

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT
PPC/CDIE/DI REPORT PROCESSING FORM

9101

ENTER INFORMATION ONLY IF NOT INCLUDED ON COVER OR TITLE PAGE OF DOCUMENT

1. Project/Subproject Number 519-0320	2. Contract/Grant Number	3. Publication Date 1994
--	--------------------------	-----------------------------

4. Document Title/Translated Title
Perforacion de pozos profundos
(Deep well drilling)

5. Author(s)
1.
2.
3.

6. Contributing Organization(s)
Louis Berger International, Inc.

7. Pagination 259 p.	8. Report Number	9. Sponsoring A.I.D. Office USAID San Salvador - IRO/MID
-------------------------	------------------	---

10. Abstract (optional - 250 word limit)

11. Subject Keywords (optional)

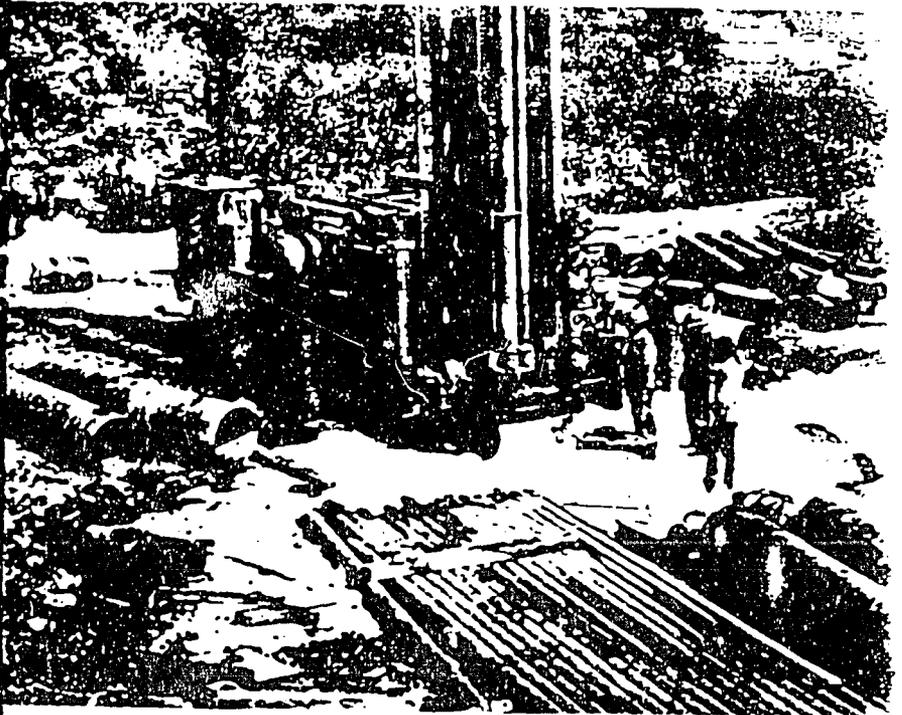
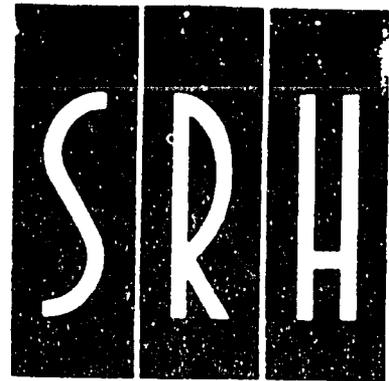
1.	4.
2.	5.
3.	6.

12. Supplementary Notes
Used in AID Sponsored workshop: Design of Machine Drilled Wells Presented

13. Submitting Official Penne Scott PPD/Library	14. Telephone Number (503) 298-1666 X-1306	15. Today's Date 14 Oct. 94
--	---	--------------------------------

.....DO NOT write below this line.....

16. DOCID	17. Document Disposition DOCRD [] INV [] DUPLICATE []
-----------	--



PERFORACION DE
POZOS PROFUNDOS

Best Available Document

PERFORACION DE POZOS PROFUNDOS

Preparado por:

ING. RAFAEL ALVARO JIMENEZ GRANADO
Jefe del Departamento de Perforación de Pozos.

ING. GILBERTO LEON MARTINEZ
Sub-Jefe del Depto. de Perforación de Pozos.

PLAN NACIONAL DE OBRAS HIDRAULICAS PARA EL DESARROLLO RURAL

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICAS

SUBSECRETARIO DE CONSTRUCCION
ENCARGADO DEL DESPACHO

ING. LUIS ROBLES LINARES

DIRECTOR GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS
PARA EL DESARROLLO RURAL, ENCARGADO
DE LA SUBSECRETARIA DE CONSTRUCCION.

ING. AMERICO VILLARREAL GUERRA

SUBSECRETARIO DE OPERACION:

ING. ABELARDO AMAYA BRONDO.

SUBSECRETARIO DE PLANEACION:

ING. GERARDO CRUICKSHANK GARCIA.

OFICIAL MAYOR:

ING. FERNANDO CASTAÑOS PATONI

P R E S E N T A C I O N

La apremiante necesidad de distribuir equitativamente el agua, como elemento vital para impulsar el desarrollo de actividades productivas en el medio rural mexicano, ha determinado la intensificación de los programas de alumbramiento de las aguas subterráneas, mediante la perforación de pozos profundos para riego, usos doméstico y abrevadero, principalmente en aquellas regiones de limitados recursos hidráulicos superficiales.

Dentro del Plan Nacional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural, se ha logrado una depuración de las técnicas para la realización de estos trabajos, que se apoyan, fundamentalmente, en más de 20 años de experiencias directas acumuladas por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y en los levantamientos geológicos que han elaborado otras instituciones.

A la fecha, se han obtenido resultados extraordinarios, no solo en este tipo de aprovechamientos, que constituyen una reserva muy importante para hacer fructificar considerables superficies de las áreas desérticas del país, sino también en la explotación general de las aguas subterráneas cuya aplicación, a escala nacional, pretende como meta urgente, llevar, bajo condiciones económicas accesibles, el beneficio del agua del subsuelo a nuestros campesinos más necesitados.

