the optimum quantities of water at the most economical rates. When properly educated to the physical principles which govern the performance of a ground-water system, it is doubtful that a single water user would intentionally waste water which could be profitably used by the rest of the community. It is therefore worthwhile for all ground-water users to understand the manner in which ground water moves through the pore spaces of saturated rock and to understand the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells. They will then be better able to

appreciate their individual position as related to the regional ground-water system.

The movement of ground water can be best illustrated in a hydraulic model which was constructed in order to bring ground-water flow into surroundings where it can be visually observed. The model (Figure 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin, which simulates a true sandstone (Lehr, 1963). The consolidated medium is 20 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high. Water is recharged into the right end of the model and allowed to discharge through an overflow drain in the left end of the model.

The water level in the right end tank is maintained at a higher level than the water in the left end tank. This produces a hydraulic gradient which causes the water in the model to move from right to left through the simulated sandstone aquifer. Ink is discharged into the model through a perforated metal tube buried in the right end of the sandstone. The ink entering the sand progresses through it in a thin band marking the path of flow, or flow line, from each perforation (Figures 1A, B, C, D).

A $\frac{1}{4}$ inch diameter hole at the center face of the model simulates a well from which water can be pumped. When operating with the well pumping (Figures 1E, F, G, H, I), the model closely illustrates the flow pattern of a two-dimensional cross section along the regional gradient of a radial flow system (Figure 1I). The two-dimensional character of the model, however, causes the well to act something like an infinite drain channel. In either case it clearly illustrates the phenomena of gravity drainage (Hall, 1955 and Hansen, 1953).

While open channel, surface water flow is characterized by turbulence which results in useless dissipation of potential energy, ground water is characterized by laminar flow which conserves all its energy for the single purpose of overcoming frictional resistance. This resistance is imposed upon the flow by the vast surface area present in the average sedimentary aquifer. When the ground-water system is undisturbed, the flow will follow along nearly straight parallel lines at velocities which depend directly on the magnitude of the permeability of the rocks and on the slope of the hydraulic gradient. The pumping of a well (Figures 1E, F, G, H, I) alters the system by creating an unordinarily low hydraulic head at the location of the well. The magnitude and direction of the hydraulic gradient and hence the velocity and direction of the ground-water flow is changed everywhere within the area of influence of the well. The flow paths, while

^a Based in part on an article "Model Analysis of Water Table Drawdown Surrounding Pumping Wells" which appeared in the Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 18, No. 5, September-October 1963. This paper was presented at National Water Well Exposition, September 29-October 3, 1963, San Francisco, California.

^b Assistant Professor of Hydrology, Department of Geology, University of Arizona, Tucson, Arizona.

Discussion open until September 1, 1964.

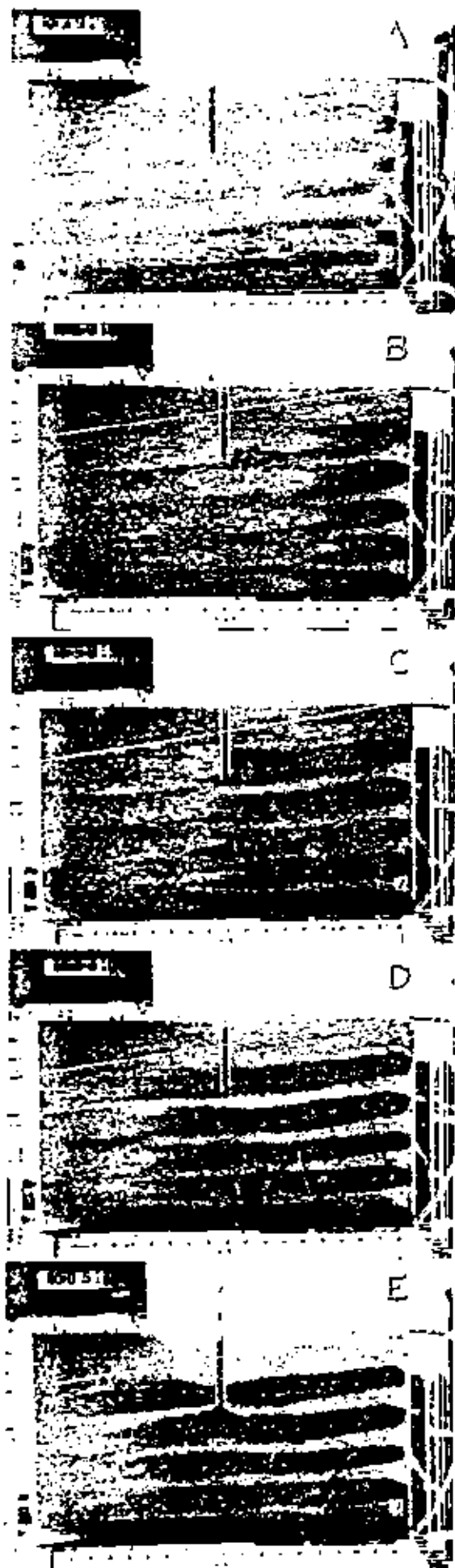


Fig. 1. Photographic history of a ground-water flow model. Dye lines trace the direction and velocity of the water flowing through the porous medium prior to the pumping of the well at the center of the model (A-D). The clock on the top left of the model shows the time at which each picture in the sequence was taken. Dye lines trace the direction and velocity of the water flowing through the porous medium in the vicinity of the pumping well (E-I). Pumping began in the well at 10:04 and continued during the period that these pictures were taken. The clock in the top left of the model shows the time at which each picture in the sequence was taken.

value $\frac{s^2}{2m}$ becomes negligible, the drawdown due to the pumping of multiple wells becomes simply the sum of the individual drawdowns of each well in the multiple well system.



Fig. 4. Photograph of the cone of depression model after pumping in wells A and B had reached a steady state. The existing multiple cone of depression is drawn in gray, while the individual cones of depression of wells A and B (as shown in Figure 2 and 3) are drawn in white and black, respectively.

The same model can be used to study artificial recharge by wells which is coming into common practice in many areas today. It is important to understand the effects of this recharging water upon the shape of the water table. It has been theoretically proved that the cone of impression brought about by a recharging well will be a mirror image of the cone of depression formed by pumping the well at the same rate as it is recharged (Ferris, 1949). An experiment was performed with this model to verify this relationship, and the results are shown in Figure 5. The model is first shown without any pumping (Figure 5A); the white line represents the static water level. Well B was then pumped and allowed to reach the steady state (Figure 5B). Pumping was then stopped until the water level recovered to the static position, at which time the well began recharging at the same rate that it had been discharging. Figure 5C shows the model after the steady state conditions had been reached. Notice that the cone of impression drawn in gray above the static level is the mirror image of the previously formed cone of depression drawn in gray beneath the static level.

This model can also be set up with some of the wells discharging while other wells are recharging. Thus, very different water table configurations can be produced and studied. Figure 6 shows such a situation with well B recharging and well A discharging.

It is a common misconception that the drawdown level within a pumping well represents the level of the water table contiguous to the outside of the well casing. This is not necessarily true and may lead to an incorrect interpretation of the elevation of the water table. When a well is improperly screened or developed, the entrance losses may be so large that the water level in the well does not rise as high as the water table. This fact was demonstrated in the model when water levels were compared in two wells pumping at the same rates but having different screen

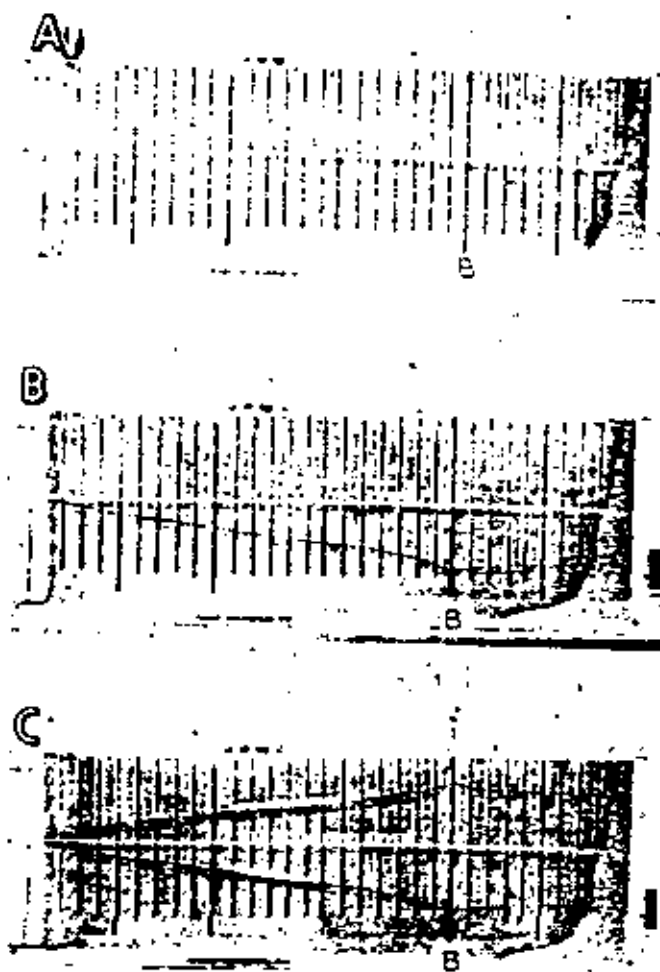


Fig. 5. Photographs of the cone of depression model (A) under static water level conditions, (B) after pumping in well B reached a steady state, (C) after recharging into well B reached a steady state.

length. Well A and the observation well immediately to the right of well A were pumped at separate times at exactly the same rate. The cones of depression produced by the two wells were nearly identical with the exception of the water level in the pumped observation well, which was far below the level in well A. The reason for this is that well A is screened in over half of the aquifer and allows the water to enter along normal flow paths. The observation well, however, is open only at the bottom and therefore causes the water to take a circuitous path into the well. This extra path length necessitates that an additional amount of work be done against friction in moving the water to



Fig. 6. Photograph of the cone of depression model with well B recharging and well A discharging. The resultant water level is drawn in black.

the well. Thus, there is a resultant energy loss in the system known as the entrance loss. It shows up simply as a lowering of the water level in the pumping well. There is almost a direct relationship between the percentage of the well casing which is screened in the aquifer, and the drawdown in the well for constant rates of discharge (deGlee, 1930).

The cone of depression model has a number of important implications in applied hydrology. One important concept illustrated by the model is the advantage of placing a pumping well as near as possible to a source area. Under natural conditions prior to development by wells, most aquifers are in a state of dynamic equilibrium; which means that natural discharge is equalled by natural recharge, and the quantity of water in storage remains essentially constant. When wells tap an undeveloped aquifer a new discharge is superimposed upon the previously stable system. This must be balanced by an increase in natural recharge, or a decrease in natural discharge or a decrease in storage, or a combination of all three.

The system is temporarily in a state of non-equilibrium until discharge from it again equals recharge. The ultimate cone of depression of a pumping well is the mechanism by which the recharge and discharge are again caused to be equal. When the cone of depression reaches a recharge area where previously recharge was being rejected, it causes the natural recharge to be increased by means of the steepened gradient. When the cone of depression reaches the discharge area it decreases the gradient and hence decreases the quantity of natural discharge. When a well is placed close to an area of rejected recharge such as a stream or swamp, its cone of depression rapidly reaches the recharge area, inducing increased natural recharge. Only a very shallow cone of depression is required in this case as can be seen in well A (Figure 3). When a well is placed far from the recharge area, it will take longer for the cone of depression to reach it and hence a deeper cone will result as in well B (Figure 2).

This model also points out an important fact to

the mining industry; namely, that it is possible to dewater portions of a mine without pumping water out of the mine excavation itself. Wells can be located in a circle around the excavation which will produce a multiple cone of depression completely eliminating any natural discharge into the excavation. In this model wells A and B (Figure 4) can be used to dewater the rock between them after which a dry excavation can be dug.

The most important fact illustrated by this model can be shown in Figure 4 if we assume that wells A and B are owned by farmers A and B respectively. The model shows that farmer A must realize that when he pumps his well it will effect the water level at the well of farmer B. Likewise farmer B must realize that when he pumps his well it will effect the well of farmer A. A subsurface aquifer along its areas of surface water recharge and discharge is a large integrated system which must be jointly controlled and operated by all the water users if the optimum benefits of its water supply are to be gained.

References

deGlee, G. J. 1930. Over grondwaterstromingen bij wateronthekking door middel van putten. J. Waltman Jr., Delft. 175 pp.

Ferris, J. G. 1949. Ground water. In Hydrology (by C. O. Wisler and E. F. Brater). John Wiley and Sons, New York. pp. 198-272.

Hall, H. P. 1955. An investigation of steady flow toward a gravity well. *La Houille Blanche*, v. 10, pp. 8-35.

Hansen, V. E. 1953. Unconfined ground-water flow to multiple wells. *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.* v. 118, pp. 1098-1130.

Jacob, C. E. 1944. Notes on determining permeability by pumping tests under water table conditions. U. S. Geol. Survey. Mimeographed Rept.

Lehr, J. H. 1963. Ground-water flow models simulating subsurface conditions. *Journal of Geological Education*, v. 11, no. 4, pp. 124-132.

Thies, C. V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *Trans. Am. Geophys. Union*, pp. 519-524.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

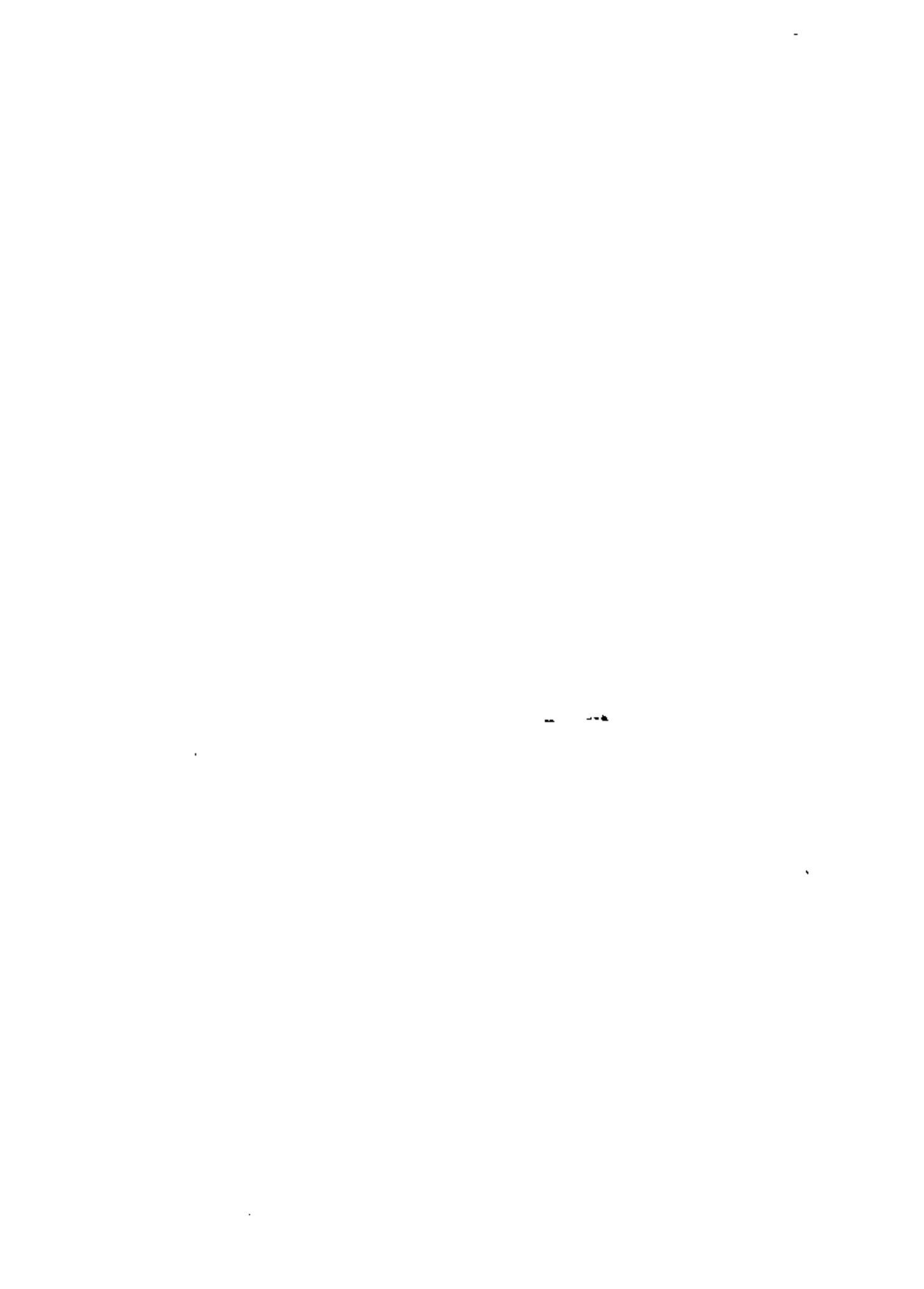


PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

DISEÑO Y TERMINACION DE POZOS PARA AGUA

ING. JOSE MA. BOLIVAR DEL VALLE

JUNIO, 1979.



DISEÑO Y TERMINACION DE POZOS DE AGUA

I N D I C E		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 Límites 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.- Areas 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 penetre 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 resisti-- vidad (en otros países se ha vuelto práctica rutinaria el co-- rrer 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 simple-- mente muestras de canal, tomadas en el retorno del fluido de perforación, en el caso, de las perforadoras rotarias y en el material cuchareado 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 cuchareo 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:

- Levantarse la barrena unos centímetros al llegar al punto de muestreo y circular lodo hasta obtenerlo limpio de corte.
- Reiniciar la perforación coleccionándose la primera 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 a 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:

$$t = \frac{l}{v}$$

Cuando la b rrena se encuentre en el punto de profundidad l se dejar  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 correlacionar  dicha columna estratigráfica con el registro eléctrico y se seleccionaran el o los acufferos 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 despejar  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.

II.- TIPOS DE POZOS DE AGUA

En estas charlas trataremos del diseño de pozos ademados 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 exponremos 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 tornas 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 menos diámetro en la perforación y por tanto, se abarata ésta.

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 = Area 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:

Lás 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 bién 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 espesor 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.

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 continúa muestra la relación entre abatimiento y rendimiento y el "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 provoque 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. Supongamos 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)?