El presente trabajo, por sus características técnicas, puede ser un auxiliar para los ingenieros y los técnicos, cuyas actividades se relacionan con el estudio, perforación de pozos profundos y la selección de los equipos de - - bombeo, pero principalmente, debe ser un acicate para ampliar más nuestros conocimientos y aplicarlos con plena conciencia de que son una respuesta a la tarea de mejorar las condiciones de vida de los hombres del campo.

ING. AMERICO VILLARREAL GUERRA.

I N D I C E G E N E R A L

T E M A		PAGINA
1.-	GEOHIDROLOGIA	19
2.-	GEOFISICA	27
2.1.-	RELACIONES DE CAIDAS DE POTENCIAL	29
2.2.-	SECCIONES GEGELECTRICAS	35
2.3.-	SONDEOS GEOELECTRICOS	48
3.-	PERFORACION	57
3.1.-	EQUIPO DE PERFORACION PARA EXPLORACION	69
3.2.-	EQUIPO DE PERFORACION DE PERCUSION	74
3.3.-	EQUIPO DE PERFORACION ROTATORIO	91
3.3.1.-	LODOS DE PERFORACION	103
3.3.2.-	CEMENTACION DE TUBERIA	114
3.4.-	EQUIPO DE PERFORACION CON AIRE (NEUMATICO)	124
4.-	PROGRAMA DE PERFORACION	133
4.1.-	MUESTREO	134
4.2.-	REGISTROS ELECTRICOS	137
4.3.-	ANALISIS GRANULOMETRICO	155
4.4.-	ANALISIS QUIMICO	173
4.5.-	INTRUSION SALINA	179
5.-	TUBERIA DE ADEME	184
5.1.-	ESPECIFICACIONES	184
5.2.-	CONTRA ADEME	191
5.3.-	COLOCACION	191
6.-	DISEÑO Y TERMINACION DE POZO	195
6.1.-	DISEÑO	195
6.2.-	CORRELACION DE ESTUDIOS	204
6.3.-	TERMINACION DE POZO	209
6.4.-	TAPON DE FONDO	209

6.5.-	FILTRO DE GRAVA	209
6.6.-	LAVADO PRIMARIO Y AGITACION MECANICA	212
7.-	DESARROLLO Y AFORO	217
7.1.-	TRATAMIENTO QUIMICO	217
7.2.-	TRATAMIENTO NEUMATICO	221
7.3.-	TRATAMIENTO MECANICO	221
7.4.-	AFORO	224
8.-	CALCULO Y SELECCION EQUIPO DE BOMBEO	235
8.1.-	EJEMPLO	255
	BIBLIOGRAFIA	259

Best Available Document

GEOHIDROLOGIA.

GEOHIDROLOGIA. - Es la ciencia que estudia las leyes que rigen la presencia y movimiento de las aguas subterráneas. Es decir, el acuífero, la migración y volumen almacenado, así como los métodos para su explotación y conservación.

Es un hecho bien reconocido que en nuestro País muchas de sus regiones, no son igualmente favorecidas por la precipitación pluvial en cuanto a su abundancia y distribución anual, así como por la existencia de corrientes naturales que puedan aprovecharse. En consecuencia, salta a la vista -- que el aprovechamiento de las aguas subterráneas es de suma importancia. Esto ha sido posible gracias al avance de la geohidrología en el campo de la investigación, encaminadas a la localización de acuíferos factibles de explotarse y a las técnicas de perforación actualmente empleadas, que permiten alcanzar grandes profundidades, ampliando así el conocimiento del subsuelo.

Para la localización de las aguas subterráneas es indispensable la intervención de especialistas, quienes al aplicar sus conocimientos, realizan estudios geohidrológicos para que el aprovechamiento se efectúe dentro de la zona más adecuada y la explotación resulte económica. Para ello, primeramente se elabora un plano geohidrológico, basado de ser posible en fotografías aéreas cuya interpretación sirve para definir los rasgos geológicos que tengan relación con la geohidrología de la región; dicha interpretación debe comprobarse posteriormente mediante un reconocimiento de campo para cubrir los aspectos relativos a la geología superficial.

Durante el recorrido general de la zona, el geólogo recaba datos so-

bre el clima y precipitación pluvial de la región de que se trate así como de las condiciones que privan dentro del área de estudio para definir las características fisiográficas y geológicas de la misma.

El aspecto fisiográfico es importante, considerando que las aguas subterráneas que más se explotan en su generalidad son de origen meteórico; al producirse la precipitación, estas aguas escurren con mayor facilidad en las áreas de configuración abrupta que en aquellas que tienen pendientes suaves; por lo tanto, es indispensable conocer las características de la cuenca tales como: clima, precipitación pluvial, altitud, índice forestal, extensión y distribución de rocas permeables e impermeables; pendientes de terreno, desarrollo de la red-hidrográfica que permitan definir la mecánica de la infiltración y las posibilidades de almacenamiento subterráneo de acuerdo con la naturaleza de las formaciones geológicas existentes.

Desde el punto de vista geológico, la naturaleza de las rocas es factor determinante para poder calcular la capacidad de almacenamiento en una zona o región; por lo que es necesario considerar el aspecto petrográfico tomando en cuenta el tipo de rocas que afloran, así como su grado de alteración para estimar en forma cualitativa su capacidad como acuíferas; además de tomar en cuenta los aspectos estratigráficos, estructurales y de sedimentología; considerar los horizontes existentes, inclinación, espesor, extensión, fallas, fracturas, tipos de pliegues, así como materiales depositados; su forma y acomodo, grado de compactación, proveniencia y agentes de transportación.

Entre los materiales que tienen mayor importancia para el estudio de las aguas subterráneas están las arenas y gravas ya que favorecen su circulación a través de ellas debido a la permeabilidad que presentan, siendo su capacidad de almacenamiento proporcional al espesor de las formaciones permeables y a la uniformidad de los granos.

Conociendo el volumen de la precipitación pluvial, el clima de la región y las características de los materiales que la constituyen, se determina aproximadamente el volumen del agua que se evapora; el que se infiltra y el de escurrimiento; naturalmente, existen regiones en que la precipitación es mínima y el agua no alcanza a infiltrarse evaporándose en gran proporción. Las estimaciones que se obtengan deben tomarse bajo criterio muy conservador ya que tienen como base el conocimiento general de la región desde el punto de vista geológico; de las características físicas que presentan los materiales que cubren la zona de estudio y de las formaciones que deben constituir el acuífero, por lo tanto la explotación debe efectuarse en forma racional proyectando que la extracción jamás sea superior a la recarga de los acuíferos ya que al romperse este equilibrio, inmediatamente se manifiesta por descensos en los niveles de bombeo fuera de los previstos, provocando incrementos en los costos de operación, como ha sucedido en algunas zonas de la República: La Región Lagunera, Dgo., Costa de Hermosillo, Son., Valle de Santo Domingo, B. C., etc.

Cuando se explotan acuíferos localizados en zonas costeras, el abatimiento de los niveles de las aguas subterráneas por abajo del nivel del mar -

propicia la intrusión de las aguas marinas, lo que implica la contaminación de los acuíferos si no se toman las medidas adecuadas para la conservación de los mismos. Una de las técnicas más recomendables consiste en perforar pozos de observación debidamente localizados tanto a lo largo de la costa como dentro de la zona de extracción, para observar en ellos el comportamiento de las aguas subterráneas, condiciones de drenaje, flujo, profundidades, etc., y de ahí estimar las posibilidades de incrementar el número de pozos de exploración sin afectar los acuíferos.

El estudio geohidrológico completo de una región comprende la determinación de la cantidad y calidad del agua disponible en forma permanente y económica; estos aspectos requieren además del estudio de la geología e hidrología de la región, el de las características hidráulicas y geoquímicas de los acuíferos.

Por medio de los estudios hidrológicos se determinan en forma experita las direcciones y sentidos del flujo subterráneo mediante el empleo de pozos piezométricos y la obtención del gradiente hidráulico o bien, por medio de estudios geoquímicos basados en los cambios que se manifiestan en la composición química de las aguas subterráneas por el contacto de éstas con las rocas por donde fluye. Estos valores permiten la formación de cartas de curvas isopiezométricas o de igual valor para una o varias características químicas del agua, con las que es posible obtener un esquema general del flujo subterráneo, además de permitir indentificar el origen y calidad de las mismas.

Las características más importantes por determinar son: los coeficientes de transmisibilidad y de almacenaje.

El coeficiente de permeabilidad mide la capacidad del material saturado por el agua para dejarla escurrir. La unidad de permeabilidad es el Darcy y la subdivisión más usual de ésta el Milidarcy. Se dice que un medio poroso tiene una permeabilidad de un "Darcy" cuando permite el paso de $1 \text{ cm}^3/\text{seg.}$ de un fluido con viscosidad de un Centipoise a través de un área de 1 cm^2 y bajo una presión diferencial de una atmósfera.

La permeabilidad se expresa en función de gastos o volúmenes, definiéndose como la expresión numerica del flujo del agua en $\text{cm}^3/\text{seg.}$ a través de una sección transversal de 1 cm^2 , con una presión diferencial de una atmósfera a una temperatura de 15.5°C y una viscosidad de un centipoise:

$$P = \frac{Q}{A \cdot I}; \quad I = \frac{h}{L}$$

$$P = \text{Permeabilidad } \left(\frac{\text{m}^3/\text{día}}{\text{m}^2} \right)$$

$$I = \text{gradiente}$$

$$Q = \text{gasto } (\text{m}^3/\text{día})$$

$$h = \text{diferencia de presiones} \\ (\text{m})$$

$$A = \text{área } (\text{m}^2)$$

$$l = \text{longitud (m)}$$

El coeficiente de transmisibilidad mide la capacidad de flujo en el material saturado y es el promedio de la permeabilidad por el espesor del acuífero.

$$T = P \cdot m$$

T = coeficiente de transmisibilidad ($\frac{\text{m}^3/\text{día}}{\text{m}}$)

P = permeabilidad ($\frac{\text{m}^3/\text{día}}{\text{m}^2}$)

m = espesor del acuífero (m)

El coeficiente de almacenaje se define como el volumen que se puede extraer por metro cuadrado de un acuífero al bajar el nivel freático o piezométrico en un metro y se expresa en fracción decimal o en tanto por ciento del volumen total del material drenado.

G E O F I S I C A .

2. - GEOFISICA. - Se ha definido ésta, como la ciencia que investiga la naturaleza física de la tierra.

La geofísica al aplicar los diferentes métodos, auxilia a la geología para investigar las condiciones geológicas del subsuelo y localizar mediante estudios y mediciones superficiales, sustancias explotables contenidas en él, tales como petróleo, agua, depósitos minerales, etc.

EXPLORACION GEOFISICA. - Es la prospección de estructuras geológicas y depósitos minerales realizada por medio de la medición de ciertas cantidades físicas, verificadas en la superficie del terreno como fenómenos que pueden ser interpretados por las leyes fundamentales de la física y el empleo de instrumentos adecuados.

La experiencia ha demostrado que muchas estructuras del subsuelo y depósitos minerales, pueden ser localizadas siempre que existan diferencias detectables en sus propiedades físicas; siendo las principales; densidad, magnetismo, elasticidad, y conductibilidad eléctrica. Estas, originan cuatro métodos geofísicos: Gravimétrico, Magnético, Sísmico y Eléctrico

METODO GRAVIMETRICO. - Se basa en la medida de las pequeñas variaciones del campo gravitacional, debidas a las diferencias que existen entre densidades de los distintos tipos de rocas que constituyen la corteza terrestre, causadas por variaciones en la distribución de las masas como consecuencia de movimientos geológicos.

METODO MAGNETICO. - La interpretación de este método se -

basa en que el campo magnético normal de la Tierra es uniforme. en áreas donde la composición magnética de los materiales también lo es: pero será distorsionado cuando éstos presenten alguna variación de ese orden. El grado de distorsión dependerá de la susceptibilidad de las rocas y de la masa y configuración de los materiales componentes.

METODO SISMICO. - La sismología se basa especialmente en las variaciones, de la elasticidad y densidad que presentan los materiales que componen la corteza terrestre, utilizando para su aplicación ondas elásticas producidas artificialmente, dependiendo por lo tanto de la velocidad de propagación de estas ondas a través de las rocas, siendo necesario para su empleo que exista un plano de contacto entre dos materiales de diferentes propiedades elásticas.

De acuerdo con el carácter de las ondas cuyo tiempo de propagación es el que se mide, se han desarrollado dos métodos diferentes; el de refracción y el de reflexión. El primero basa sus estudios en las ondas refractadas y el segundo en las ondas reflejadas.