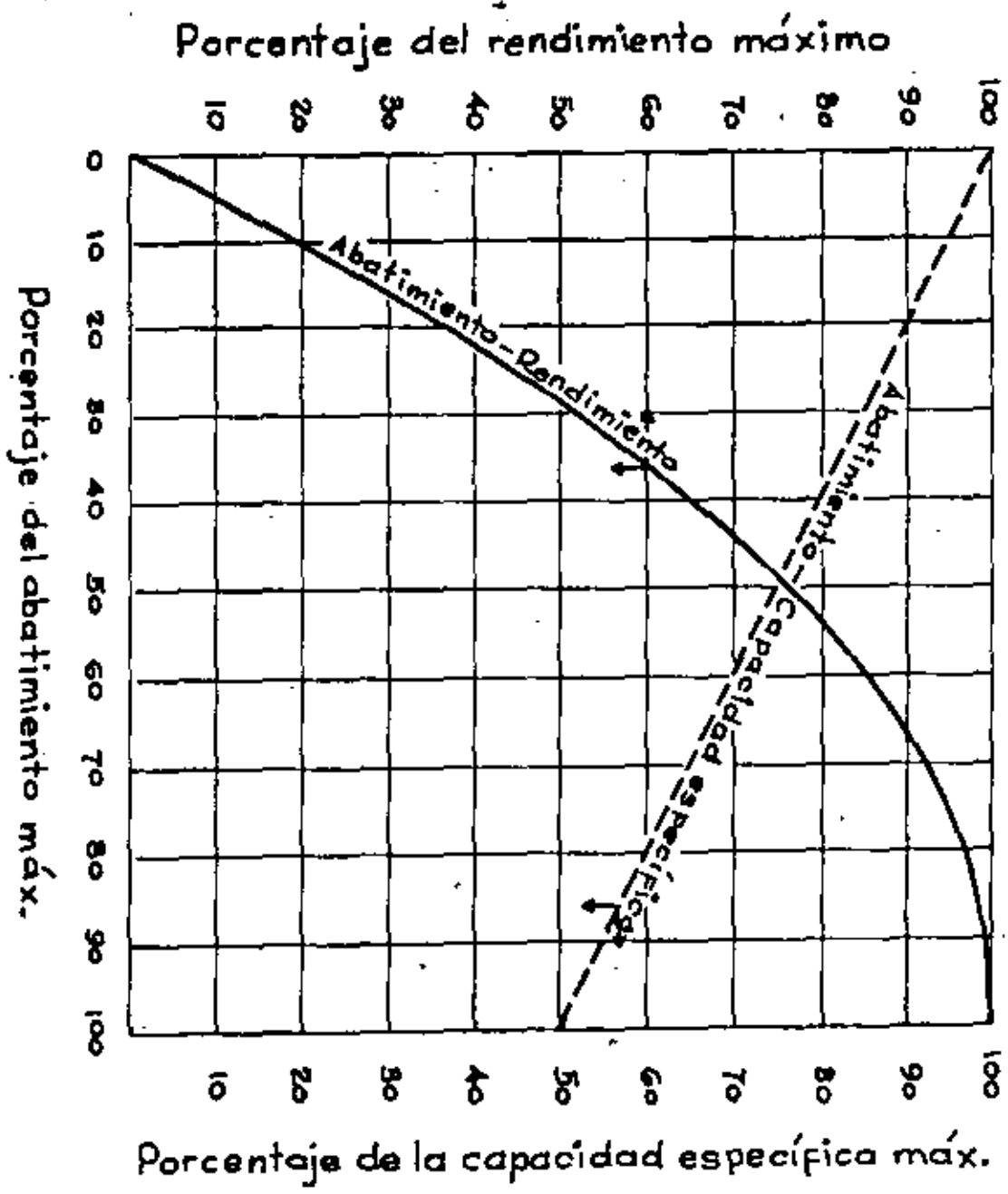


FIG. 1

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.

$$50/115 = 0.43 = 43\%$$

En la gráfica
43% abatimiento = 68% de rendimiento.

Si el 38% del rendimiento son 120 lt/seg.:

$$\begin{array}{l} 38 - 120 \\ 68 - X \end{array} \therefore X = 215 \text{ lt/seg.}$$

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.

$$\begin{array}{l} 22\% \text{ de abatimiento} = 88\% \text{ de capacidad específica} \\ 43\% \text{ de abatimiento} = 79\% \text{ de capacidad específica} \end{array}$$

Para finalizar veamos cual de los dos caudales resulta más -- adecuado por acercarse más al caudal óptimo.

$$\frac{120}{25} \times 120 = 576 \times 10^3 \text{ m}^5/\text{seg.}^2$$

$$\frac{215}{50} \times 215 = 924 \times 10^3 \text{ m}^5/\text{seg.}^2$$

924 > 576 ó sea que resulta más conveniente el caudal de 215 lt/seg

¿Y que significado tiene la unidad m⁵/seg.² ? Es la aceleración que se le imprime a un metro cúbico a lo largo de un metro.

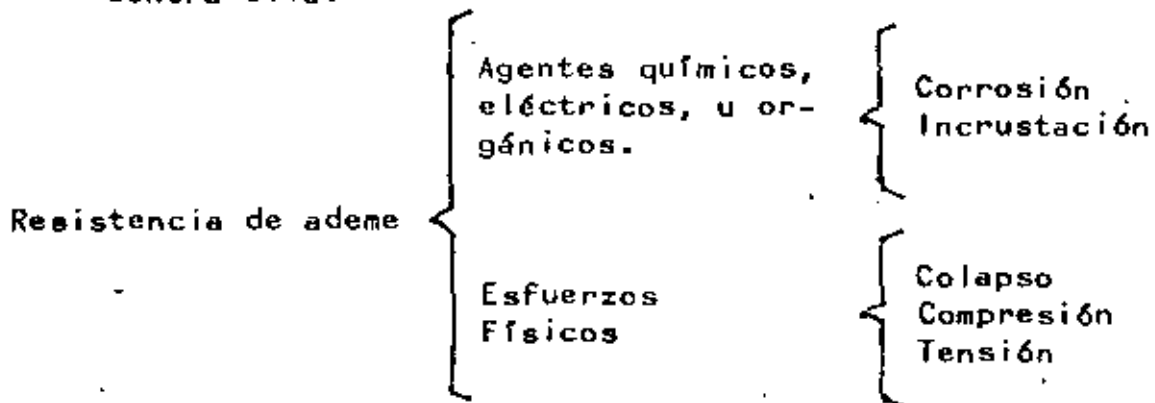
Si volvemos a la gráfica podemos hacer diversas tentativas para establecer cuál es el máximo producto de rendimiento por capacidad específica y llegaremos a la conclusión de que este corresponde a un abatimiento de 67% con el cuál se obtiene un rendimiento del 88% y una capacidad específica del 67%. Esta es la razón de recomendar abatir el acuffero 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.
- b) Oxígeno disuelto (O₂). Su presencia contribuye a la corrosión. El oxígeno disuelto es común en acuíferos libres - poco profundos.
- c) Sulfuro de Hidrógeno (H₂S). 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_2). En concentraciones de más de 50 p.p.m. el agua es corrosiva.
- f) Cloruros (Cl). En concentraciones de más de 500 p.p.s. se debe esperar corrosión.

La corrosión, cualquiera que sea su origen, ataca preferentemente la zona de cedazo del pozo, pues la ranura representa 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, a 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 acuífero 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 sustancias 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 inatacable 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.

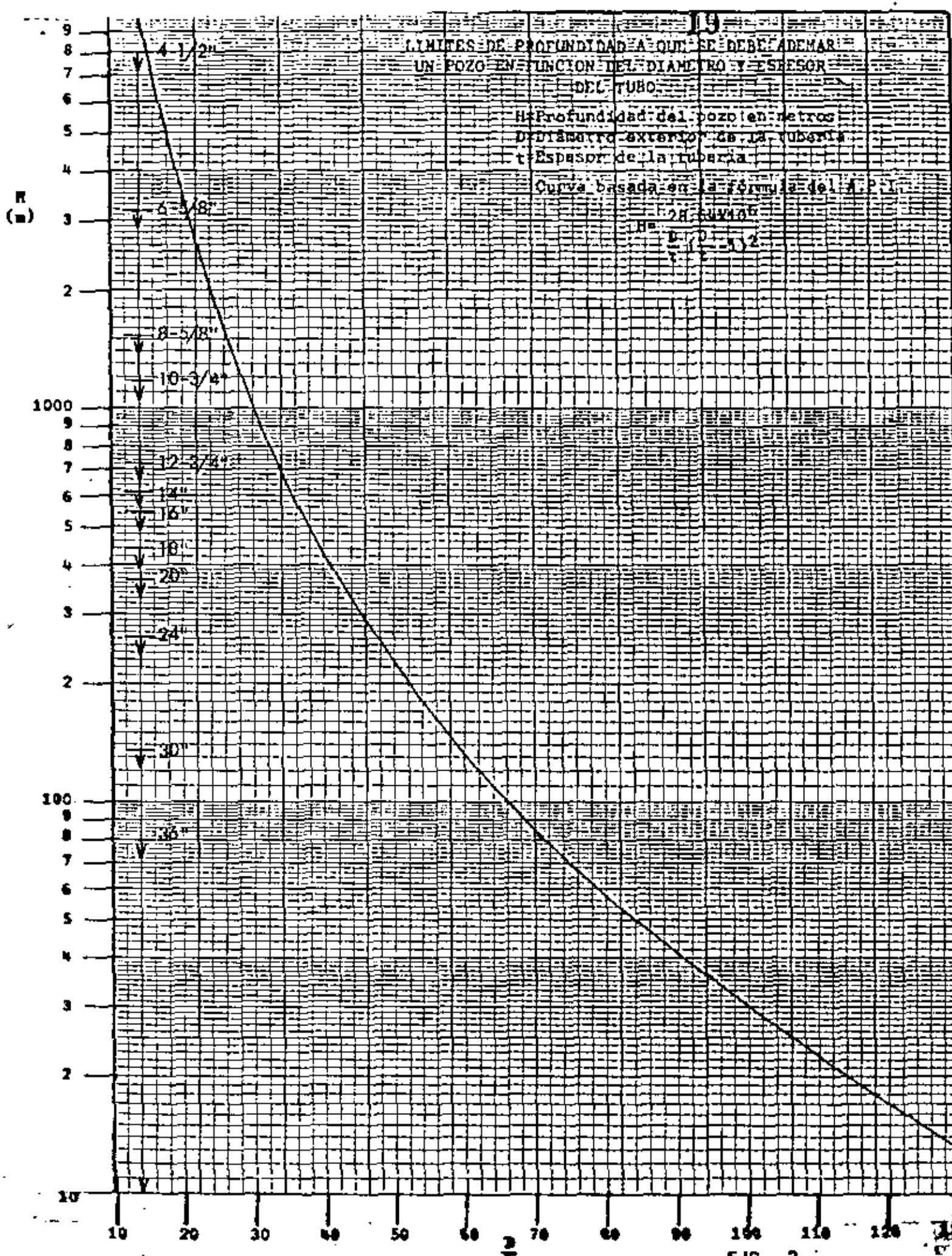
Las dos tablas subsecuentes presentan comparativamente las características hidráulicas de los cedazos de fabricación nacional y la última es un resumen de las propiedades de los mismos.

**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	96 % 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 14 % 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 COBRELO SILICICO	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 SARMCO	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

Tabla 1



PROPIEDADES MECANICAS.
DEL ADEME P. V. C.

DIAMETRO NOMINAL EN PULGADAS	4	6	8	10	12	14
Diámetro exterior en mm (t)	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	2017	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 ² .	15.15	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
TUBO RANURADO.						
Resistencia a la tensión 8 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 ² (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

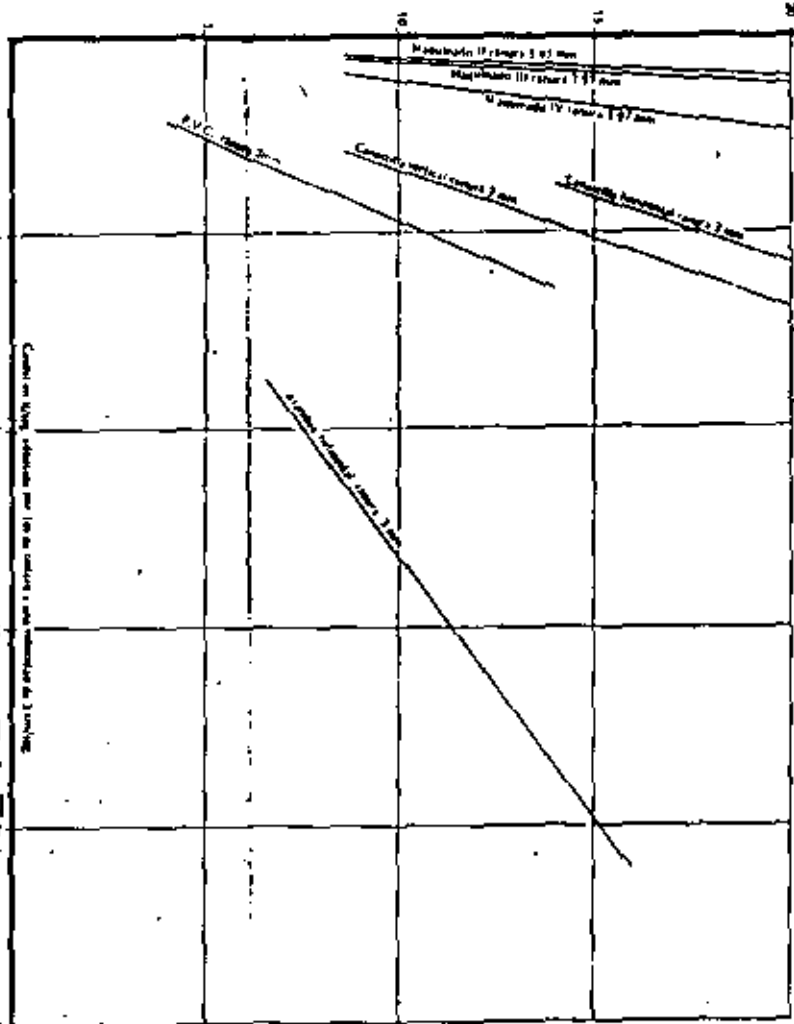
CAUDAL EN l/s/m. ADMITIDO POR 1m. DE

TIPO DE CEDAZO	MAQUINADO TIPO II			MAQUINADO TIPO III			MAQUINADO TIPO IV			RANURA TIPO CONCHA			CAI VI
	3.97	4.78	6.35	3.97	4.78	6.35	3.97	4.78	6.35	3.13	4.78	6.35	
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	3.45	0.99	1.45	2.01	
20	1.06	1.27	1.69	1.49	1.80	2.39	2.43	2.92	3.56	1.00	1.56	2.19	



Colocando pajas en la conchón para asegurar un buen fraguado

Diámetro nominal en pulgadas



No. 2
 TIPOS DE CEDAZOS PARA POZOS DE AGUA

Tipo	Materiales				Diámetro nominal					Materiales				
	1.000	1.500	2.000	2.500	0.500	0.750	1.000	1.250	1.500	0.500	0.750	1.000	1.250	1.500
100	100	150	200	250	100	150	200	250	300	100	150	200	250	300
200	200	300	400	500	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
300	300	450	600	750	300	450	600	750	900	300	450	600	750	900
400	400	600	800	1000	400	600	800	1000	1200	400	600	800	1000	1200
500	500	750	1000	1250	500	750	1000	1250	1500	500	750	1000	1250	1500
600	600	900	1200	1500	600	900	1200	1500	1800	600	900	1200	1500	1800
700	700	1050	1400	1750	700	1050	1400	1750	2100	700	1050	1400	1750	2100
800	800	1200	1600	2000	800	1200	1600	2000	2400	800	1200	1600	2000	2400
900	900	1350	1800	2250	900	1350	1800	2250	2700	900	1350	1800	2250	2700
1000	1000	1500	2000	2500	1000	1500	2000	2500	3000	1000	1500	2000	2500	3000

CAUDAL EN m³/seg., ADMITIDO POR 1m. DE CEDAZO, A UNA VELOCIDAD DE 3cm./seg.

TIPO DE CEDAZO	MAQUINADO TIPO II			MAQUINADO TIPO III			MAQUINADO TIPO IV			RANURA TIPO CONCHA			CANASTILLA VERTICAL			CANASTILLA HORIZONTAL			P.V.C.					ALAMBRE HELICOIDAL				
	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	2	3	1	2	3	0.5	1	1.5	2	3	0.5	1	1.5	2	3
4													0.95	1.82	2.95				0.48	0.83	1.26	1.43	2.15					
6													1.17	2.25	3.65				0.72	1.26	1.89	2.15	3.23					
6 5/8					0.46	0.62							1.42	2.74	4.43									3.18	4.89	6.37	7.58	8.74
7/8													1.55	2.89	4.82				0.86	1.51	2.27	2.59	3.88					
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	1.22	3.31	5.36									3.45	5.85	7.19	7.99	10.72
10													1.99	3.84	6.22				0.96	1.68	2.52	2.88	4.32					
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	4.27	6.92									4.25	7.90	8.79	11.50	15.21
12																			1.20	2.10	3.15	3.60	5.40					
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												4.99	6.97	10.39	13.45	17.94
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				1.25	2.40	3.89	1.44	2.52	3.78	4.32	6.48	5.50	9.96	11.64	14.82	19.69
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				1.40	2.70	4.37						5.92	10.27	13.38	16.09	21.07
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				1.64	3.15	5.10										
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				1.87	3.60	5.83										

TABLA No. 4

CUADRO RESUMEN COMPARATIVO DE LOS CEDAZOS MAS COMUNES

CONCEPTO	MALO	BUENO	MEJOR	OPTIMO
Propiedades Mecánicas (Resistencias, tensión, compresión y colapso).	Alambre Heli- coidal.		Cedazo P.V.C.	Tubo ranurado Tipo Concha, Tipo Canastilla
Tamaño ranura	Tubo ranurado, Tipo concha		Tipo Canastilla	Cedazo P.V.C. Alambre Heli- coidal.
Area de infiltración	Tubo ranurado, Tipo Concha	Tipo Canastilla	Cedazo P.V.C.	Alambre Heli- coidal.
Resistencia corrosión	Alambre Heli- coidal.	Tubo ranurado, Tipo Concha, Tipo Canastilla.		Cedazo P.V.C.
Resistencia incrustación	Tubo ranurado, Tipo Concha, Tipo Canastilla	Alambre Heli- coidal.		Cedazo P.V.C.

TABLA No. 5

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 paso 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 tengan 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.

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

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:

$$\text{Coeficiente de Uniformidad} = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

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.

Coeficiente 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 :

Coeficiente 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

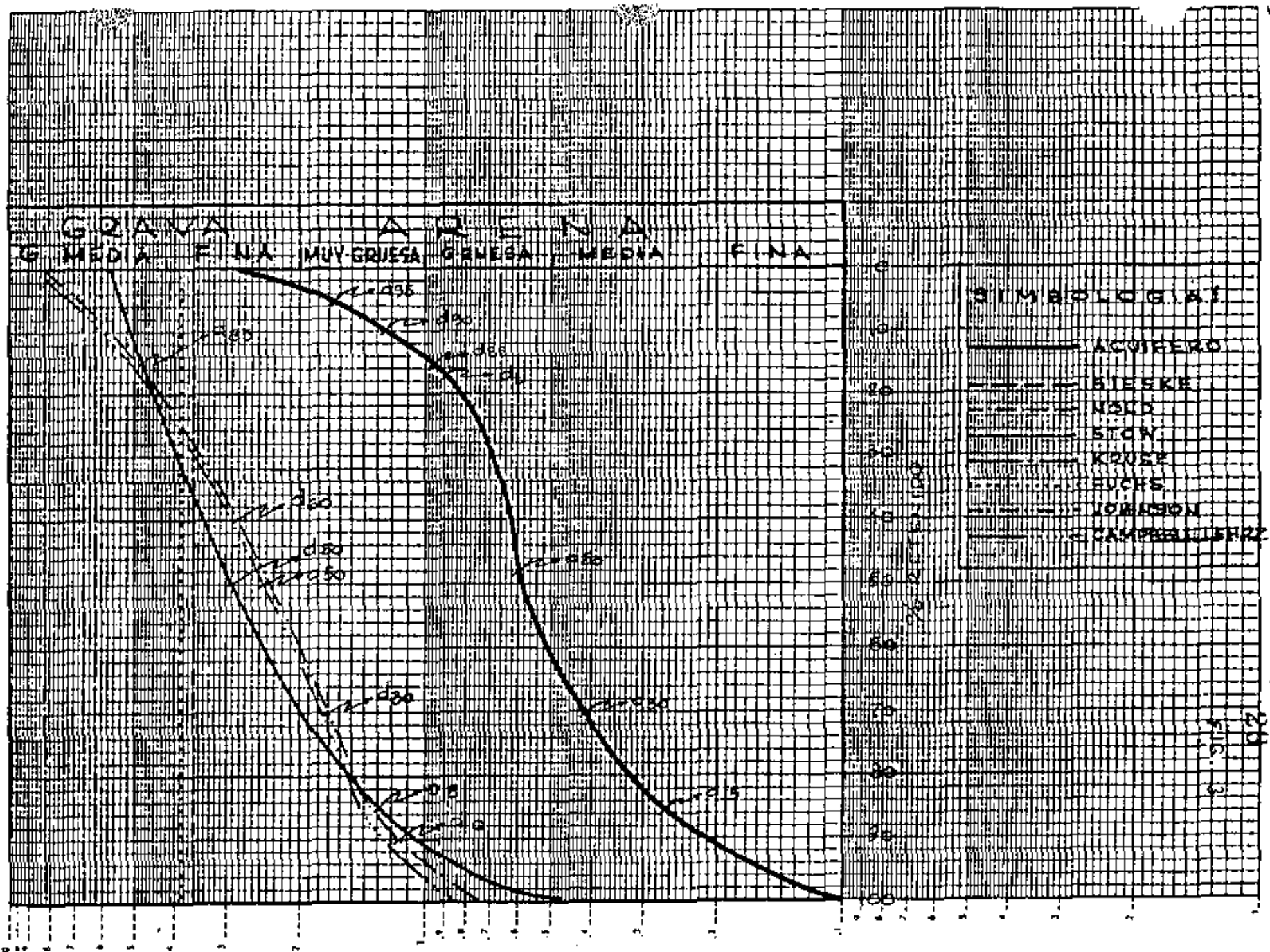
o sea que se podría utilizar un filtro homogéneo con tamaños variables entre 6.6 y 6.25 mm.

F-2.3 Método de Stow (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:

$$\frac{d_{85}}{d_{15}} \leq 5$$



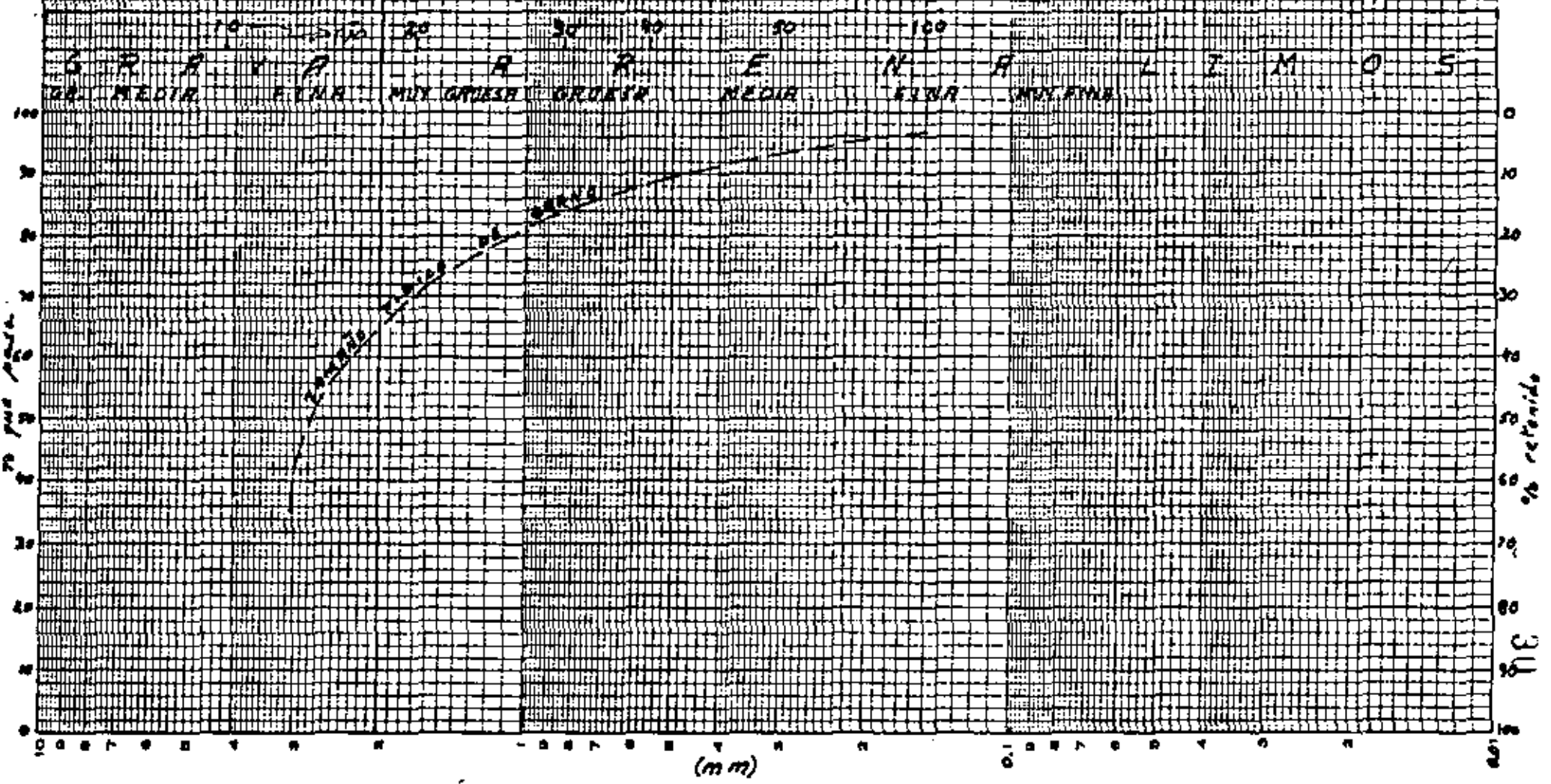
DIAMETRO EN mm. 1/16 INCHES

27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100

FIG. 4

CURVA MAESTRA PARA ESTABLECER EL TAMAÑO TÍPICO DE GRANO (mm)

FACTOR DE FILTRACION
Esp. No. 4



De no ser así se modificarán los dos tamaños, para que la condición anterior se cumpla.

En el mismo ejemplo:

$$\begin{aligned} d_{85} \times 5 &= 0.96 \times 5 = 4.8 \\ d_{50} \times 5 &= 0.60 \times 5 = 3.00 \\ d_{15} \times 5 &= 0.265 \times 5 = 1.3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{d_{85}}{d_{15}} = 3.69 < 5, \text{ se cumple la condición.}$$

F-2.4 Método de Kruse (1960).- Considera la relación Filtro + acuífero (F/A) en su d_{50} . Los valores recomendados para estabilizar las arenas son los siguientes:

ACUIFERO	FILTRO	F/A MAXIMO
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 supon-
dremos que no podemos conseguir un filtro graduado; En-
tonces:

$$\begin{aligned} \text{Acuífero} &- \text{No uniforme} \\ \text{Filtro} &- \text{Uniforme} \\ F/A &= 13.5 \text{ como máximo} \\ A_{d_{50}} &= 0.60 \\ F_{d_{50}} &= 8.10 \text{ máximo} \end{aligned}$$

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 d_{50} 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 Fichs (1963).- Es recomendable preferentemente
a acuíferos no uniformes, (sin que lo excluya de los uni-
formes.

El filtro se diseña de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
 F_{d50} &= 4 A_{d85} \\
 F_{d50} &= 16 A_{d50} \quad \text{Cuando el acuífero es uniforme} \\
 F_{d50} &= 10 A_{d50} \quad \text{Cuando el acuífero no es uniforme}
 \end{aligned}$$

Se seleccionará el menor valor obtenido o un rango entre los dos valores.

En el ejemplo: No es uniforme.

$$\begin{aligned}
 A_{d85} &= 0.96 \text{ mm} \\
 A_{d50} &= 0.60 \text{ mm} \\
 F_{d50} &= 4 \times 0.96 = 3.84 \text{ mm} \\
 F_{d50} &= 10 \times 0.60 = 6.00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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 si 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 d_{30} o sea el 70% retenido y se multiplicará por un factor variable entre 4 y 9.

- 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 limos.

- El producto de esta multiplicación será el tamaño d_{30} 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 permitiraán tolerancias de $\pm 8\%$.

En el ejemplo:

$$\begin{aligned}
 d_{30} &= 0.41 \text{ mm y tomaremos un factor de } 4 \\
 d_{30} \text{ del filtro} &= 1.64 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Se trazó la curva cuyo coeficiente de uniformidad fué:

$$\frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{2.85}{1.18} = 2.42$$

F-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 al 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 de el filtro, como ejemplo de un caso práctico podemos citar un coeficiente de uniformidad de 1.5 para un material acuífero 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 acuífero 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 bomba con tazon de 12" o sea que el diámetro óptimo de la cámara de bombeo sería de 16". Además este tamaño permitiría si el aforo lo aconsejara instalar tazon 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 $d_{10} = 0.8$ 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 ademe de PVC con ranura de 1 mm y 8". En la tabla vemos que ofrece un área libre de 504 cm²/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 cm²/m.

$$A_{1t} = 700 \times 39 = 27,300 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{150,000}{27,300} = 5.49 \text{ también alta}$$

$$\text{Con } \phi = 14", A_1 = 840 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$v = \frac{150,000}{32,760} = 4.57 \text{ cm/seg.}$$

Resulta entonces necesario contar con una mayor longitud de cedazo con lo que disminuirémos la velocidad, perderémos caudal, y ganaremos capacidad específica. Dejemos con cedazo el 80% inferior de cada acuífero. Entonces:

$$L = 78 \text{ m} \times 0.8 = 62.4 \text{ m}$$

$$\text{Con } \phi = 12": A_{1t} = 700 \times 62.4 = 43,680 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{150,000}{43,680} = 3.43 \text{ cm/seg.}$$

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. 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	m	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.

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 empaques 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:

$$Q = P \cdot l \cdot A \quad \text{Donde:}$$

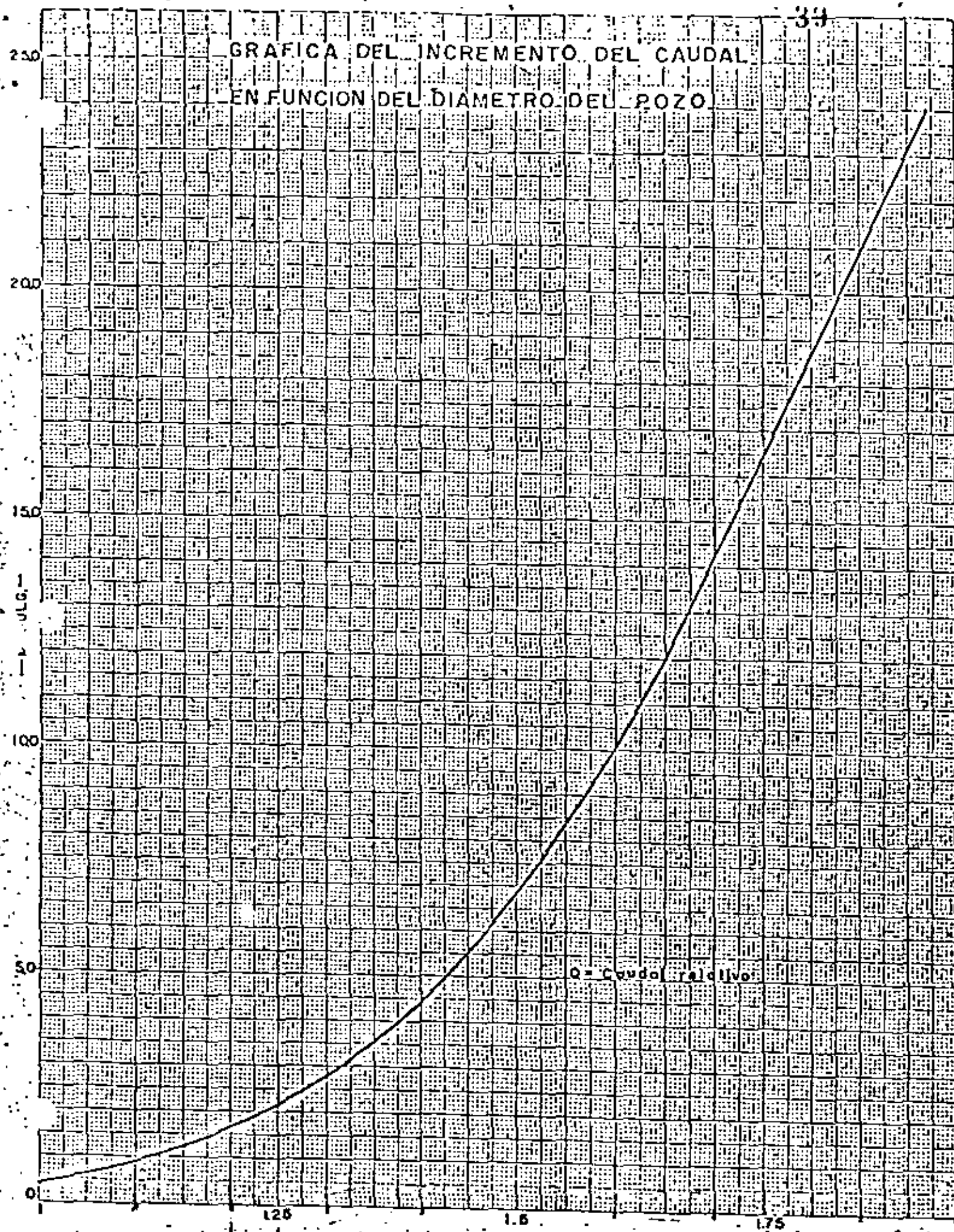
Q = Caudal a través del espacio anular en m³/día.

P = Permeabilidad del filtro granular en m/día, bajo un gradiente = 1

l = Gradiente hidráulico que provoca el flujo a través del filtro. = 55-10 = 45 m.

A = Área de la sección transversal del espacio anular en m².

GRAFICA DEL INCREMENTO DEL CAUDAL EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL POZO



Q = Caudal relativo

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 80 m/día que incluiría la gran mayoría de los filtros utilizados.

Por tanto la cantidad de agua transmitida verticalmente es:

$$Q = 800 \times 0.9 \times 0.22 = 158.4 \text{ m}^3/\text{día} = 1.8 \text{ lt/seg.}$$

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 cuál 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.

-Otros.

En cualquier caso se debe considerar que el paso 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 corta 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 bién resulta -- más conveniente al eliminar en grán medida la posibilidad de errores de soldadurã.

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 pretende 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 ocu-- rra sin problemas.

Por otra parte esta situación garantiza que el filtro gra-- nular envuelva completamente al cedazo, evitándose así -- la entrada de arena al pozo.

Si bién el criterio de espaciamiento de los centradores varía de constructor a constructor parece adecuado colo-- car un centrador cada 20 diámetros del ademe.

C.- TAPON DE FONDO

Resulta siempre conveniente el colocar en el fondo del -- pozo un tapón de cemento que lo aisle impidiendo la en-- trada de materiales por el fondo; aislamiento que es par-- ticularmente 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 el.

La práctica más usual en la construcción de el tapón de fondo, es el colocar la lechada de cemento en la superfi-- cie, 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. Esta 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 simultanea 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 acuñamiento 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 anillarse 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 resuelto 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 del propio filtro entorpece la llegada de la agitación al enjarre bentonítico y al aculfero.

-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.

D-2 LAVADO

Una vez terminada la colocación del filtro se continúa el lavado que ya se había 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.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ESTIMULACION DE POZOS

ING. JUAN JOSE ROCHA RANGEL

JUNIO , 1979.

ESTIMULACION DE POZOS.

El término estimulación fue definido como el tratamiento mecánico, químico, físico u otro medio cuyo propósito sea remover o reducir la resistencia al flujo del agua subterránea.

Este término fue 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 des-

pués que en el pozo se notó una declinación de la producción:

Algunos técnicos en agua no incluyen la reconstrucción de un pozo dentro del término estimulación, sino que solamente como se señaló el principio, son las técnicas necesarias para remover parcial o totalmente la resistencia -- del flujo de agua subterránea al pozo, sin cambiar las características constructivas.

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 comúnmente 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 objeto es incrementar la permeabilidad del acuífero en las vecindades del agujero, eliminando las partículas del lodo y productos ajenos al pozo que hayan penetrado durante su perforación, el tercer objetivo, es logra la formación de zonas de graduación de arenas, para dar el filtro adecuado y tener el pozo flu--yendo 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 MACANICO.

Agitación de las aguas del acuífero

por medio de la acción de un pistón en el interior del ademe.

Para esta operación se necesita utilizar 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 está 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 flujo de agua y así destapar los canales por arrastro 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, -- seá demasiado difícil logra la limpieza del pozo. Otra objeción es la cantidad de agua necesaria para lograr el bombeo.

4.- BOMBEO O CHORRO.

El bombeo o 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 obstruidas, el chiflón es correctamente ajustado para dirigir la fuerza del chorro concentrado 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 limado 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 bombeado, actúan con mayor eficiencia 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.

7

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 éste, a la medida del pozo, eficiencia del equipo u 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 m³ por minuto a presiones hasta de 280 k/cm²; tubería y conexiones de acero inoxidable de alta presión con juntas de rodilla (que dan flexibilidad de operación), bomba centrífuga para mezcla y tanques de almacenamiento para efectuar la mezcla de los productos químicos.

La velocidad mínima aceptable de los --
flúidos, para obtener eficiencia es de 100 pies por segundo, --
mejores resultados pueden ser esperados si se incrementa la --
velocidad de 300 pies por segundo.

Para que este método sea efectivo es de --
seable 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 estimula ---
ción de pozos por bombeo y limpieza con aire y se pueden utili --
zar diferentes herramientas como la de la figura, que consiste --
en dos empaques separados a más ó menos un metro, esto hace --
que se aisle la zona que va a limpiar y desarrollar.

Bombeo y extracción efectiva de los fi-
nos se logra con este tipo de empacador y las dos operaciones
se hacen simultáneamente.

Otro tipo de empacador aísla completa--
mente la zona que se va a limpiar y se inyecta aire con la tu --
bería a la formación posteriormente se sifonea el pozo. Cada --
segmento de la formación se estimula separadamente, estable--

ciendo así cuales intervalos son los que necesitan mayor -- tiempo de desarrollo.

Las desventajas que tiene este 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 mas 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 -- fluir, cooperando a su limpieza.

Además se logra el desarrollo de todo el acuífero variando las profundidades de la 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 productos son más eficientes porque aunado a el trabajo del dispersante, el ácido por sí 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 efectiv
vo.

METODO DE APLICACION DEL NITROGENO.

Cuando la profundidad del pozo para -
aguas es grande (abajo de 300 metros) se ha utilizado con gran
éxito el uso del nitrógeno para la limpieza del pozo, se bom-
bea a través de una tubería de diámetro pequeño introducida -
hasta el fondo del pozo; el nitrógeno aumenta grandemente su
volúmen y en forma de burbujas efectúa descarga totales de -
agua, contribuyendo enérgicamente a la limpieza del pozo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES O NORMAS PARA LA LIMPIEZA DE POZOS EN FORMACION- NES GRANULARES.

En el desarrollo de pozos se emplean -
técnicas que se consideran rudimentarias y otras que han sustit
tuído ventajosamente a las primeras, las normas que a continua-
ción 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 par --
tículas de arcilla dentro de la formación.

Emplear dispersantes de arcillas en me --
dio ácido.

Emplear aire para limpieza en pozos con --
profundidades menores de 300 metros.

Emplear el nitrógeno para pozos profun --
dos 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 betonítico al quedar estático se gelatiniza y es muy --
difícil removerlo.

En formación donde se presentaron pér --
didas de lodo durante la perforación, es necesario inyectar --
los dispersantes dentro de la formación, para que estas se --

pongan en contacto con el lodo y logren dispersarlo.

Efectuando pruebas piloto en los distintos dispersantes que existen en el mercado de acuerdo con el problema que se tenga que resolver y emplear el que resulte -- mas 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 di- -- namita 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 ga-- ses 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 are-

niscas, 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 depósito -
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 con-
tienen calizas en su formación, o pozos que han sido obtura-
dos con lodo bentónico.

Durante la construcción de pozos en ca-
liza, 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, llegan-
do en algunos casos a continuar la perforación a fondo perdi-
do.

Esta circunstancia ocasiona el taponamien-
to parcial y en algunas veces total del acuífero; luego -
por lo tanto uno de los problemas más grandes de la estimula-
ción 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 tu-
vo pérdida total de circulación.

Si no se conoce este dato se continúa -
con la secuela siguiente:

A).- Con tubería de 2", de tipo produc-
ción para pozos petroleros, se bajará un empaque diseñado --
para formación geológica abierta, es decir sin ademe, an- -
clándolo a una profundidad de cincuenta metros arriba de ---
aquella en que se registro la pérdida parcial del fluído de
perforación.

B).- Se probará la efectividad del empa-
que 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 libremente el agua inyecta-
da 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 permeables 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 anular 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 tratamiento de estimulación -- con ácido.

OPERACION DE INYECCION DEL ACIDO Y NITRO
GENO 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 presiones hacia el pozo para extraer los lodos de perforación y materiales obturantes del acuífero.

Inyección a presión entre 500 y 4,000 lbs/
pul² de gas nitrógeno, ácido y productos dispersores se --

hace por medio de un empaque en el pozo para disolver y ampliar los conductos del acuífero hacia éste, extrayendo los materiales solubles removibles y obturantes 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 porciones contenidas de agua en las formaciones productoras, 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 inyectando 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 acuífero

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.