METODO ELECTRICO. - Las estructuras geológicas pueden ser delineadas mediante la interpretación de sus reacciones con los campos eléctricos y electromagnéticos; sin embargo, lo limitado del poder de penetración del método, restringe su aplicación a aquellos accidentes estructurales comprendidos dentro de profundidades aproximadas de 500 m. (actualmente ya existen equipos con penetraciones hasta de 1,500 m. que tra-

bajan a frecuencia muy reducida).

2.1. - RELACIONES DE CAIDAS DE POTENCIAL. - Esta es una de las aplicaciones del Método Eléctrico; se funda en la propagación de una corriente eléctrica de muy baja frecuencia y de las características físicas del subsuelo.

Consiste en crear un campo de potencial en el subsuelo al introducir al terreno una corriente de intensidad generada y recuperar los efectos que se producen mediante la utilización de instrumentos y dispositivos de medida, permitiéndole obtener información sobre las características generales del subsuelo y definir la posición de las anomalías de acuerdo con las propiedades eléctricas que presenten. De esta forma es posible definir estructuras que tienen no solamente disposiciones horizontales sino hasta verticales como fallas, filones o diques.

En la mayoría de los casos los materiales del subsuelo permiten en mayor o menor grado el flujo de la corriente eléctrica, ya sea a través de las rocas o minerales debido a la ionización de los mismos o de los electrolitos que se forman por la presencia del agua (conductibilidad eléctrica).

De acuerdo con lo anterior las rocas compactas presentarán una elevada resistencia al paso del flujo de la corriente; si son permeables opondrán baja resistencia, la que disminuirá aún más si contienen agua.

El procedimiento consiste en formar un campo eléctrico artificial en el subsuelo generándolo desde la superficie del terreno mediante el contacto

de planchas metálicas llamadas electrodos de corriente y obtener potenciales inducidos a través del contacto de los electrodos de potencial; es decir - valores numéricos que, al ser relacionados con la profundidad teórica de la exploración con los puntos de contacto de la fuente corriente y la distancia - a los de captación del campo eléctrico (electrodos de potencial), permiten el cálculo y trazo de gráficas que sirven para determinar las zonas de saturación y la profundidad a la que éstas se registran, más no datos precisos sobre la potencialidad de los acuíferos.

EQUIPO EMPLEADO

1. - Fuente de energía eléctrica.
2. - Electrodos primarios o de corriente.
3. - Electrodos secundarios o de potencial.
4. - Un medidor de Relaciones de Caídas de Potencial. (Gradiómetro de Resistencia).

El objeto de los dos primeros es proporcionar la energía eléctrica; en tanto que de los dos últimos es medir los gradientes de potencial que se relacionen con la deformación de este campo producido por las variaciones de la conductividad o resistividad en las rocas que constituyen el subsuelo.

FUENTE DE ENERGIA. - La fuente de energía consta generalmente de un moto-generador de corriente alterna de más o menos 110 Volts, 300 -- Watts. auto-excitada a 25 ciclos por segundo e impulsada por un motor de gasolina de un cilindro de medio caballo de fuerza y de 4 tiempos.

ELECTRODOS PRIMARIOS. - Los electrodos primarios son dos, consisten en placas metálicas a las que están conectados unos pies cortos verticales dotados de agarraderas; estas placas se colocan en pequeñas excavaciones hechas expresamente sobre la superficie del terreno previamente humedecidas con un electrolito formado con agua más una sal (generalmente cloruro de sodio comercial) para disminuir la resistencia de contacto. La distancia que separa los electrodos de corriente es aproximadamente 5 veces la profundidad teórica que se desee alcanzar y formará un ángulo recto con la línea de estudio.

ELECTRODOS SECUNDARIOS. - Los tres electrodos secundarios o de potencial, son varillas de cobre de sección circular que deben enterrarse en el suelo lo más firmemente posible a fin de disminuir las variaciones en la resistencia de contacto y, en la misma forma que los electrodos primarios también se humedecen con agua, agregándole cloruro de sodio. La separación de estos electrodos está en proporción de la distancia de la estaca central al electrodo de corriente. Los intervalos demasiado pequeños entre los electrodos, por ejemplo: de 0.50 m a 1.00 m., normalmente producen lecturas semejantes reportando curvas de gran continuidad y si éstos son muy grandes, de 10.00 m en adelante, pueden proporcionar lecturas con valores cuyas diferencias entre sí sean tales que generen gráficas de poca claridad y de interpretación sujeta a errores; por lo tanto es conveniente utilizar intervalos con distancias de más o menos 3 m.

GRADIOMETRO DE RESISTENCIA. - El gradiómetro de resistencia - permite obtener desde la superficie, por medio de mediciones de potencial, datos de las distintas resistividades aparentes de las rocas que constituyen el subsuelo.

Este aparato al que van conectados los tres electrodos de potencial - A-B-C, mide el gradiente de potencial entre los electrodos de potencial C - A- y C- B; es decir, el gradiente o diferencia de potencial entre ambos. Estas dos caídas de voltaje, se aplican a los brazos de un puente de corriente-alterna provisto de un circuito de balanceo formado por resistencias y condensadores, que en sí es un puente de Wheatstone con las innovaciones requeridas para estos fines.

La determinación de la relación de caídas de potencial se lleva a cabo mediante la interconexión de un puente modificado, como se aprecia en la siguiente figura:

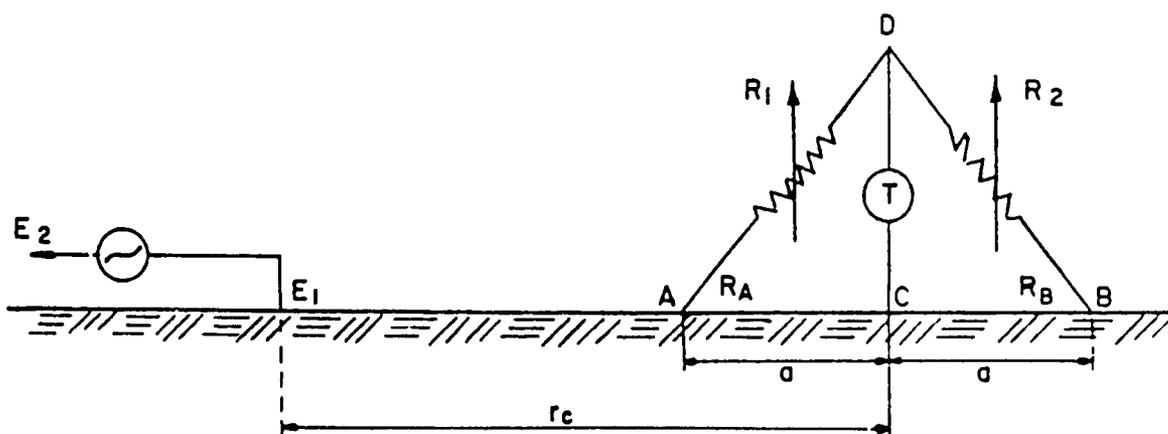


FIG. 1

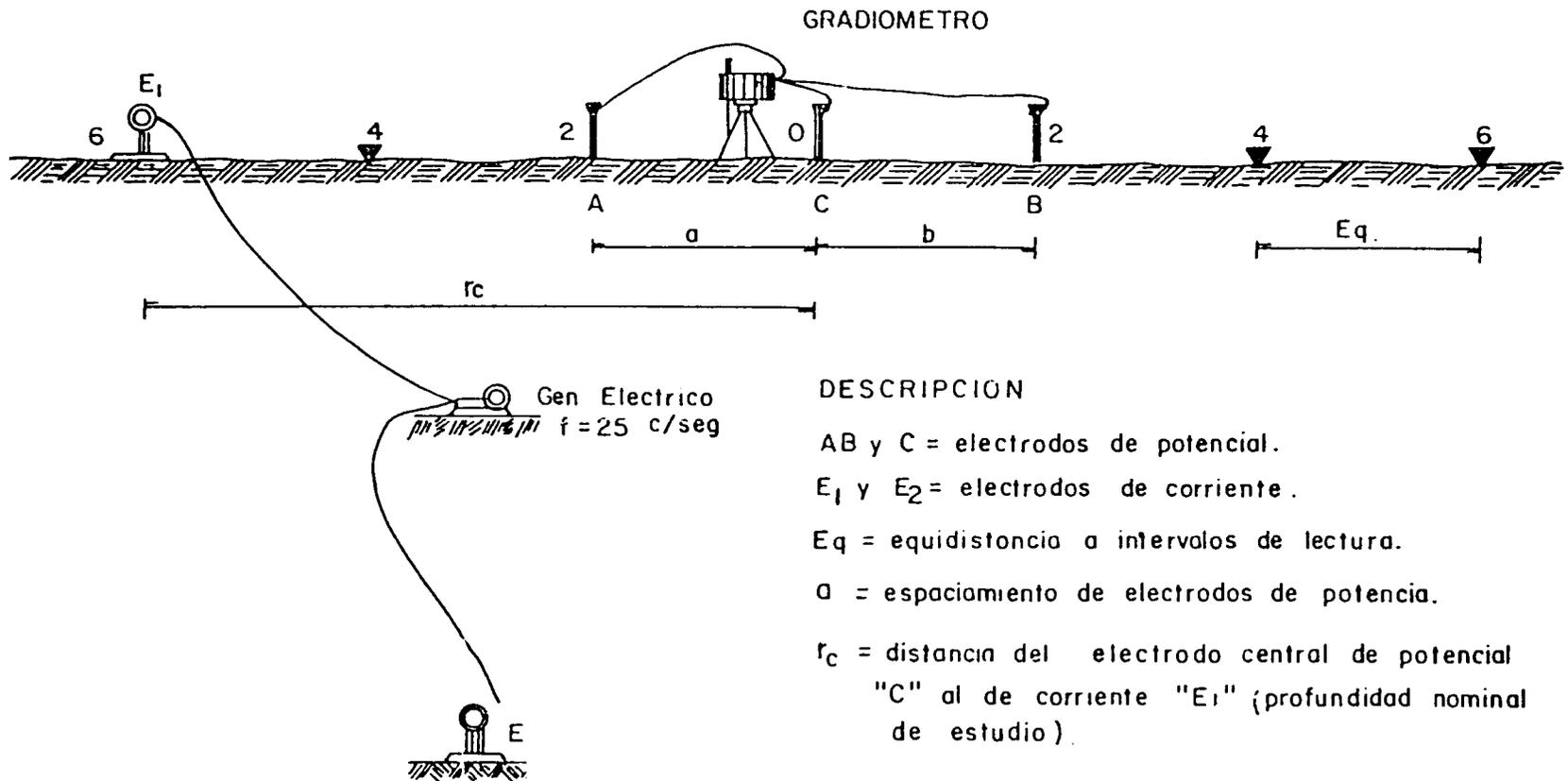
La fuente de energía eléctrica se conecta a los electrodos de corriente E_1 y E_2 teniendo cuidado de que el E_2 quede situado a una distancia tal, - que únicamente la distribución del potencial debida a E_1 sea la considerada. El puente hace contacto con el terreno en tres puntos A-C-B; los brazos del circuito AD-DB tienen dos resistencias variables conocidas, R_1 y R_2 y dos resistencias fijas de contacto, R_A y R_B de los electrodos A y B. Cuando el puente esté balanceado o en equilibrio, el galvanómetro "T" permanecerá -- fijo.

PROCEDIMIENTO DE CAMPO. - Existen varios procedimientos cono-- cidos como Primera, Segunda y Tercera Variante, cuya diferencia está basa-- da en la colocación de los electrodos sobre la línea de estudio, ya que la pe-- netración se incrementa aumentando por etapas sucesivas la distancia que me-- dia entre el conjunto de electrodos primarios y secundarios.

PRIMERA VARIANTE. - Una vez escogida la equidistancia "a" de - - - acuerdo con la profundidad teórica que se desea alcanzar, los electrodos -- secundarios A-C-B, cuya separación es igual para ambos, permanecerán -- fijos y el electrodo de corriente irá recorriendo la línea de estudio que es -- un múltiplo "n" de la distancia "a" ocupando las posiciones sucesivas E_0 , E_1 , $E_2 \dots E_n$, después de cada observación, de tal manera que éstas queden li-- gadas entre sí. La medida de las relaciones de los potenciales A y B logra-- das por el aparato en cada posición, proporciona los datos para calcular las relaciones de caídas de potencial por relación normal.