El ácido clorhídrico inhíbido es normalmente una solución de ácido clorhídrico en distintas concen--

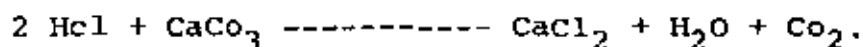
traciones según sea el problema a resolver 5%, 7.5%, 15%, 26%.

Para tratamientos en pozo de caliza en lo que se necesita estimular la formación, se emplea el 26% del caso.

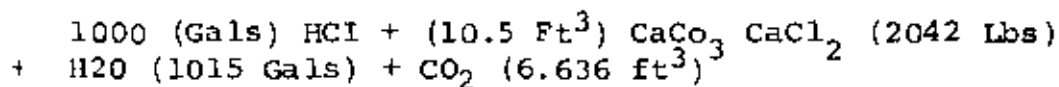
Este ácido contiene un inhibidor de corrosión y otro aditivo como surfactantes que viene de la palabra agente reductor de la tensión superficial, agentes espumantes, agentes estabilizadores etc.

Cuando el ácido clorhídrico es bombeado a la formación existe una reacción con la caliza produciendo cloruro de calcio, bióxido de carbono y agua.

Esta reacción se representa de la siguiente forma:

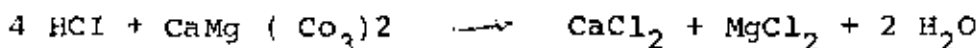


La cantidad de caliza que reacciona con el ácido es la siguiente:



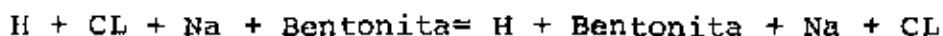
Se puede resumir que una solución de ácido clorhídrico gastado en piedra caliza se convierte en una solución de 20.5% de cloruro de calcio con peso de 9.8 lbs/galón.

CON DOLOMITA.



1000 Gals de HCl (al 15%) reaccionado con 9.6Ft³ de dolomita 1040 Lbs. de CaCl₂ + 875 Lbs. de MgCl₂ + 6636 ft³ de CO² + 333 Lbs. de agua, o sea que se convierten en 10.5% de CaCl₂ y 9% de cloruro de magnesio con peso de 9.7 lbs./galón.

La reacción entre el ácido clorhídrico, y la bentonita de sodio inhibidor tendra verificativo -- con una reducción considerable del tamaño de las partículas de acuerdo con la siguiente formula:



El inhibidor empleado para este ácido es el marflo 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 volumen de ácido depende de la concentración de ácidos y del volumen usado. Usando un ácido de mediana concentración se obtuvo un máximo de desgaste en la primera 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 de 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/cm³ al 15.5° (60F°). Este producto, ya sea como gas o en solución se maneja en recipientes herméticos.

El ácido clorhídrico gaseoso no es 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 volumen.

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 en 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 en la producción.

El ácido para lodo tiene diversos nombres según los fabricantes pero es una mezcla de ácido clorhídrico, ácidos 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.

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 energético para la piel que puede causar severas y dolorosas quemaduras, si entra en contacto con cualquier parte del cuerpo o 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 sistema 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 capaci-

dad 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 desfuegos de seguridad con discos de ruptura -- que tenga un respiradero de 3.17 mm (1/8") en el centro, 0 - disco de carbón que permitan un venteo continuo, excepto cuando están 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 1.27cm. (1/2") de espesor y cuando - menos de 42 dm² (4.5 pies²).

Cual el ácido clorhídrico contiene aceites o solventes, no debe transportarse en recipientes o carro tanque 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 del 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 equipo 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 instruido 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; además de 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 colocarse 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 bioxido de carbono) y después lavar y drenar.

Durante el tiempo que dure el trabajo debe mantenerse ventilado el interior del tanque.

TRATAMIENTOS DE ACIDO PARA FORMACIONES
GRANULARES.

(TRATAMIENTOS DE MATRIZ)

ACIDO HF

Este ácido se presenta como una solución de ácido clorhídrico, inhibidor, surfactante y una sal de bifluoruro de amonio lo cual de una mezcla de ácido clorhídrico y fluorhídrico de baja tensión superficial.

Presenta la particularidad de disolver arcillas.

Es el ácido más comunmente usado en el país en formaciones que tienen un contenido menor del 10% de carbonatos presentes en el materiales cementante.

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

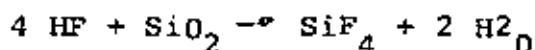
Los materiales que generalmente intervienen en la composición de las arcillas como material cementante son los siguientes: Feldspatos, Calcita, Caolinita, Illita, Montmorillonita y Clorita.

Las arcillas se encuentran depositadas en forma de canales entre los granos de arena y pueden ser atacados por el HF.

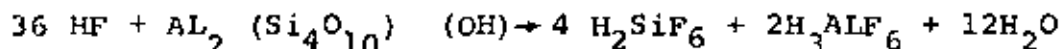
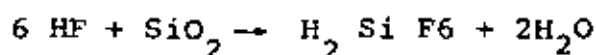
Un típico yacimiento de arenisca puede contener del 50 al

85% de bióxido de silicio (arena o cuarzo).

La reacción del HF con este componente es la siguiente:

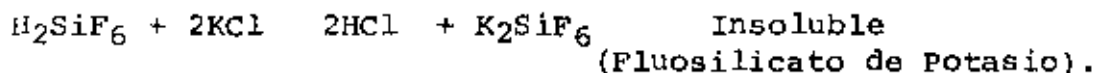
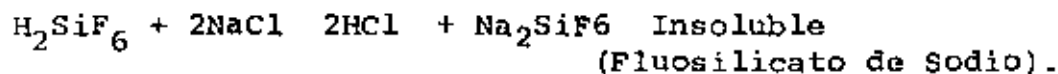


El HF reacciona con la arena, bentonita y con las arcillas de la formación en la siguiente forma:



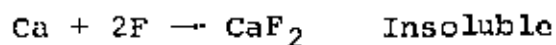
(Reacción Arcilla Primaria).

Posteriormente el $\text{H}_2 \text{ Si F}_6$ (ácido Fluorsilícico) reacciona con las sales de Sodio, Potasio y Calcio de esta manera:



Cuando 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 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 obturan-

tos que bombeados por etapas llegan a bloquear el intervalo que este tomado fluido, para así inyectarlo 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 objeto 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.

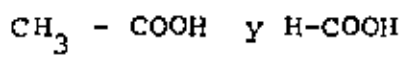
Las presiones de bombeo nos dirán si -
la obturación del primer acuífero fue efectiva.

Ya obturado el acuífero se bombea otra
mezcla de ácido igual a la primera, pero ya sin retardador.

Se cierra el pozo una hora y se abre -
para dejar salir los productos de la reacción de las substancias
químicas con la formación.

ACIDO ACETICO Y ACIDO FORMICO

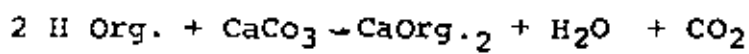
Son ácidos orgánicos debilmente ionizados de lenta reacción



generalmente se encuentran diluidos 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 mas 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 solida, para solucionar problemas de obtu raciones en pozos viejos o de alto grado de incrustación.

Se vende en el mercado en forma de barras o de bolitas.

Se arrojan dentro del pozo, se deja en-reposo cierto tiempo, se agita el pozo con la bomba y poste-riormente se bombea el pozo hasta limpiarlo.

Acontinuación y para mayor información- se presenta una tabla que contiene los tipos de ácidos más po

pulares en el mercado, los aditivos que llevan y los nombres que cada compañía tuvo a bien ponerle al lanzarlo al mercado.

TRATAMIENTOS APRESION.

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 facturas.

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 se muy bien planeada por su alto costo.

NITROGENO

El nitrógeno es un gas inerte, su símbolo es N_2 . 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 tratamiento.

La operación de bombeo de Nitrógeno a un pozo es relativamente simple: El Nitrógeno es transpasado 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^2 . Posteriormente este líquido pasa por un cambiador de calor el cual eleva la temperatura de 80°C transformando el líquido a gas, forma a la que llegará al fondo del pozo.

Existe varias tablas y ecuaciones para trabajar las presiones de bombeo y las mezclas de nitrógeno con otras substancias.

N O M E N C L A T U R A

rx = Distancia que penetraría el ácido durante su tiempo de reacción.

Ø = Porosidad Fraccional.

qi = Relación de Inyección del ácido por pie de formación - (pies.)

t = Tiempo de reacción (segundos).

rw = Radio de pozo (pies)

7.5= Factor de conversión gal/pie³

0.7= Factor de Conversión gal/seg./bl/min.

NSØ= 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

rf = penetración de las fracturas (pies)

h = altura de la fractura (pies).

d = Diámetro de los canales (pulg.)



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam.



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

A F O R O S

ING. GILBERTO LEON MARTINEZ

JUNIO, 1979.



I N D I C E

	Página
AFORO.....	1
METODOS DE AFORO.....	5
1. - METODO DE CUCHAREO.....	6
2. - METODO DE CUBICACION.....	8
SIFONEO CON AIRE.....	10
BOMBA VERTICAL.....	18
3. - METODO DE ESCUADRA.....	20
4. - METODO DE ORIFICIO CALBRADO.....	28
BOMBA SUMERGIBLE.....	34
5. - MEDIDOR DE FLUJO.....	43
6. - MEDICION EN CANAL.....	43
7. - MEDICION EN POZOS BROTTANTES.....	54

VI. - A F O R O S .

Se entiende por aforo de un pozo, a la medición del gasto de producción del mismo y proporciona la información necesaria para un adecuado diseño y selección del equipo de bombeo.

Los términos usualmente empleados en las pruebas de aforo se describen a continuación:

- GASTO ó CAUDAL. -** Es el volúmen de agua en la unidad de tiempo que produce el pozo, se expresa en litros por segundo y es medido en la superficie.
- NIVEL ESTÁTICO. -** Es la distancia vertical, comprendida entre el brocal del pozo y el nivel libre del agua dentro de él, cuando no se está extrayendo un gasto en la superficie, se expresa en metros.
- NIVEL DE BOMBEO O -
- DINAMICO. -** Es la distancia vertical, comprendida entre el brocal del pozo y el nivel del agua dentro de él, cuando se está extrayendo un gasto en la superficie, se expresa en metros.
- ABATIMIENTO. -** Es la distancia vertical comprendida entre el nivel estático y el nivel de bombeo, es decir es la diferencia entre los niveles de bombeo y estático;

se expresa en metros.

**NIVEL DE
RECUPERACION.** -

Es la distancia vertical entre el brocal del pozo y el nivel libre del agua dentro de él, una vez que se ha suspendido la extracción de un caudal en la superficie; se expresa en metros.

RECUPERACION. -

Es el tiempo que tarda en estabilizarse el nivel de recuperación; se expresa en segundos ó minutos u horas.

Medición de los Niveles de Agua. - Independientemente del sistema ó método de aforo empleado para la medición del gasto de un pozo, cuando se emplean equipos mecánicos ó electromecánicos para la extracción del agua del interior del pozo, se emplean comunmente una sonda eléctrica para la medición de los niveles estático, de bombeo ó dinámico y de recuperación.

La sonda eléctrica consiste básicamente de un electrodo que se baja hasta hacer contacto con el agua mediante un cable eléctrico marcado en metros y una batería para proporcionar energía al electrodo a través de un miliampermetro (este puede ser sustituido por una señal luminosa ó sonora).

Al estar en contacto el electrodo con el agua, se cierra el circuito que es señalado en la superficie a través del miliampermetro y directamente se obtiene la profundidad del nivel que es equivalente a la longitud del cable eléctrico.

- Altura de Elevación. - Es la altura medida del nivel del terreno al punto -
en que el agua es descargada.
- Altura Estática. - Es equivalente al nivel estático.
- Altura de Abatimiento.- Es equivalente al abatimiento.
- Altura total de Suc-
ción. - Es la suma de las alturas de elevación, estática y -
abatimiento (elevación y dinámica).
- Sumergencia -
original (Hs). - Es la distancia comprendida entre le nivel ó altura
estática hasta el extremo en el que el aire penetra -
al tubo de descarga.
- Sumergencia de -
trabajo (Hw). - Es la distancia comprendida entre el nivel dinámico
hasta el extremo en el que el aire penetra al tubo -
de descarga.
- Presión de -
Partida (Ps). - Es la presión (lbs/pulg²) necesaria para iniciar el -
bombeo, se obtiene multiplicando la sumergencia -
original por 0.434 (presión por pulg². de una colum
na de agua a un pie de altura) más las pérdidas por
fricción en el tubo de aire comprimido. -

$$Ps = 0.434 Hs + Pf$$

Presión de -
trabajo (Pw). -

Es la presión (lbs/pulg².) requerida para sostener
el bombeo.

$$Pw = 0.434 Hw + Pf$$

Porcentaje de -
sumergencia ($H\%$). -

Es la relación entre la sumergencia de bombeo (H_w)
y la longitud total de la tubería.

$$H\% = \frac{H_w}{C} \times 100$$

VI.1. - METODOS DE AFORO

Para medir la capacidad de producción de un pozo existen diferentes sistemas ó métodos, que pueden aplicarse de acuerdo a la información que se pretenda obtener.

Existe un método de aforo no preciso que permite durante los trabajos de perforación, definir la conveniencia de continuar y terminar el pozo, cuando éste se encuentre localizado en zonas geohidrológicamente desfavorables, este sistema es:

- 1). - Cuchareo.

Los Sistemas de aforo empleados para determinar en forma adecuada y con mayor precisión las características hidráulicas del pozo, cuando los trabajos de perforación y desarrollo se han terminado y se requiere obtener la información necesaria para la Selección del Equipo de Bombeo son:

- 2). - Método de Cubicación
- 3). - Método de Escuadra
- 4). - Medidor de Orificio
- 5). - Medidor de Flujo
- 6). - Medidor de Canal
- 7). - Medición en pozos brotantes.

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 bisagra ó de dardo y se deberá medir la capacidad de la misma. (Fig. 1)

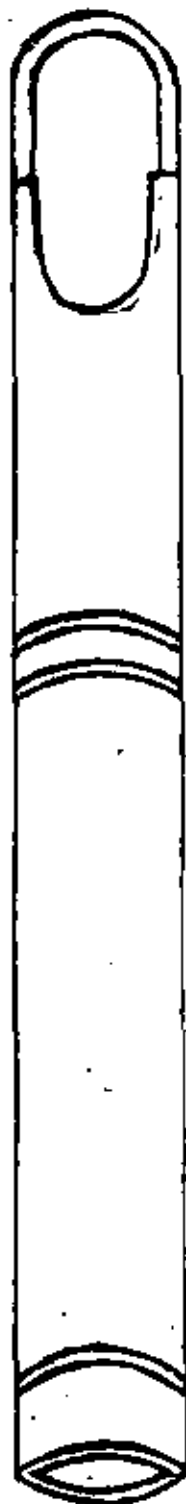
La prueba consiste en medir el nivel del agua mediante una sonda eléctrica, introducir la cuchara en el pozo abajo del nivel del agua, llenarla y extraerla, se repite esta operación en 4 ó 5 ocasiones y se toma la siguiente información:

- 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 ésta prueba se podrá determinar.

- a) - Si se abate totalmente el pozo, no será conveniente proseguir la terminación del mismo ó se estudiará la posibilidad de profundizarlo.

CUCHARA



DARDO



BISAGRA



FIGURA No. 1

- 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.s. y se emplea el siguiente equipo:

Equipos de Bombeo. - Para la extracción del agua del interior del pozo es conveniente la utilización de un guimbaete, 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 volúmen equivalente al suyo. (Fig. 2)

El movimiento ascendente y descendente de la varilla se proporciona mediante el empleo de un balancin, 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 m.

R. P. M.	N. B. (m)	Vol. Calibrado (lts)	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.

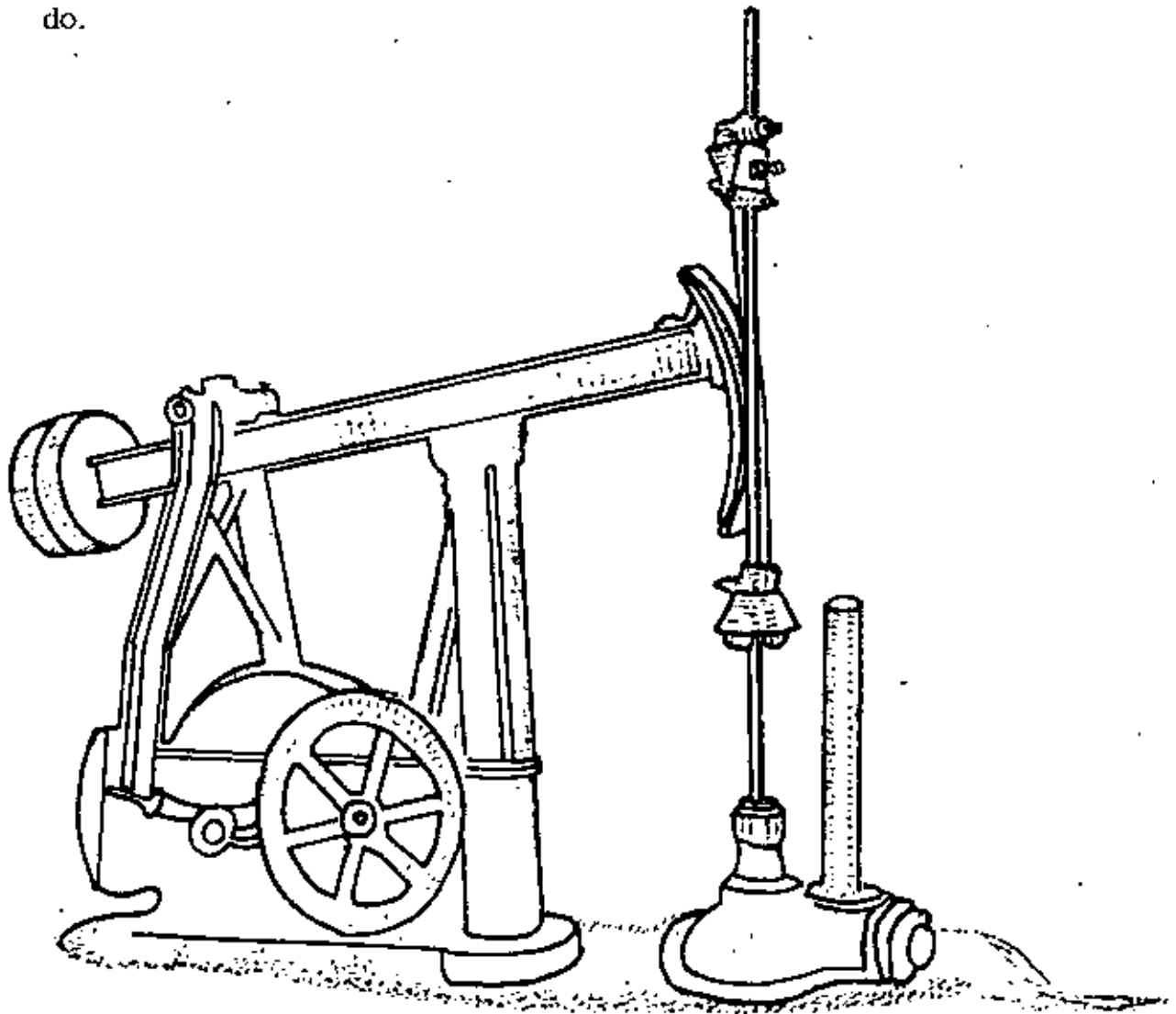


FIGURA No. 2

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. 3)

2a. Variante. - El tubo de inyección del aire se introduce fuera del tubo de descarga del agua. (Fig. 4)