ARREGLO DE ELECTRODOS EN SONDEOS VERTICALES (SEGUN WENNER NEUMANN LEE)

METODO DE R. C. P. APLICADO EN EXPLORACIONES GEO-ELECTRICAS



DESCRIPCION

AB y C = electrodos de potencial.

E₁ y E₂ = electrodos de corriente.

Eq = equidistancia a intervalos de lectura.

a = espaciamento de electrodos de potencia.

r_c = distancia del electrodo central de potencial "C" al de corriente "E₁" (profundidad nominal de estudio).

SEGUNDA VARIANTE. - De la misma manera que en la Primera - - Variante, la distancia que separa los electrodos A-C y C-B es igual; pero en este caso el electrodo "C" queda fijo y la equidistancia "a" va incrementándose al mismo tiempo que crece la distancia r_c hacia el electrodo de corriente E_1 , conservando una relación fija $M = \frac{r_c}{a}$. Generalmente a M se le da un valor igual a 3 para facilitar el cálculo; sin embargo, los incrementos de "a" pueden ser cualesquiera, pero es conveniente que aumenten una misma cantidad.

TERCERA VARIANTE. - (Del Ing. A. de la O.) - En esta variante la distancia entre A y C es diferente de la que existe entre C y B las que van incrementándose durante el proceso de trabajo al aumentarse la distancia a E_1 , permaneciendo fijo el electrodo central C.

APLICACION DE LA SEGUNDA VARIANTE. - El método de Relaciones de Caídas de Potencial aplicando la Segunda Variante, puede utilizarse tanto a secciones transversales como en sondeos geoelectricos; tiene como finalidad la localización de zonas mineralizadas, fallas, fracturas, diques etc. En nuestro caso, la de las aguas subterráneas esencialmente. Con estudios de este tipo se puede investigar la existencia y/o continuidad de dichos accidentes.

2.5b. - SECCIONES GEOELECTRICAS.

Las secciones geoelectricas aplicando el método de Relaciones de -- Caídas de Potencial en la localización de las aguas subterráneas (cuando _

no se trate de acuíferos confinados ya que en estos casos bastará con sondeos), deberán correrse transversalmente al posible flujo de las aguas del subsuelo para determinar los lugares de máxima saturación; su profundidad deberá fijarse mediante sondeos en los sitios que las propias secciones indiquen.

La técnica de operación de este método, consiste en efectuar observaciones a lo largo de la línea previamente seleccionada, después que los intervalos de lectura, espaciamiento de electrodos de potencial y profundidad teórica por alcanzar (r_c), hayan sido fijados. La sección se corre a profundidad constante, moviendo el conjunto de electrodos e instrumentos a lo largo de la línea, haciendo lecturas en los puntos de equidistancia establecida; la que permanece constante durante la exploración. Este proceso de observación se lleva a cabo de uno a otro extremo de la línea de estudio en doble sentido con objeto de eliminar posibles influencias de carácter superficial, debido a pequeños accidentes tanto topográficos como geológicos. De las lecturas obtenidas con el aparato y hecha su corrección por cálculo, se obtiene la gráfica promedio de los valores $(\frac{B}{A} F)$ de Relaciones de Caídas de Potencial, en la que finalmente se observan las anomalías eléctricas que por sus fuertes variaciones llaman la atención, mostrando los lugares críticos para considerarlos como zonas o puntos de accidentes geológicos a los que deben ponerse especial cuidado. Es de comprenderse que esta característica eléctrica de las rocas juega un papel muy importante en las Caídas

de Potencial que registra el aparato, ya que las variaciones de resistividad están íntimamente ligadas con los cambios litológicos de las formaciones, las cuales son perceptibles, como puede notarse en las Gráficas Nos. 1 y 1 A de las secciones geoeléctricas corridas en la Providencia, Mpio. de Dolores Hidalgo, Gto.

Por la observación de las gráficas se pueden deducir que existen anomalías, 'valles' en las Estaciones Nos. 19 y 20; por lo que siendo más notable la de la No. 19 de la Gráfica No. 1 se decidió correr un sondeo en este punto.

Cabe hacer notar que para realizar esta clase de trabajos, se deben tomar en cuenta el conocimiento o desconocimiento total de la zona por estudiar; es decir, los datos consignados en trabajos de esta índole realizados con anterioridad, pozos construídos con características conocidas, la existencia de norias viejas o abandonadas y la propia información que al respecto puedan proporcionar los vecinos del lugar, son datos valiosos para definir el procedimiento a seguir. habrá ocasiones en que baste con una sección geoeléctrica y otras en las que se requieran dos o más o un conjunto de sondeos (nombrados también batería cuando se corren sobre una línea), los que al correlacionarlos entre sí proporcionan la información requerida para los fines que se persiguen. Esto es de vital importancia ya que comúnmente para la localización del sitio donde se pretende perforar un pozo, se corre un solo sondeo geoeléctrico; esto es admisible únicamente en aque

Best Available Document

llos casos en los que se conocen las condiciones geohidrológicas y geofísicas del terreno; de lo contrario deberá procederse en la forma indicada.

Sin embargo, hay ocasiones en las que dentro o fuera de la zona por estudiar existe un pozo o noria cuyas características hidráulicas son conocidas o por lo menos de ellos se tiene alguna información; en este caso se recomienda correr un sondeo lo más próximo al pozo mencionado tomando todas las precauciones que se requieran para considerarlo como "testigo". Cuando se conocen la profundidad, diámetros de perforación y tuberías de ademe, niveles estáticos, de bombeo y gasto, es conveniente que el "sondeo testigo" se corra a mayor profundidad que la que tiene la fuente de información con el objeto de deducir las condiciones geoelectricas del subsuelo abajo del nivel de perforación y compararlas con las ya conocidas del pozo en explotación.

Contra estos datos se correrán los sondeos o secciones transversales que se juzguen convenientes en las zonas por estudiar.

Para una mejor explicación del procedimiento de campo (aplicado a la segunda Variante que es la que generalmente se emplea en estos trabajos) a continuación se describen los estudios realizados al correrse dos secciones geoelectricas en el Rancho 'La Providencia', del Municipio de Dolores Hidalgo., Gto.