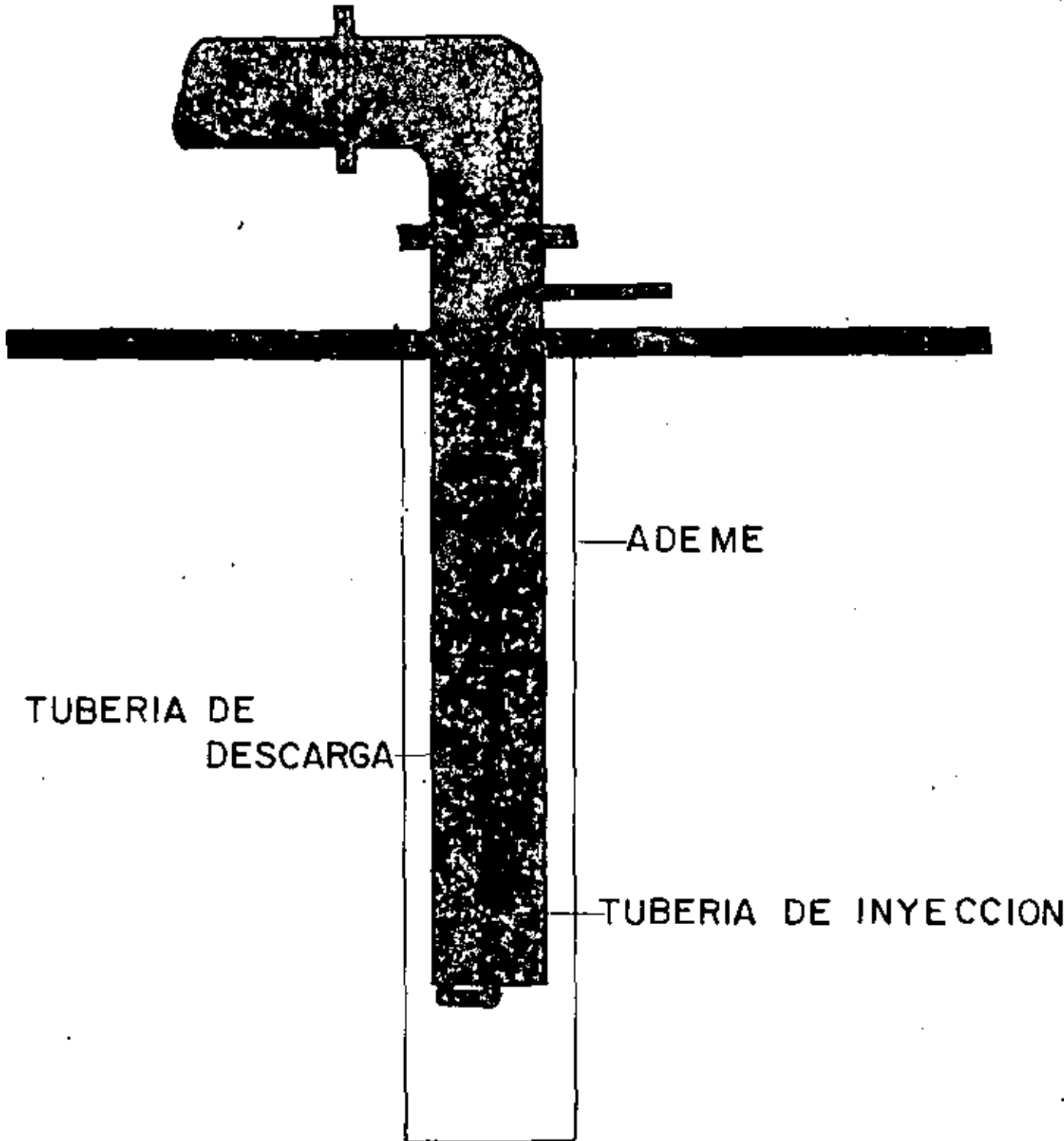
En ambos casos la inyección del aire en el interior del pozo provoca una columna de mezcla de aire - agua, que es más ligera que la columna de agua situada afuera del tubo.

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 de aire se provoca la expulsión de agua en forma intermitente.

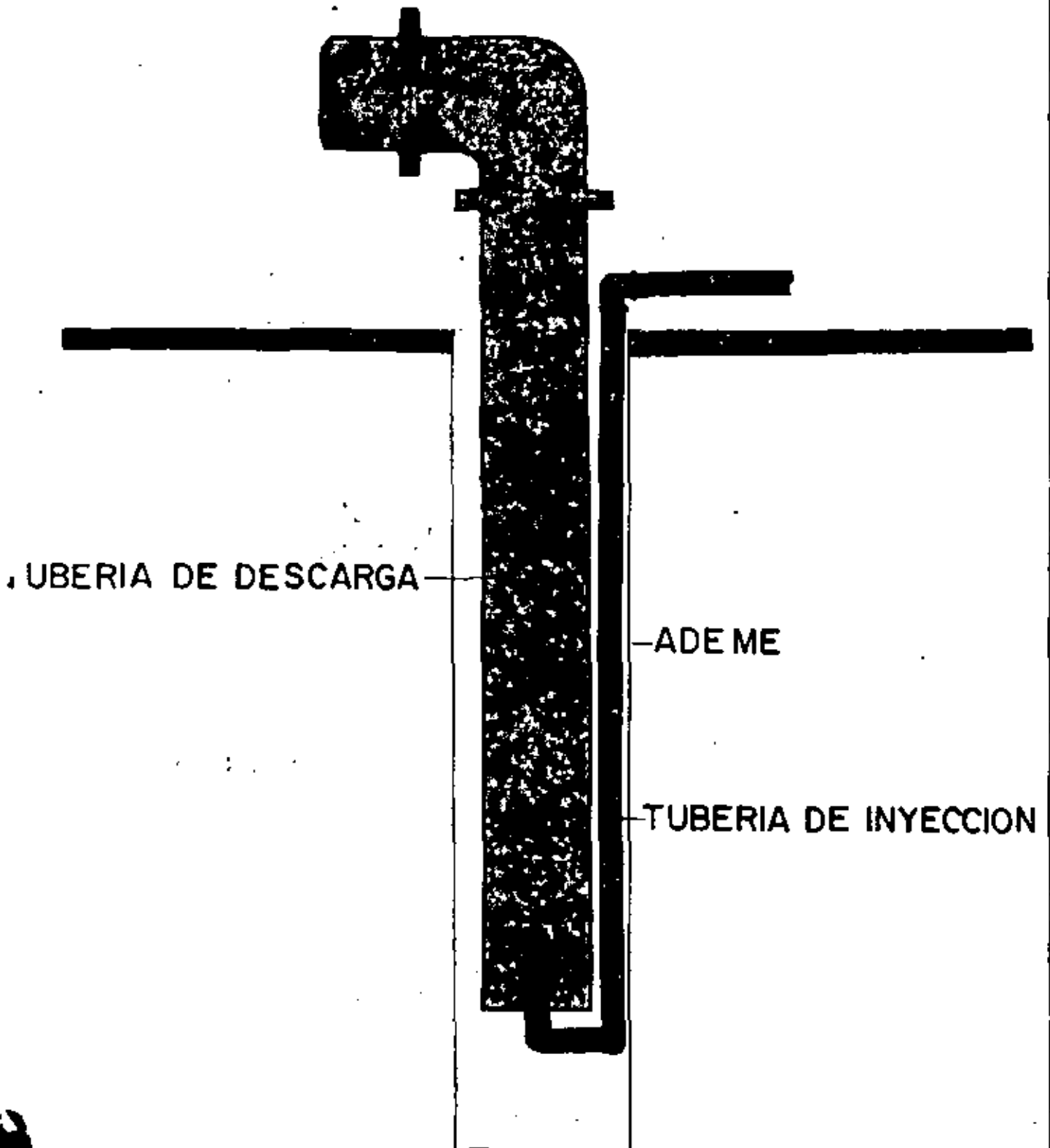
El agua descargada en la superficie, se mide como en el caso anterior por cubicación empleando uno ó más tambores de 200 litros.

Si el gasto es mayor de 5 lps., se debe emplear para su medición, recipientes de mayor capacidad (presa de lodos, camión tanque etc.).

Para la selección de la capacidad de compresor, diámetros y longitudes de las líneas de inyección y de descarga, se anexan tablas.



SIFONEO POR AIRE



SIFONONEO POR AIRE

CAPACIDADES EMPLEANDO SISTEMA CON TUBERIA EXTERIOR						
Diámetro Mínimo del Pozo	DIAMETRO DE TUBOS		CAPACIDAD - GPM			
	Tubo de Descar ga 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	90-130	78-120	55-100	50-95
6	3.1/2	1	120-250	110-180	90-150	80-130
8	4	1.1/4	200-235	160-250	130-200	120-180
8	4.1/2	1.1/2	250-475	200-375	170-275	155-225
10	5	1.1/2	300-600	275-475	200-375	180-300
10	6	2	500-900	450-775	350-575	280-500

CAPACIDADES EMPLEANDO TUBERIA INTERIOR.						
Diámetro Mínimo del Pozo.	Diámetro de Tubos		Capacidad - G P M .			
	Tubo de Descarga de Agua	Tubo de Aire	S u m e r g e n c i a .			
			70%	60%	50%	40%
	1. 1/4	3/8	13 - 22	10 - 16	9 - 14	8 - 13
	1. 1/2	3/8	18 - 28	13 - 22	10 - 17	9 - 15
	2	1/2	30 - 56	25 - 46	18 - 33	16 - 30
	2. 1/2	3/4	40 - 80	34 - 70	26 - 50	21 - 43
	3	1	75 - 105	64 - 100	48 - 82	41 - 75
	3. 1/2	1	105 - 210	95 - 155	80 - 130	70 - 110
	4	1. 1/4	160 - 270	135 - 200	105 - 160	100 - 150
	4. 1/2	1. 1/2	200 - 390	170 - 300	140 - 230	130 - 190
	5	1. 1/2	260 - 510	220 - 400	175 - 300	160 - 250
	6	2	425 - 775	380 - 660	300 - 500	250 - 425
	7	2	500 - 1000	450 - 850	400 - 700	325 - 580
	8	2	800 - 1300	700 - 1200	600 - 1000	500 - 780
	10	2. 1/2	1200 - 2000	1050 - 1800	900 - 1550	700 - 1250

CAPACIDAD DE AIRE NECESARIO PARA BOMBEAR 1 GALON DE AGUA.

Fórmula
$$Q = \frac{H_1}{C \cdot \log. 10 \frac{H_w + 34}{34}} \quad (\text{ft}^3)$$

Donde:

H₁ = Altura de succión.....ft

H_w = 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 GALON DE AGUA-PRESION
DE TRABAJO PARA SUMERGENCIA DE 25% a 50%

Altura total- de suc- ción - en pies	RAZON 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	Presion 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						

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.

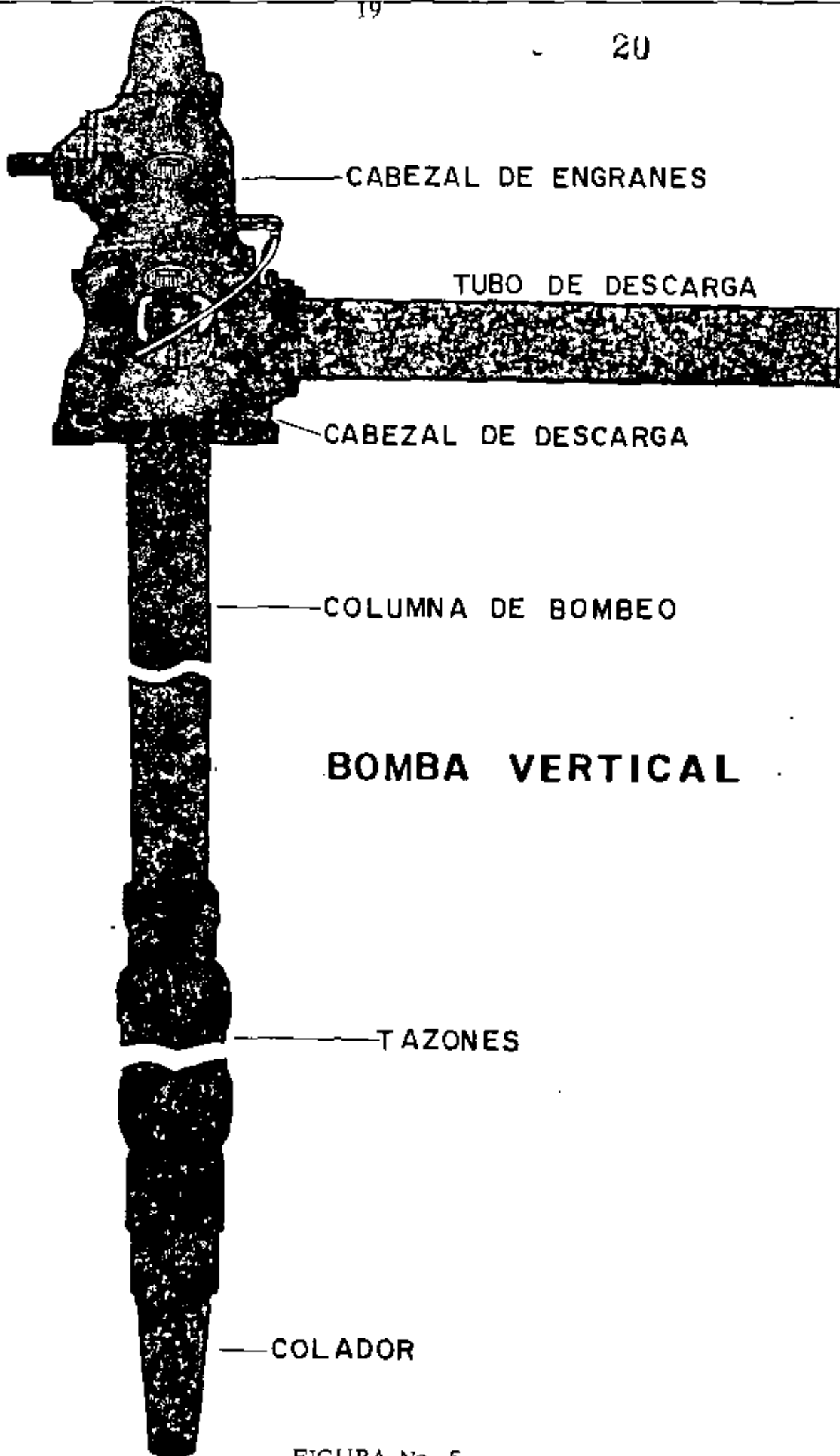
Este Equipo de Bombeo está integrado principalmente por -

Cuerpo de Tazones y Colador: Está formado por uno ó más 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 paso ó a la columna de bombeo.

Los impulsores pueden ser del tipo cerrado ó semi-abierto; 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 ciertos 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.



BOMBA VERTICAL

FIGURA No. 5

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.

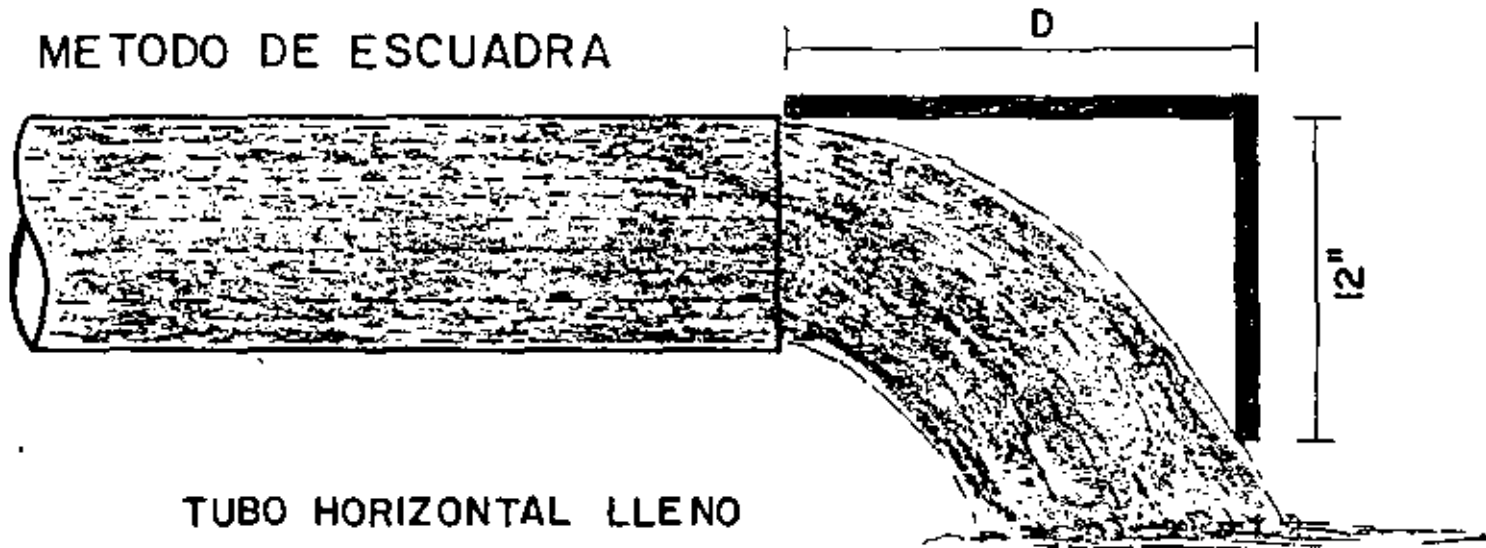
Tubo de Descarga: Se conecta al cabezal de descarga, normalmente tie ne 3.05 m(10') de longitud.

3). - Método de Escuadra. - Este método permite medir gastos aproxima dos 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. (3') para sostener un flu jo laminar en su interior y descarga libre en su extremo.

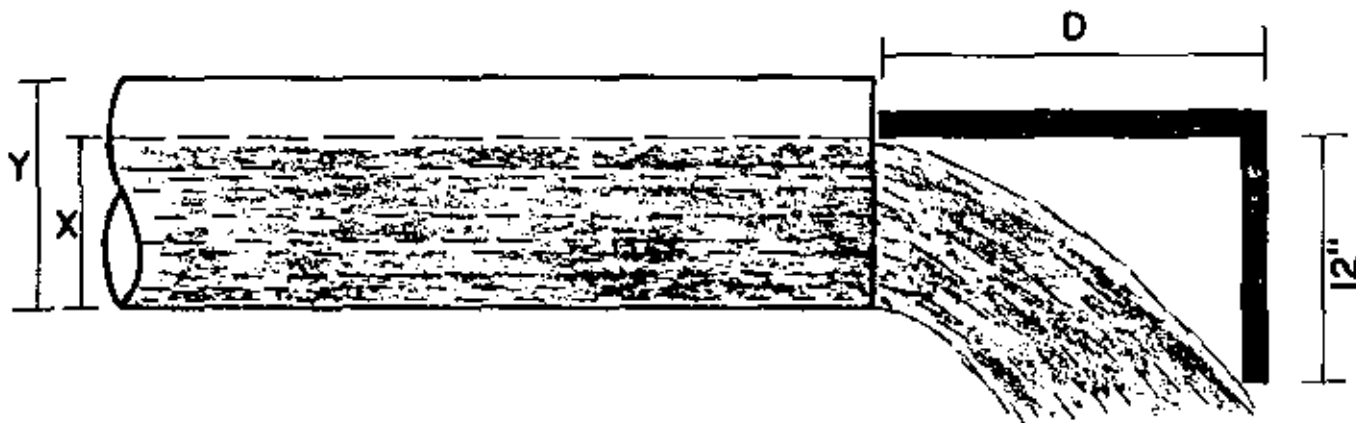
Cuando se tiene el tubo de descarga lleno y se desea conocer el gasto aproximado, se hace necesario conocer la distancia horizontal D -- la cual se mide como lo indica la Fig. 6 y con este valor se entra en las tablas que se anexan, interpolando con el dato del tubo de descarga y se ob tendrá directamente el gasto correspondiente.

Cuando la descarga sea a tubo parcialmente lleno, el procedi miento es igual al anterior, excepto en la forma de medir la distancia D la cual se efectuará de acuerdo a la Fig. 6 correspondiente.

METODO DE ESCUADRA



TUBO HORIZONTAL LLENO



TUBO HORIZONTAL PARCIALMENTE LLENO

22

FIGURA No. 21

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.

- a). - Nivel de Bombeo.
- b). - Distancias horizontales D como se indica en la Figura.
- c). - Velocidad del motor (rpm).