Las secciones que aquí se presentan fueron realizadas mediante el arreglo de campo de Wenner Neumann Loe, teniendo cuidado que el elec-

trodo E_2 quedara localizado en una línea normal a la de estudios en su parte central a fin de que a lo largo de toda ella se tuviera un campo eléctrico -- igualmente útil. En este caso se escogieron para M un valor de 3 y para la equidistancia entre estaciones de 15 m, efectuándose en cada una de ellas a partir de la estación No. 3, hasta la estación n-2 (siendo "n" el extremo -- final de la línea), las observaciones necesarias para lograr los valores de E_1 desplazando todo el conjunto de electrodos (los 3 potencial y el de -- corriente E_1) a lo largo de la línea de estudio, tanto en un sentido como al -- opuesto; es decir, inicialmente el electrodo E_1 hacia el origen de la sec- -- ción y posteriormente hacia el punto final. En el segundo caso, cuando se -- regresó, se invirtieron las entradas de los electrodos (A y B) del aparato.

Las profundidades escogidas fueron las de 45 y 90 m y las longitudes -- de 525 m y 615 m respectivamente. Por lo que respecta a las profundidades seleccionadas quedaron en función de la geología del lugar y las longitudes -- quedaron restringidas a los linderos del predio.

Con el objeto de fijar la localización de la Sección, se amojonó en su -- origen, tomándose de la orientación en que ésta fué corrida.

Es conveniente que todos los trabajos de esta índole se apoyen o refie -- ran a planos regionales en que pueden fijarse las zonas de recarga y los po -- sibles flujos o acuíferos confinados.

Refiriéndose a la Figura del Anexo No. 3 (pag. 14), permanecieron -- constantes "a", "b" y " r_c ", siendo de 15 m los valores de "a" y "b" y de --

45 m los de " r_c " para la sección cuya profundidad teórica fué de 45 m, y de 30m. para los valores de "a" y "b" en la sección cuya profundidad teórica fué de 30 m. y de 90 m. para " r_c "; es decir se mantuvo constante la relación de $M=3$.

RESULTADOS DE INTERPRETACION.

Terminado el trabajo de campo, se efectuaron los cálculos requeridos para lograr los valores de graficación para las curvas parciales de $\frac{B}{A}$ F de Relaciones de Caída de Potencial y obtener la gráfica promedio de dichos valores. Con esos datos y dibujadas las gráficas se puede observar que en la gráfica promedio $r_c = 45$ m. se tienen valores mínimos entre las estaciones 18 y 20, presentándose como curva plana entre las estaciones 2 y 14 con un máximo sobresaliente en las estaciones 15 y 16; también se puede observar que es relativamente plana entre las estaciones 20 y 29.

Lo anterior resulta aún más claro en la curva promedio para la profundidad teórica de 90 m ya que se presenta plana desde su origen hasta la estación 17 donde cae a valores mínimos en las estaciones 19 y 20 volviendo a presentar una parte relativamente plana entre las estaciones 22 y 26, y un máximo sin importancia en la estación 27.

Con el exámen hecho queda claro que los valores mínimos se corresponden a las dos profundidades, siendo más expresivas la de 90m. También puede verse por las dos gráficas promedio que la zona favorable (pues así se considera la parte de valores mínimos) no es un punto sino una zona,

por lo tanto se corrió un sondeo aproximadamente en su parte central - -
correspondiendo en este caso a la estación 19. El sondeo confirma lo en-
contrado en las dos secciones, presentándose favorable a la profundidad -
de 90 m.

Best Available Document

Registro de Observaciones en secciones Transversales Geoeléctricas aplicando la Segunda Variante
Rancho "La Providencia", Municipio de Dolores Hidalgo, Gto.

3

(Secc. No. 1)

			E_1 al S 13° E		E_1 al N 13° W		
Electrodos de Potencial			Relac. Obs.	Relac. Corr,	Relac. Obs.	Relac. corr.	Prom. Relac.
A	C	B	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A} F)$
0	3	6	0.770	1.540	0.590	1.130	1.360
1	4	7	0.810	1.620	0.570	1.140	1.380
2	5	8	0.760	1.520	0.490	0.950	1.250
3	6	9	0.680	1.360	0.570	1.140	1.250
4	7	10	0.650	1.300	0.570	1.140	1.220
5	8	11	0.775	1.550	0.425	0.850	1.200
6	9	12	0.710	1.420	0.410	0.820	1.120
7	10	13	0.685	1.370	0.475	0.950	1.160
8	11	14	0.693	1.396	0.442	0.884	1.140
9	12	15	0.681	1.362	0.479	0.958	1.160
10	13	16	0.730	1.460	0.400	0.800	1.130
11	14	17	0.720	1.440	0.430	0.860	1.150
12	15	18	0.830	1.660	0.360	0.720	1.190
13	16	19	0.842	1.684	0.368	0.736	1.210
14	17	20	0.780	1.560	0.450	0.900	1.230
15	18	21	0.715	1.430	0.835	1.670	1.550
16	19	22	0.700	1.400	0.820	1.640	1.520
17	20	23	0.693	1.396	0.422	0.844	1.120
18	21	24	0.663	1.326	0.387	0.774	1.050
19	22	25	0.640	1.280	0.220	0.440	0.860
20	23	26	0.655	1.310	0.535	1.170	1.240
21	24	27	0.710	1.420	0.510	1.020	1.220
22	25	28	0.690	1.380	0.570	1.040	1.260
23	26	29	0.693	1.386	0.617	1.234	1.310
24	27	30	0.760	1.520	0.610	1.220	1.370

			E_1 al S 13° E		E_1 al N 13° W		(secc. No. 1)
Electrodos de Potencial			Relac. Obs.	Relac. corr.	Relac. Obs.	Relac. corr.	Prom. Relac.
A	C	B	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A} F)$
25	28	31	0.830	1.660	0.525	1.050	1.355
26	29	32	0.855	1.710	0.435	0.870	1.290
27	30	33	0.760	1.520	0.535	1.070	1.295
28	31	34	0.750	1.500	0.510	1.020	1.260
29	32	35	0.714	1.428	0.501	1.002	1.215

EQUIDISTANCIA ENTRE ESTACIONES = 15 m.

PROFUNDIDAD TEORICA = 45 m.