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 -

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Htal.	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"	5 1/2"	6"	7"
20	1.6	2.5	3.6	5.0	6.5	8.2	10.1	12.3	14.6	19.9
22	1.8	2.8	4.0	5.5	7.2	9.0	11.1	13.5	16.1	21.9
24	2.0	3.0	4.4	6.0	7.8	9.8	12.2	14.7	17.5	23.8
26	2.1	3.3	4.7	6.5	8.5	10.7	13.2	16.0	19.0	25.8
28	2.3	3.5	5.1	7.0	9.1	11.5	14.2	17.2	20.4	27.8
30	2.5	3.8	5.4	7.5	9.8	12.3	15.2	18.4	21.9	29.8
32	2.6	4.1	5.8	8.0	10.4	13.1	16.2	19.6	23.4	31.8
34	2.8	4.3	6.2	8.4	11.1	13.9	17.6	20.9	24.8	33.8
36	3.0	4.6	6.5	8.9	11.7	14.8	18.2	22.1	26.3	35.8
38	3.1	4.8	6.9	9.4	12.4	15.6	19.3	23.3	27.8	37.8
40	3.3	5.1	7.3	9.9	13.0	16.4	20.3	24.5	29.2	39.7
42	3.4	5.3	7.6	10.4	13.7	17.2	21.3	25.8	30.7	41
44	3.6	5.6	8.0	10.9	14.3	18.0	22.3	27.0	32.1	43
46	3.8	5.8	8.3	11.4	15.0	18.9	23.3	28.2	33.6	45.7
48	3.9	6.1	8.7	11.9	15.6	19.7	24.3	29.4	35.1	47.7
50	4.1	6.3	9.1	12.4	16.3	20.5	25.3	30.7	36.5	49.7
52	4.3	6.6	9.4	12.9	16.9	21.3	26.3	31.9	38.0	51.7
54	4.4	6.8	9.8	13.4	17.6	22.1	27.4	33.1	39.4	53.7
56	4.6	7.1	10.2	13.9	18.2	23.0	28.4	34.4	40.0	55.6
58	4.8	7.3	10.5	14.4	18.9	23.8	29.4	35.6	42.4	57.6
60	4.9	7.6	10.9	14.9	19.5	24.6	30.4	36.8	43.8	59.6
62	5.1	7.9	11.2	15.4	20.2	25.4	31.4	38.0	45.3	61.6
64	5.2	8.1	11.6	15.9	20.8	26.2	32.4	39.3	46.7	63.9
66	5.4	8.4	12.0	16.4	21.5	27.1	33.4	40.5	48.2	65.6
68	5.6	8.6	12.3	16.9	22.1	27.9	34.5	41.7	49.7	67.6
70	5.7	8.9	12.7	17.4	22.8	28.7	35.5	42.9	51.1	69.6
72	5.9	9.1	13.1	17.9	23.4	29.5	36.5	44.2	52.6	71.5
74	6.1	9.4	13.4	18.4	24.1	30.3	37.5	45.4	54.0	73.5
76	6.2	9.6	13.8	18.9	24.7	31.2	38.5	46.6	55.5	75.5
78	6.4	9.9	14.1	19.4	25.4	32.0	39.5	47.9	57.0	77.5

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dlst. Htal.	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
20	26.0	32.9	40.6	49.1	58.6	68.6	79.5	91.4	103.6
22	28.6	36.2	44.6	54.0	64.5	75.4	87.4	100.6	114.0
24	31.2	39.5	48.7	59.0	70.3	82.3	95.4	109.7	124.4
26	33.8	42.8	52.8	63.9	76.2	89.1	103.3	118.8	134.7
28	36.4	46.0	56.8	68.8	82.1	96.0	111.3	128.0	145.1
30	39.0	49.3	60.9	73.7	87.9	102.8	119.2	137.1	155.4
32	41.6	52.6	64.9	78.6	93.8	109.7	127.2	146.3	165.8
34	44.2	55.9	69.0	83.5	99.7	116.5	135.1	155.4	176.2
36	46.8	59.2	73.1	88.4	105.5	123.4	143.1	164.5	186.5
38	49.4	62.5	77.1	93.4	111.4	130.3	151.0	173.7	196.9
40	52.0	65.8	81.2	98.3	117.2	137.1	159.0	182.8	207.3
4	54.6	69.1	85.2	103.2	123.1	144.0	166.9	192.0	217.6
4	57.2	72.4	89.3	108.1	129.0	150.8	174.9	201.1	228.0
46	59.8	75.6	93.4	113.0	134.8	157.7	182.8	210.2	238.4
48	62.4	78.9	97.4	117.9	140.7	164.5	190.8	219.4	248.7
50	65.0	82.2	101.5	122.8	146.6	171.4	198.7	228.5	259.1
52	67.6	85.5	105.5	127.7	152.4	178.3	206.7	237.7	269.4
54	70.2	88.8	109.6	132.7	158.3	185.1	214.6	246.8	279.8
56	72.7	92.1	113.6	137.6	164.1	192.0	222.6	256.0	290.2
58	75.3	95.4	117.7	142.5	170.0	198.8	230.5	265.1	300.5
60	77.9	98.7	121.8	147.4	175.9	205.7	238.5	274.2	310.9
62	80.5	102.0	125.8	152.3	181.7	212.5	246.4	283.4	321.3
64	83.1	105.2	129.9	157.2	187.6	219.4	254.4	292.5	331.6
66	85.7	108.5	133.9	162.1	193.5	226.2	262.3	301.7	342.0
68	88.3	111.8	138.0	167.1	199.3	233.1	270.3	310.8	352.3
70	90.9	115.1	142.1	172.0	205.2	240.0	278.2	319.9	362.7
72	93.5	118.4	146.1	176.9	211.0	246.8	286.2	329.1	373.1
74	96.1	121.7	150.2	181.8	216.9	253.7	294.1	338.2	383.4
76	98.7	125.0	154.2	186.7	222.8	260.5	302.1	347.4	393.8
78	101.3	128.3	158.3	191.6	228.6	267.4	310.0	356.5	404.2

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Htal.	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"	5 1/2"	6"	7"
80	6.6	10.1	14.5	19.9	26.0	32.8	40.5	49.1	58.4	79.5
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	20.9	27.3	34.4	42.6	51.5	61.3	83.5
86	7.1	10.9	15.6	21.4	28.0	35.3	43.6	52.8	62.8	85.4
88	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	60.1	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	74.5	101.4
104	8.5	13.2	18.9	25.8	33.8	42.6	52.7	63.8	76.0	103.4
106	8.7	13.4	19.2	26.3	34.5	43.4	53.7	65.0	77.4	105.4
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	27.3	35.8	45.1	55.7	67.5	80.3	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	90.6	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	16.2	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	79.8	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	82.2	97.9	133.1
136	11.2	17.2	24.7	33.8	44.3	55.7	68.9	83.4	99.3	135.1
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

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Htal.	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
80	103.9	131.6	162.4	196.5	234.5	274.2	318.0	365.6	414.5
82	106.5	134.8	166.4	201.4	240.4	281.1	325.9	374.8	424.9
84	109.1	138.1	170.5	206.4	246.2	287.9	333.8	383.9	435.3
86	111.7	141.4	174.5	211.3	252.1	294.8	341.8	393.1	445.6
88	114.3	144.7	178.6	216.2	257.9	301.7	349.7	402.2	456.0
90	116.9	148.0	182.6	221.1	263.8	308.5	357.7	411.4	466.3
92	119.5	151.3	186.7	226.0	269.7	315.4	365.6	420.5	476.7
94	122.1	154.6	190.8	230.9	275.5	322.2	373.6	429.6	487.1
96	124.7	157.9	194.8	235.8	281.4	329.1	381.5	438.8	497.4
98	127.3	161.2	198.9	240.8	287.2	335.9	389.5	447.9	507.8
100	129.9	164.4	202.9	245.7	293.1	342.8	397.4	457.1	518.2
102	132.5	167.7	207.0	250.6	299.0	349.6	405.4	466.2	528.5
	135.1	171.0	211.1	255.5	304.8	356.5	413.3	475.3	538.9
104	137.7	174.3	215.1	260.4	310.7	363.4	421.3	484.5	549.2
106	140.3	177.6	219.2	265.3	316.6	370.2	429.2	493.6	559.6
108	142.9	180.9	223.2	270.2	322.4	377.1	437.2	502.8	570.0
110	145.5	184.2	227.3	275.2	328.3	383.9	445.1	511.9	580.3
112	148.1	187.5	231.4	280.1	334.1	390.8	453.1	521.0	590.7
114	150.7	190.8	235.4	285.0	340.0	397.6	461.0	530.2	601.1
116	153.3	194.0	239.5	289.9	345.9	404.5	469.0	539.3	611.4
118	155.9	197.3	243.5	294.8	351.7	411.3	476.9	548.5	621.8
120	158.5	200.6	247.6	299.7	357.6	418.2	484.9	557.6	632.2
122	161.1	203.9	251.6	304.6	363.5	425.1	492.8	566.8	642.5
124	163.7	207.2	255.7	309.5	369.3	431.9	500.8	575.9	652.9
126	166.3	210.5	259.8	314.5	375.1	438.8	508.7	585.0	663.2
128	168.9	213.8	263.8	319.4	381.0	445.6	516.7	594.2	673.6
130	171.5	217.1	267.9	324.3	386.9	452.5	524.6	603.3	684.0
132	174.1	220.3	271.9	329.2	392.8	459.4	532.5	612.5	694.3
134	176.7	223.6	276.0	334.1	398.6	466.2	540.5	621.6	704.7
136	179.3	226.9	280.1	339.0	404.5	473.1	548.5	630.7	715.1
138	181.9	230.2	284.1	343.9	410.4	480.0	556.0	639.9	725.4

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	97.30
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		

describirán en el Método de Orificio Calibrado.

4). - Método 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 1.22 m(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. 7.
- 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 éste 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.

METODO DE ORIFICIO CALIBRADO

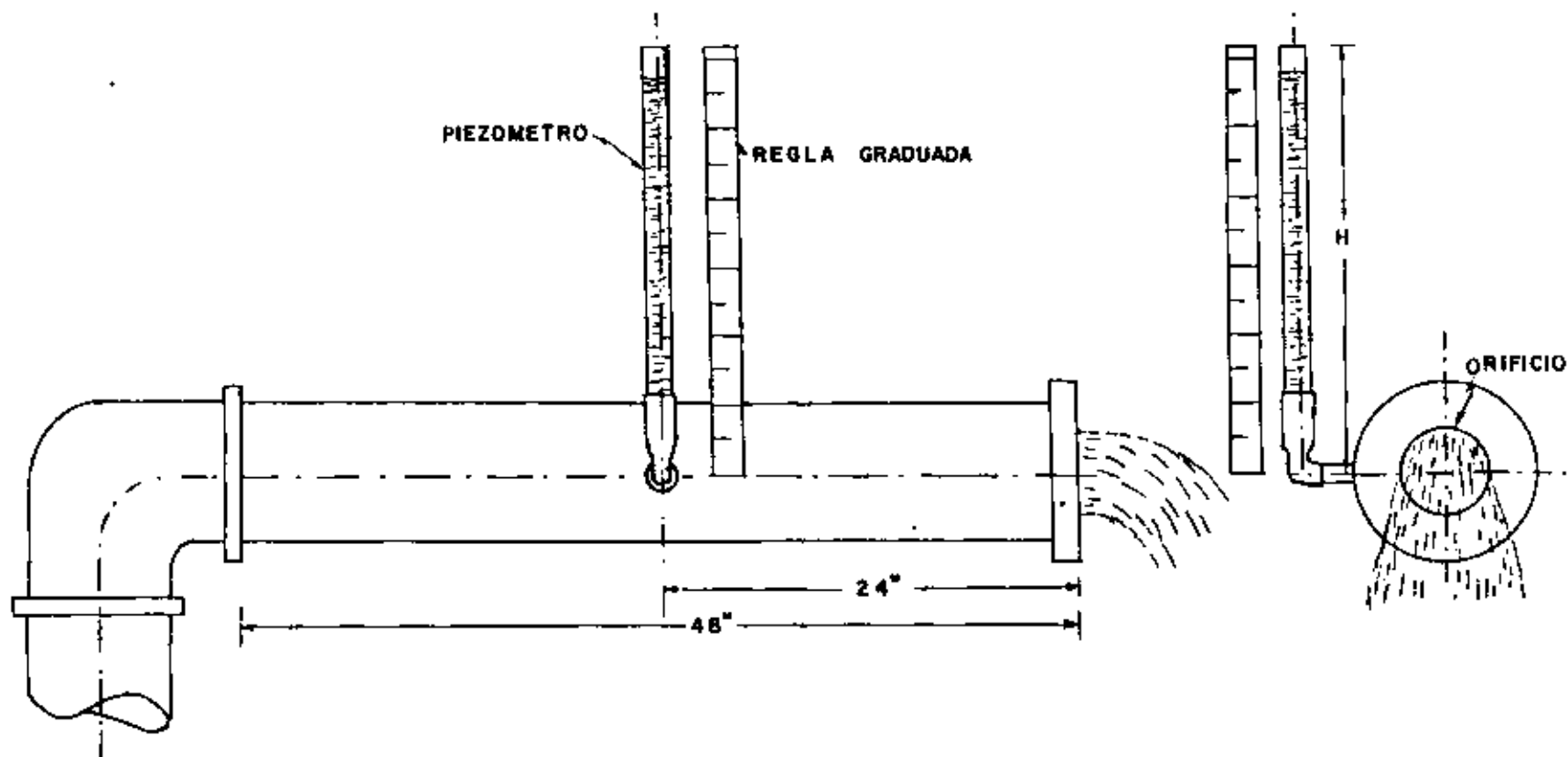


FIGURA No. 7

- 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 sobresalir 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. 7 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 anterior a diferentes velocidades (rpm) del motor, se recomienda variar esta, en escalones de 100 en 100 rpm. y tabularlas de la siguiente manera:

R. P. M.	Tiempo Hrs.	N. B. m	H. cms	Diámetro (") Orificio Descarga		Gasto (lps)
1 200	2	11.00	34	6	8	35.90
1 300	2	13.20	43	6	8	40.36
1 400	2	14.60	55	6	8	45.65
1 500	2	16.80	64	6	8	49.25
1 600	2	19.20	72	6	8	52.23
1 700	2	21.10	86	6	8	57.09
1 800	2	23.40	95	6	8	60.00
1 900	2	25.00	109	6	8	64.27
2 000	2	25.30	115	6	8	66.00

Con los datos de la tabla anterior se elaboran las curvas de la Figs. 8 y 9.

Interpretación de la Gráfica. - Se podrá observar que se han trazado dos curvas, una de Gasto-Tiempo y otra de nivel de bombeo tiempo, en ambos casos el tiempo es el medido entre cada cambio de velocidad del motor (variación rpm). para el presente ejemplo se conservo la velocidad del motor en cada cambio durante dos horas.

Para seleccionar el punto más adecuado de explotación del pozo, se escoge aquel en el que la separación entre ambas curvas sea menor.

Para el caso que nos ocupa es para un gasto de 66.00 lps, - con un nivel de bombeo de 25.30 m.

CURVA GASTO — NIVEL DE BOMBEO

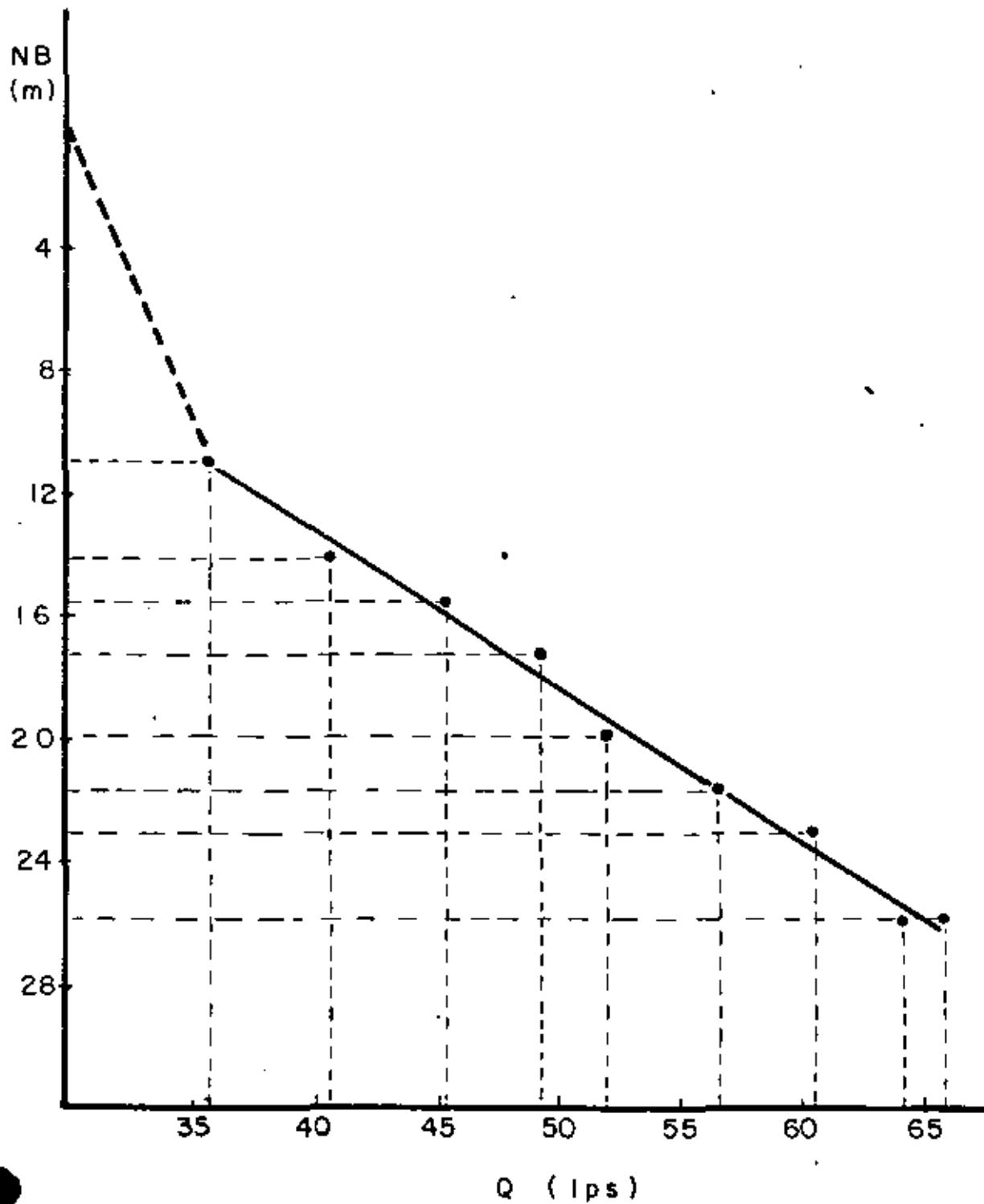


FIGURA No. 8

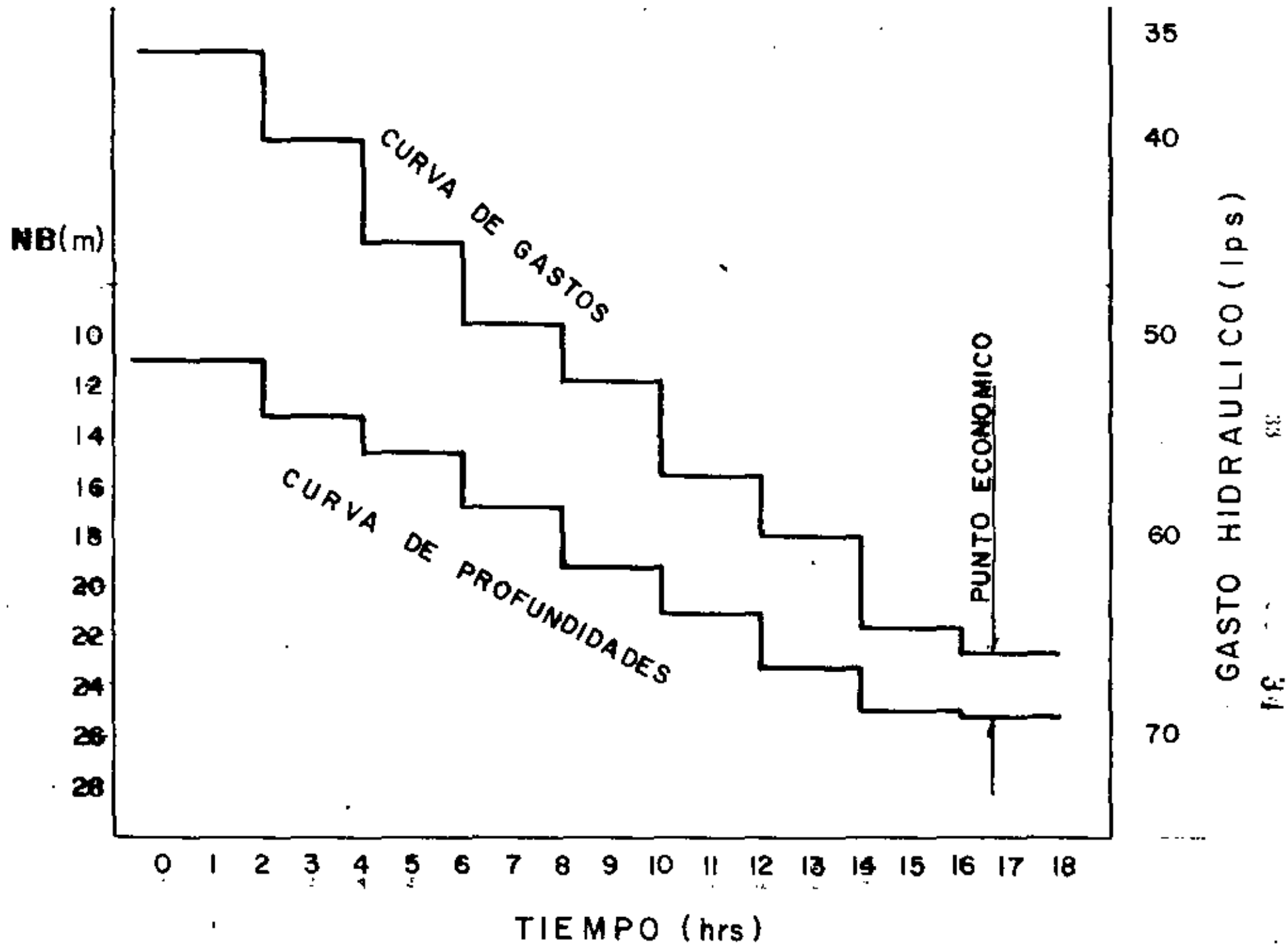


FIGURA No. 9

Como se podrá apreciar no se alcanzó a determinar el gasto real del acuífero por falta de capacidad del equipo de bombeo.

En la Fig. 10 - 11 se presenta un ejemplo de un pozo en que si se obtuvo la capacidad máxima del mismo y para el cual el punto de explotación es para un gasto de 16.3 lps, con un nivel de bombeo de --- 64.00 m.

Recuperación. - Cuando se efectúa el bombeo de un pozo, el nivel estático medido al iniciar la prueba, generalmente no equivale al tomado una vez que el bombeo ha terminado, siendo necesario tomar el --- tiempo de estabilización del nivel, el cual puede tener una recuperación total ó parcial.

Inmediatamente al terminar el bombeo, se toma el nivel estático y a partir de este momento sucesivamente se continuarán las lecturas del nivel a intervalos no mayores de 20 segundos, si la recuperación es inmediata ó mayores si ésta es lenta. El tiempo máximo medido de recuperación si no es completo no deberá exceder las veinticuatro horas.

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. 12) principalmente por:

Bomba-Motor. - Están unidos por el cuerpo de succión, que constituye la entrada de agua, protegida por un colador de lámina.

CURVA GASTO-NIVEL DE BOMBEO

N.B(m)

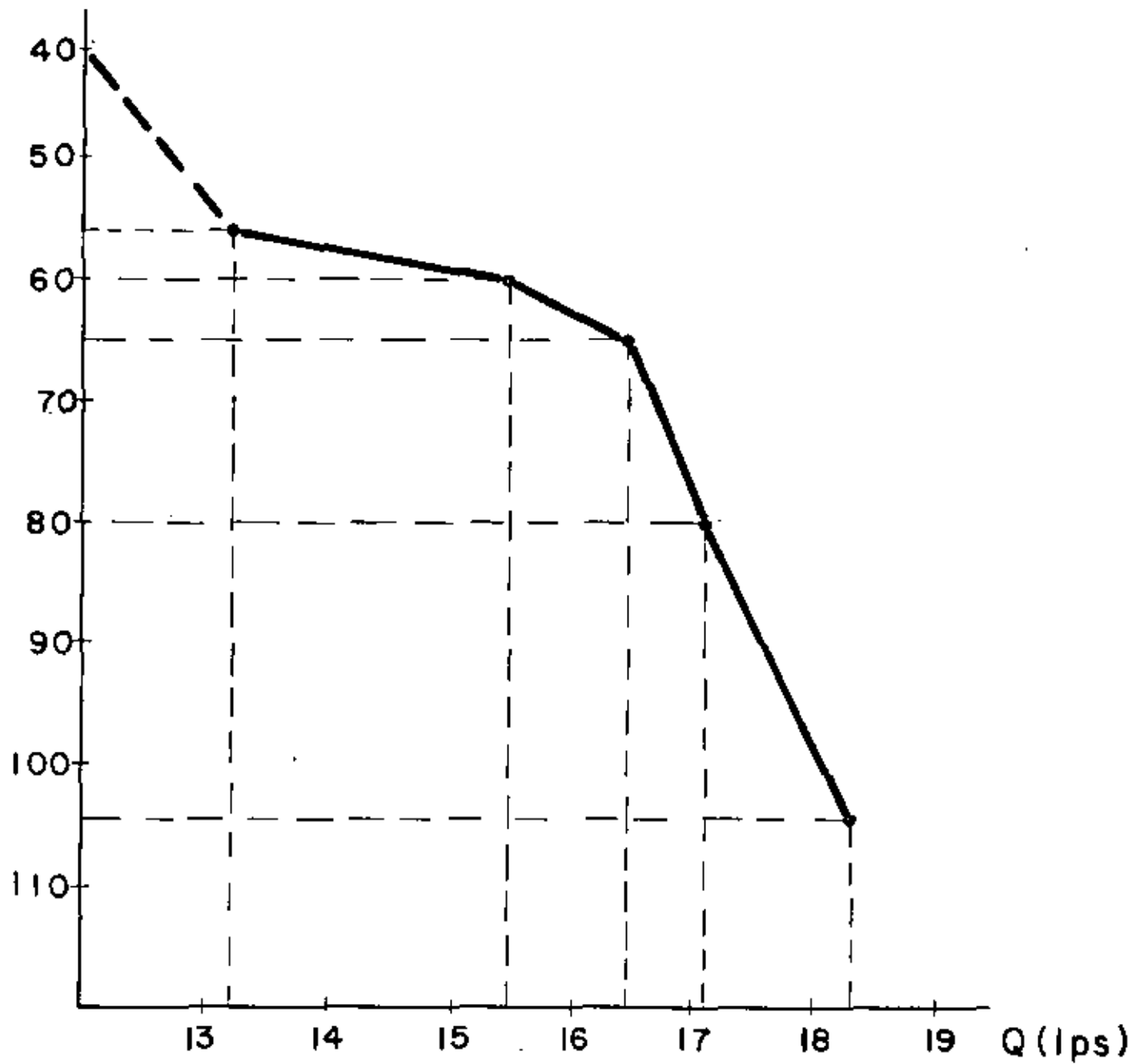


FIGURA No. 10

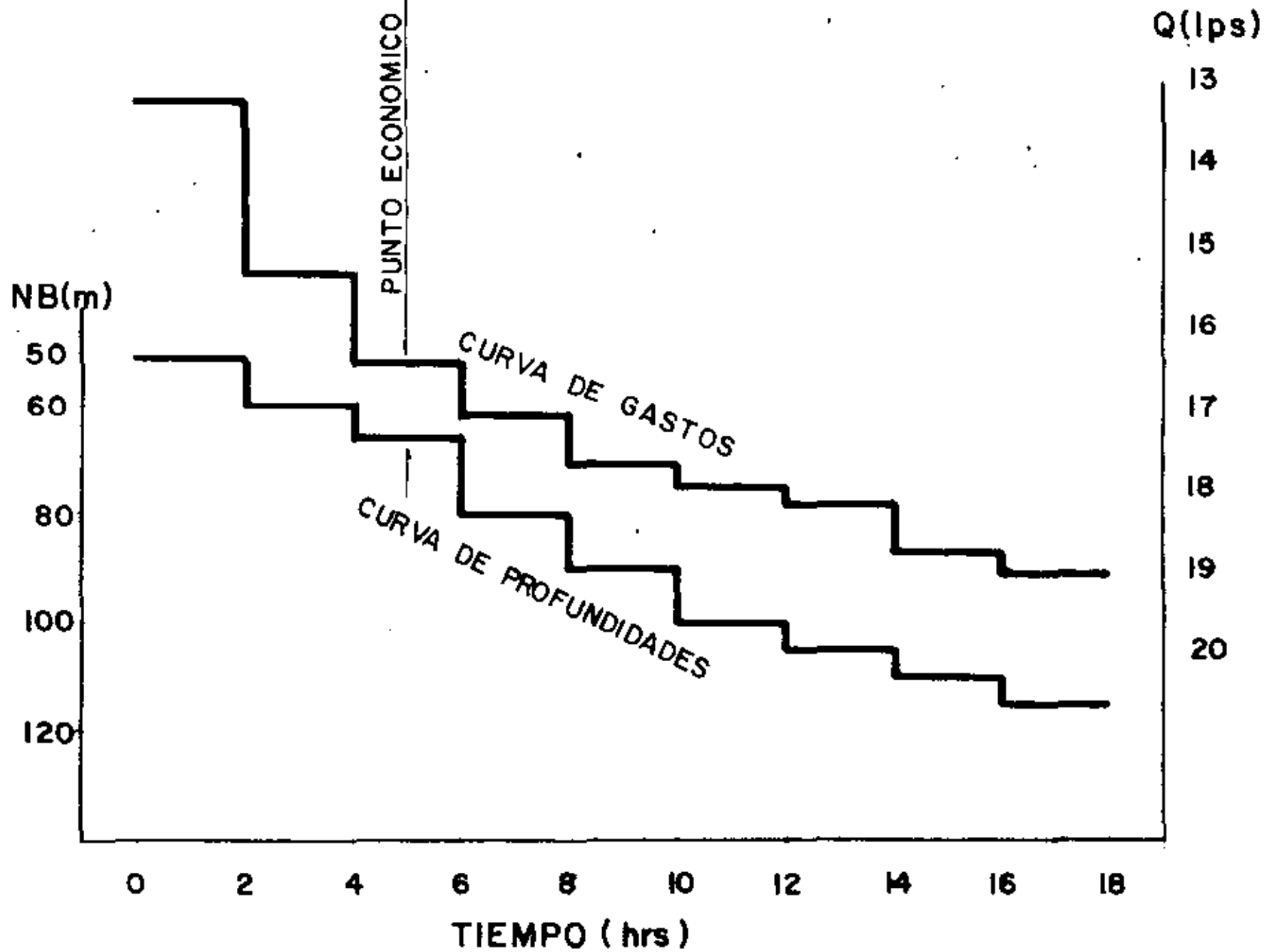


FIGURA No. 11

36

37

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 del 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.
- b). - Depender para su empleo de plantas 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 ésta constante (no se cuenta con facilidad con reductores de velocidad).

BOMBA SUMERGIBLE

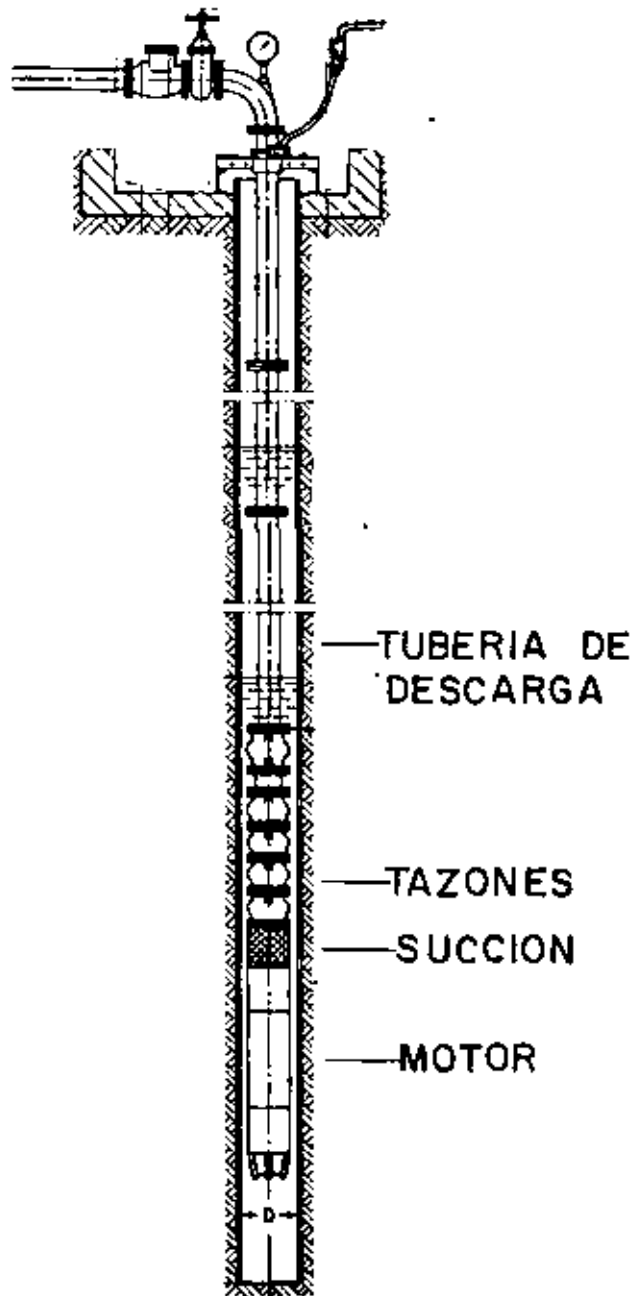


FIGURA No. 12

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.

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES METODO DEL ORIFICIO

$$G = 0.25 K D^2 h$$

G = gasto en lts/seg.

K = constante experimental.

h = altura del agua en cms. en el tubo de vidrio.

D = diámetro orificio en pulgadas.

41

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"	ORIF. 7"	ORIF. 8"
	tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	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
21	7.64	6.06	11.49	10.78	22.34	17.70	28.21	25.41	37.95
22	7.82	6.20	11.76	11.03	22.86	18.12	28.87	26.00	38.84
23	7.99	6.35	12.03	11.28	23.38	18.53	29.52	26.59	39.72
24	8.17	6.48	12.29	11.52	23.88	18.92	30.16	27.16	40.57
25	8.34	6.62	12.54	11.76	24.38	19.32	30.78	27.72	41.41
26	8.50	6.75	12.79	11.99	24.86	19.70	31.39	28.27	42.22
27	8.66	6.87	13.03	12.22	25.33	20.07	31.99	28.81	43.03
28	8.82	7.00	13.27	12.45	25.80	20.44	32.58	29.34	43.82
29	8.98	7.12	13.50	12.67	26.25	20.80	33.15	29.85	44.59
30	9.13	7.25	13.74	12.88	26.70	21.16	33.72	30.36	45.36
31	9.28	7.37	13.96	13.10	27.14	21.51	34.28	30.87	46.11
32	9.43	7.48	14.19	13.31	27.58	21.85	34.82	31.36	46.85
33	9.58	7.60	14.41	13.51	28.00	22.19	35.37	31.85	47.57
34	9.72	7.71	14.62	13.71	28.43	22.53	35.90	32.33	48.29
35	9.86	7.83	14.84	13.91	28.84	22.85	36.42	32.80	48.99
36	10.00	7.94	15.05	14.11	29.25	23.18	36.94	33.26	49.69
37	10.14	8.05	15.26	14.31	29.65	23.50	37.45	33.72	50.37
38	10.28	8.15	15.46	14.50	30.05	23.81	37.95	34.17	51.04
39	10.41	8.26	15.66	14.69	30.44	24.12	38.44	34.62	51.71
40	10.54	8.37	15.86	14.88	30.83	24.43	38.94	35.07	52.38
41	10.67	8.47	16.06	15.06	31.21	24.73	39.42	35.50	53.02
42	10.80	8.57	16.25	15.24	31.59	25.04	39.90	35.93	53.67
43	10.93	8.67	16.44	15.42	31.97	25.33	40.36	36.35	54.30
44	11.06	8.78	16.64	15.60	32.34	25.62	40.83	36.77	54.93
45	11.18	8.87	16.82	15.78	32.70	25.91	41.29	37.19	55.55
46	11.31	8.97	17.01	15.95	33.06	26.20	41.75	37.60	56.16
47	11.43	9.07	17.19	16.13	33.42	26.48	42.21	38.01	56.77
48	11.55	9.17	17.38	16.29	33.77	26.76	42.65	38.41	57.37
49	11.67	9.26	17.56	16.46	34.13	27.04	43.09	38.81	57.97

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"	ORIF. 8"
	tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	
50	11.79	9.35	17.73	16.63	34.47	27.32	43.53	39.20	58.55	88.36
51	11.90	9.45	17.91	16.80	34.81	27.59	43.96	39.59	59.13	89.23
52	12.02	9.54	18.09	16.96	35.15	27.86	44.39	39.98	59.71	90.11
53	12.14	9.63	18.26	17.12	35.49	28.12	44.82	40.36	60.29	90.97
54	12.25	9.72	18.43	17.28	35.82	28.39	45.23	40.74	60.85	91.82
55	12.36	9.81	18.60	17.44	36.15	28.65	45.65	41.11	61.41	92.67
56	12.47	9.90	18.77	17.60	36.48	28.91	46.07	41.49	61.97	93.51
57	12.59	9.99	18.94	17.76	36.80	29.17	46.48	41.86	62.52	94.34
58	12.70	10.08	19.10	17.91	37.12	29.42	46.88	42.22	63.07	95.17
59	12.80	10.16	19.26	18.07	37.44	29.67	47.28	42.58	63.61	95.98
60	12.91	10.25	19.43	18.22	37.76	29.92	47.68	42.93	64.14	96.79
61	13.02	10.33	19.59	18.37	38.07	30.17	48.08	43.30	64.67	97.59
62	13.13	10.42	19.75	18.52	38.39	30.42	48.47	43.65	65.20	98.39
63	13.23	10.50	19.91	18.67	38.69	30.66	48.86	44.00	65.73	99.18
64	13.34	10.58	20.06	18.82	39.00	30.90	49.25	44.35	66.25	99.97
65	13.44	10.67	20.22	18.96	39.30	31.14	49.63	44.68	66.76	100.74
66	13.54	10.75	20.37	19.11	39.60	31.38	50.01	45.04	67.27	101.52
67	13.64	10.83	20.53	19.25	39.90	31.62	50.39	45.38	67.78	102.28
68	13.75	10.91	20.68	19.39	40.20	31.85	50.76	45.72	68.29	103.04
69	13.85	10.99	20.83	19.54	40.50	32.09	51.14	46.05	68.79	103.80
70	13.95	11.07	20.98	19.68	40.79	32.32	51.51	46.39	69.29	104.55
71	14.05	11.15	21.13	19.82	41.08	32.55	51.87	46.71	69.78	105.29
72	14.14	11.23	21.28	19.96	41.36	32.78	52.23	47.04	70.26	106.03
73	14.24	11.30	21.43	20.10	41.65	33.01	52.60	47.37	70.75	106.77
74	14.34	11.38	21.57	20.23	41.93	33.23	52.95	47.69	71.23	107.49
75	14.44	11.46	21.72	20.37	42.22	33.45	53.31	48.01	71.71	108.22
76	14.53	11.53	21.86	20.50	42.50	33.68	53.67	48.33	72.19	108.94
77	14.63	11.61	22.01	20.64	42.78	33.90	54.90	48.65	72.67	109.65
78	14.72	11.68	22.15	20.77	43.06	34.12	54.37	48.96	73.14	110.36
79	14.82	11.76	22.29	20.90	43.33	34.33	54.71	49.28	73.60	111.06
80	14.91	11.83	22.43	21.04	43.60	34.55	55.06	49.59	74.07	111.76
81	15.00	11.91	22.57	21.17	43.88	34.77	55.40	49.90	74.53	112.46
82	15.09	11.98	22.71	21.30	44.14	34.98	55.74	50.20	74.98	113.15
83	15.19	12.05	22.85	21.43	44.41	35.19	56.08	50.51	75.44	113.84
84	15.28	12.13	22.99	21.56	44.68	35.40	56.42	50.81	75.90	114.53
85	15.37	12.20	23.12	21.69	44.95	35.62	56.76	51.12	76.35	115.21
86	15.46	12.27	23.26	21.81	45.21	35.83	57.09	51.42	76.80	115.89
87	15.55	12.34	23.39	21.94	45.47	36.03	57.42	51.71	77.24	116.55
88	15.64	12.41	23.53	22.06	45.70	36.24	57.75	52.01	77.68	117.22
89	15.73	12.48	23.66	22.19	45.99	36.44	58.08	52.30	78.12	117.89
90	15.81	12.55	23.79	22.31	46.25	36.67	58.40	52.60	78.55	118.54
91	15.90	12.68	23.99	22.44	46.50	36.85	58.72	52.99	78.99	119.20
92	15.99	12.69	24.06	22.56	46.76	37.05	59.05	53.18	79.43	119.86
93	16.08	12.76	24.19	22.68	47.01	37.25	59.37	53.47	79.86	120.51
94	16.16	12.83	24.32	22.80	47.26	37.45	59.68	53.75	80.28	121.15
95	16.25	12.90	24.45	22.92	47.52	37.65	60.00	54.04	80.71	

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"	ORIF. 8"
	4"	5"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	10"
96	16.33	12.96	24.57	23.04	47.77	37.85	60.32	54.32	81.14	
97	16.42	13.03	24.70	23.16	48.01	38.05	60.63	54.60	81.56	
98	16.50	13.10	24.83	23.28	48.26	38.24	60.94	54.88	81.97	
99	16.59	13.16	24.95	23.40	48.50	38.44	61.26	55.16	82.40	
100	16.67	13.23	25.08	23.52	48.75	38.63	61.56	55.44	82.81	
101	16.75	13.30	25.21	23.64	48.99	38.82	61.87	55.72	83.22	
102	16.84	13.36	25.33	23.76	49.24	39.02	62.18	55.99	83.64	
103	16.92	13.43	25.45	23.87	49.48	39.21	62.48	56.27	84.04	
104	17.00	13.49	25.58	23.99	49.72	39.39	62.78	56.54	84.45	
105	17.08	13.56	25.70	24.10	49.95	39.58	63.08	56.81	84.86	
106	17.16	13.62	25.82	24.22	50.19	39.77	63.38	57.08	85.26	
107	17.24	13.69	25.94	24.33	50.43	39.96	63.68	57.35	85.66	
108	17.32	13.75	26.06	24.44	50.66	40.14	63.97	57.61	86.06	
109	17.40	13.81	26.18	24.55	50.90	40.33	64.27	57.88	86.45	
110	17.48	13.88	26.30	24.67	51.13	40.52	64.56	58.15	86.85	
111	17.56	13.94	26.42	24.78	51.36	40.70	64.86	58.41	87.25	
112	17.64	14.00	26.54	24.89	51.59	40.88	65.15	58.67	87.64	
113	17.72	14.06	26.66	25.00	51.82	41.06	65.44	58.93	88.03	
114	17.80	14.13	26.78	25.11	52.05	41.25	65.73	59.19	88.42	
115	17.88	14.19	26.90	25.22	52.27	41.42	66.02	59.45	88.80	
116	17.95	14.25	27.01	25.33	52.50	41.60	66.30	59.71	89.19	
117	18.03	14.31	27.12	25.44	52.73	41.79	66.59	59.97	89.58	
118	18.11	14.37	27.24	25.55	52.96	41.96	66.87	60.22	89.96	
119	18.19	14.43	27.36	25.66	53.18	42.14	67.16	60.48	90.34	
120	18.26	14.49	27.47	25.76	53.40	42.31	67.43	60.73	90.71	
121	18.34	14.55	27.59	25.87	53.63	42.49	67.72	60.98	91.09	
122	18.41	14.61	27.70	25.98	53.84	42.67	67.99	61.23	91.46	
123	18.49	14.67	27.82	26.09	54.07	42.84	68.27	61.49	91.84	
124	18.56	14.73	27.92	26.19	54.29	43.02	68.55	61.74	92.21	
125	18.64	14.79	28.04	26.30	54.50	43.19	68.82	61.98	92.58	
126	18.71	14.85	28.15	26.40	54.72	43.36	69.10	62.23	92.95	
127	18.79	14.91	28.26	26.50	54.94	43.53	69.37	62.48	93.32	
128	18.86	14.97	28.38	26.61	55.16	43.71	69.65	62.72	93.69	
129	18.93	15.03	28.49	26.71	55.37	43.88	69.92	62.97	94.06	
130	19.01	15.08	28.60	26.82	55.58	44.05	70.19	63.21	94.42	
131	19.08	15.14	28.71	26.92	55.80	44.22	70.46	63.46	94.78	
132	19.15	15.20	28.81	27.02	59.01	44.38	70.73	63.70	95.14	
133	19.23	15.26	28.92	27.13	56.02	44.55	70.99	63.94	95.50	
134	19.30	15.32	29.03	27.23	56.43	44.72	71.26	64.18	95.86	
135	19.37	15.37	29.14	27.33	56.64	44.88	71.53	64.42	96.22	
136	19.44	15.43	29.25	27.43	56.85	45.05	71.79	64.65	96.57	
137	19.51	15.49	29.36	27.53	57.06	45.22	72.06	64.89	96.93	
138	19.58	15.54	29.46	27.63	57.27	45.38	72.31	65.13	97.28	
139	19.65	15.60	29.57	27.73	57.48	45.54	72.58	65.36	97.63	
140	19.72	15.65	29.67	27.83	57.68	45.71	72.84	65.60	97.98	
141	19.79	16.71	29.78	27.93	57.89	45.87	73.10	65.83	98.33	
142	19.86	15.76	29.89	28.03	58.09	46.03	73.35	66.06	98.68	

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"	ORIF. 8"
	Tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	
43	19.93	15.82	29.99	28.13	58.30	46.19	73.61	66.30	99.02	
44	20.00	15.88	30.10	28.22	58.50	46.36	73.87	66.53	99.37	
45	20.07	15.93	30.20	28.32	58.70	46.52	74.13	66.75	99.72	
46	20.14	15.99	30.30	28.42	58.90	46.68	74.38	66.99	100.06	
47	20.21	16.04	30.41	28.52	59.10	46.84	74.64	67.22	100.40	
48	20.28	16.10	30.51	28.61	59.31	47.00	74.89	67.45	100.75	
49	20.35	16.15	30.62	28.71	59.51	47.16	75.15	67.68	101.09	
50	20.42	16.20	30.72	28.80	59.70	47.31	75.39	67.90	101.42	
51	20.48	16.26	30.82	28.90	59.90	47.47	75.64	68.12	101.76	
52	20.55	16.31	30.92	29.00	60.10	47.63	75.90	68.35	102.10	
53	20.62	16.36	31.02	29.09	60.30	47.78	76.14	68.57		
54	20.69	16.42	31.12	29.19	60.50	47.94	76.40	68.80		
55	20.75	16.47	31.22	29.28	60.69	48.09	76.64	69.02		
56	20.82	16.52	31.32	29.38	60.89	48.25	76.89	69.24		
57	20.89	16.58	31.43	29.47	61.08	48.40	77.13	69.47		
58	20.95	16.63	31.53	29.56	61.28	48.56	77.38	69.69		
59	21.02	16.68	31.63	29.66	61.47	48.71	77.63	69.91		
60	21.09	16.73	31.72	29.75	61.66	48.86	77.87	70.13		
61	21.15	16.75	31.82	29.84	61.86	49.02	78.11	70.35		
62	21.22	16.84	31.92	29.94	62.05	49.17	78.35	70.56		
63	21.28	16.89	32.02	30.03	62.24	49.32	78.59	70.78		
64	21.35	16.94	32.12	30.12	62.43	49.47	78.83	71.00		
65	21.41	16.99	32.22	30.21	62.62	49.62	79.07	71.21		
66	21.48	17.05	32.31	30.30	62.81	49.77	79.31	71.43		
67	21.54	17.10	32.41	30.39	63.00	49.92	79.55	71.65		
68	21.61	17.15	32.51	30.48	63.18	50.07	79.79	71.86		
69	21.67	17.20	32.60	30.58	63.38	50.22	80.03	72.07		
70	21.73	17.25	32.70	30.67	63.56	50.37	80.26	72.28		
71	21.80	17.29	32.80	30.76	63.75	50.52	80.50	72.50		
72	21.86	17.35	32.89	30.85	63.94	50.66	80.74	72.71		
73	21.93	17.40	32.99	30.94	64.12	50.81	80.97	72.92		
74	21.99	17.45	33.08	31.03	64.31	50.96	81.20	73.13		
75	22.05	17.50	33.18	31.11	64.49	51.10	81.44	73.34		
76	22.11	17.55	33.27	31.20	64.67	51.24	81.67	73.55		
77	22.18	17.60	33.37	31.29	64.86	51.39	81.90	73.76		
78	22.24	17.65	33.46	31.38	65.04	51.54	82.13	73.97		
79	22.30	17.70	33.55	31.47	65.22	51.68	82.36	74.17		
80	22.36	17.75	33.65	31.55	65.40	51.83	82.59	74.38		

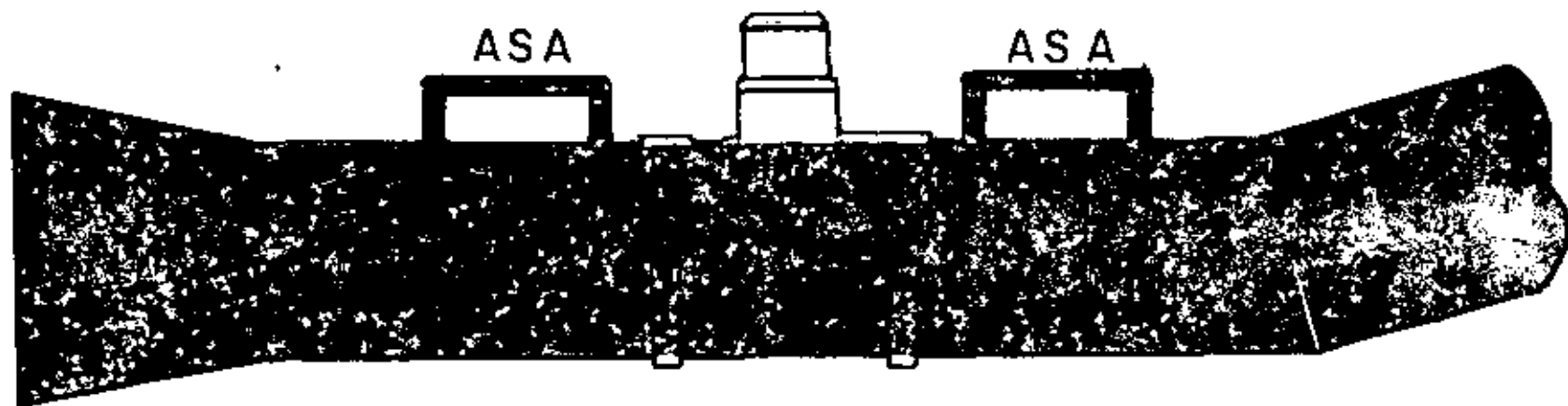
5). - Medidor de Flujo. - Existen diferentes marcas de medidores de flujo de baja presión, son compactos y portátiles, instalados sobre un tubo de longitud adecuada al rango del medidor. Este tubo tiene en su extremo de entrada una campana para permitir su conexión al tubo de descarga de la bomba, en su otro extremo tiene soldado un ángulo con descarga hacia arriba, que permite operar el medidor completamente ahogado a su máxima eficiencia (ver Fig. 13).

Se fabrican en diferentes medidas desde 4" hasta 12" de diámetro y para gastos de 3.0 lps. a 126.0 lps.

Para aforar 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 secuela mencionada en el método de orificio.

De acuerdo con los fabricantes el margen de error en las lecturas de gasto es del 2%.

6). - 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 de sección rectangular ó triángular que son los más usuales, también se emplea el trapecial ó Cipolletti y deben de reunir para su aplicación los siguientes requisitos:



MEDIDOR DE FLUJO

FIGURA No. 13

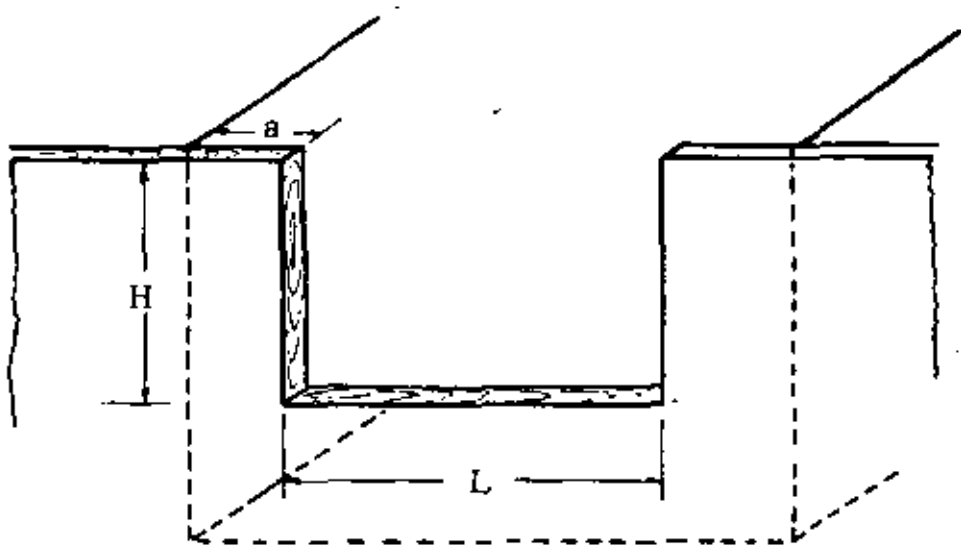
- a). - El canal debe tener cierta pendiente en el punto que se localize el vertedor, para permitir la retención parcial del agua y el derrame sobre el vertedor.
- b). - La cresta del vertedor deberá estar perfectamente horizontal, - excepto en el triangular y suficientemente alta para permitir un derrame 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 vertice en el triangular, se deberá tomar -- aguas arriba del vertedor, donde se tenga un flujo laminar.
- b). - 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:

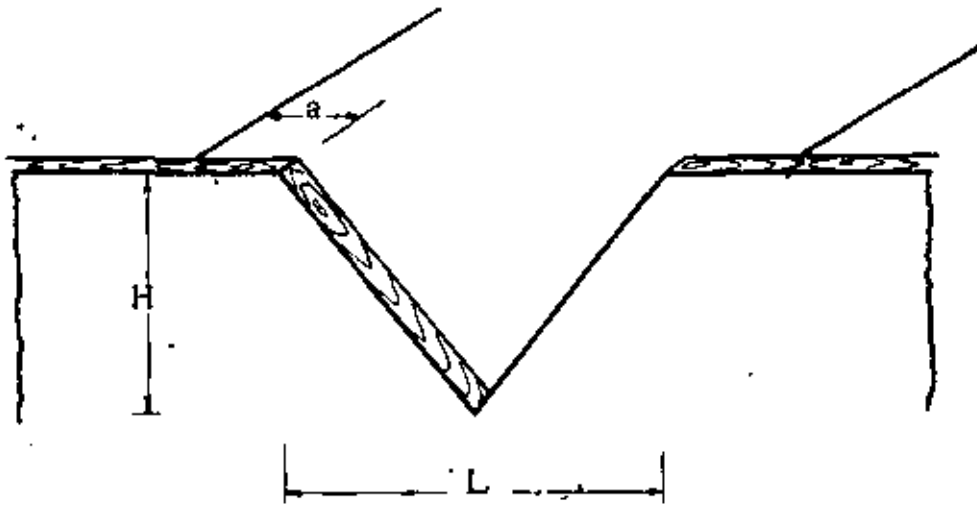
- a). - Nivel Estático
- b). - Nivel de Bombeo
- c). - Tirante del agua sobre la cresta ó vertice
- d). - Longitud de la cresta (vertedor rectangular).



VERTEDOR RECTANGULAR

- 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.
a \geq 3 H.

$$Q = 1.84 L H^{3/2}$$



VERTEDOR TRIANGULAR

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.

$$a \geq \frac{3}{4} L$$

$$Q = 0.01178 C L H^{3/2}$$

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) o X	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	25.00	11.5	90.00	63.0
2 000	25.30	12.0	90.00	67.0

DETERMINACION DE GASTOS MEDIANTE EL EMPLEO DE UN
VERTEDOR RECTANGULAR

El valor "S" que aparece en las tablas indica los lts/seg. que hay que sumar por cada 30 cms. de aumento en el valor de L. La tabla se dedujo en la formula: $G = 0.0184 (L - Q 2H) H^3$.

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	2.8	8.6	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		121.5	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 30	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	0.08	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	0.95	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	4.25	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

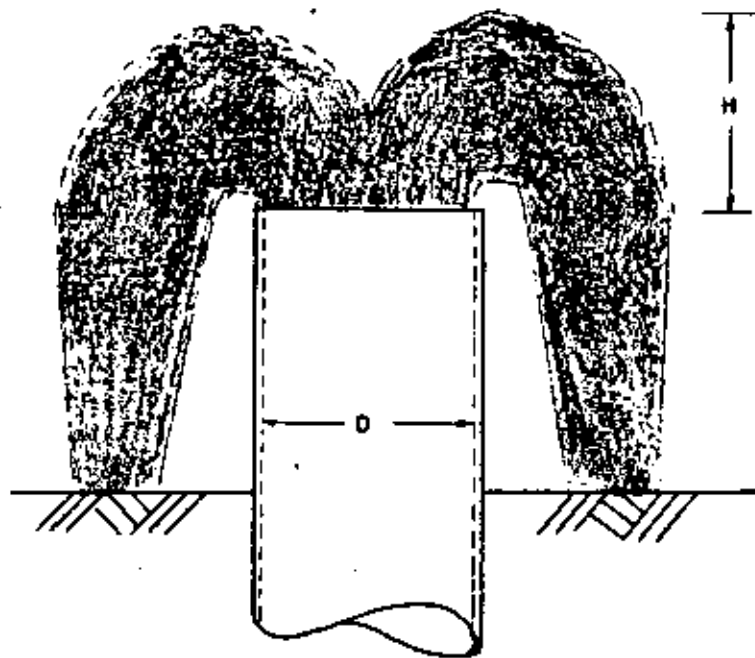
H cms.	Gasto 90°	lts/seg. 60°
22.5	32.21	18.59
23.0	33.89	19.56
23.5	35.91	20.72
24.0	37.93	21.88
24.5	39.95	23.05
25.0	41.96	24.21
26.0	46.40	26.77
27.0	50.84	29.33
28.0	55.68	32.13
29.0	60.69	35.08
30.0	66.31	38.26
31.0	71.55	41.28
32.0	77.74	44.85
33.0	83.93	48.42
34.0	90.52	52.22
35.0	97.24	56.10
36.0	104.64	60.37
37.0	112.04	64.64
38.0	119.44	68.90
39.0	120.36	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	172.29	99.41
45.0	182.65	105.38
46.0	192.60	111.12
47.0	203.23	117.25
48.0	214.12	123.54
49.0	225.83	130.29
50.0	237.80	137.20
51.0	249.50	143.95
52.0	261.87	151.09
53.0	274.38	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

DIAMETROS DE TUBOS

H Cms.	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"
7	2.12	4.66	8.19	13.10	18.86	25.67	34.32	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	45.38	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	45.66	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
25	4.41	9.81	16.89	26.67	39.65	54.53	73.43	117.02
27	4.51	10.18	17.72	27.98	41.15	56.59	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	84.81	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	98.64	155.65
48	6.17	13.47	23.69	37.02	54.43	74.86	100.76	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	170.20
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	29.93	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 BROGANTE

$$G = 0.225 C D^2 \sqrt{H}$$



- G = GASTO EN LITROS SEGUNDO**
C = CONSTANTE EXPERIMENTAL
D = DIAMETRO INTERIOR DEL TUBO EN PULGADAS
H = ALTURA DEL CHORRO EN CENTIMETROS

FIGURA No. 16

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

Perforación de Pozos y
Equipos de Bombeo

Ing. Hebert del Valle Florencia