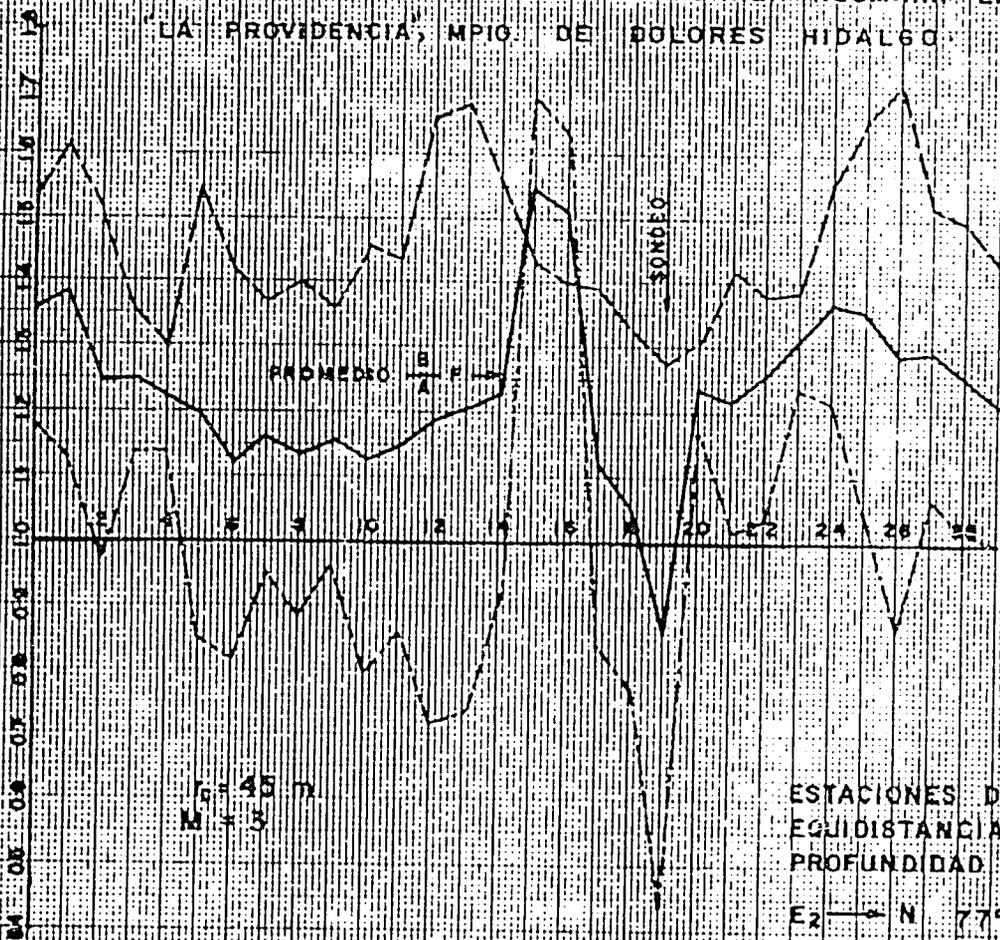
E_2 N 77° E.

Best Available Document

Segi Analítico Dorsal

SECCION TRANSVERSAL No. 1 (SEGUNDA VARIANTE)

ARREGLO DE CAMPO DE WENNER NEUMANN LEE
 'LA PROVIDENCIA', MUNICIPIO DE DOLORES HIDALGO, GTO.



$r_0 = 45 \text{ m}$
 $M = 3$

ESTACIONES DE APARATO CON
 EQUIDISTANCIA DE 15 m.
 PROFUNDIDAD TEORICA = 45 m.

$E_2 \rightarrow N 77^\circ E$

Registro de observaciones en secciones Transversales Geoeléctricas aplicando la Segunda Variante

Rancho " La Providencia ", Municipio de Dolores Hidalgo, Gto.

(Secc.No. 1 A)

Electrodos de Potencial			E ₁ al S 13° E		E ₁ al N 13° W		Prom. Relac.
A	C	B	Relac. Obs. ($\frac{B}{A}$)	Relac. Corr. ($\frac{B}{A} F$)	Relac. Obs. ($\frac{B}{A}$)	Relac. Corr. ($\frac{B}{A} F$)	
0	6	12	0.800	1.600	0.500	1.000	1.300
1	7	13	0.850	1.700	0.450	0.900	1.300
2	8	14	0.700	1.400	0.400	0.800	1.100
3	9	15	0.700	1.400	0.400	0.800	1.100
4	10	16	0.800	1.600	0.400	0.800	1.200
5	11	17	0.800	1.600	0.400	0.800	1.200
6	12	18	0.800	1.600	0.400	0.800	1.200
7	13	19	0.750	1.500	0.450	0.900	1.200
8	14	20	0.700	1.400	0.400	0.800	1.100
9	15	21	0.700	1.400	0.400	0.800	1.100
10	16	22	0.650	1.300	0.400	0.800	1.050
11	17	23	0.750	1.500	0.400	0.800	1.150
12	18	24	0.750	1.500	0.500	1.000	1.250
13	19	25	0.760	1.520	0.500	1.000	1.260
14	20	26	0.700	1.400	0.400	0.800	1.100
15	21	27	0.760	1.520	0.460	0.960	1.240
16	22	28	0.750	1.500	0.500	1.000	1.250
17	23	29	0.800	1.600	0.460	0.920	1.260
18	24	30	0.500	1.000	0.400	0.800	0.900
19	25	31	0.430	0.860	0.400	0.800	0.830(
20	26	32	0.420	0.840	0.370	0.740	0.790
21	27	33	0.500	1.000	0.500	1.000	1.000
22	28	34	0.480	0.960	0.750	1.500	1.230
23	29	35	0.480	0.960	0.800	1.600	1.280
24	30	36	0.500	1.000	0.750	1.500	1.250

E₁ al S 13° EE₁ al N 13° W

(Secc. No. 1A.)

δ

Electrodos de Potencial			Relac. Obs.	Relac. Corr.	Relac. Obs.	Relac. Corr.	Prom. Relac.
A	C	B	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A} F)$
25	31	37	0.500	1.000	0.800	1.600	1.300
26	32	38	0.460	0.920	0.800	1.600	1.260
27	33	39	0.450	0.900	1.000	2.000	1.450
28	34	40	0.500	1.000	0.850	1.700	1.350
29	35	41	0.550	1.100	0.500	1.000	1.050

EQUIDISTANCIA ENTRE ESTACIONES = 15 m.

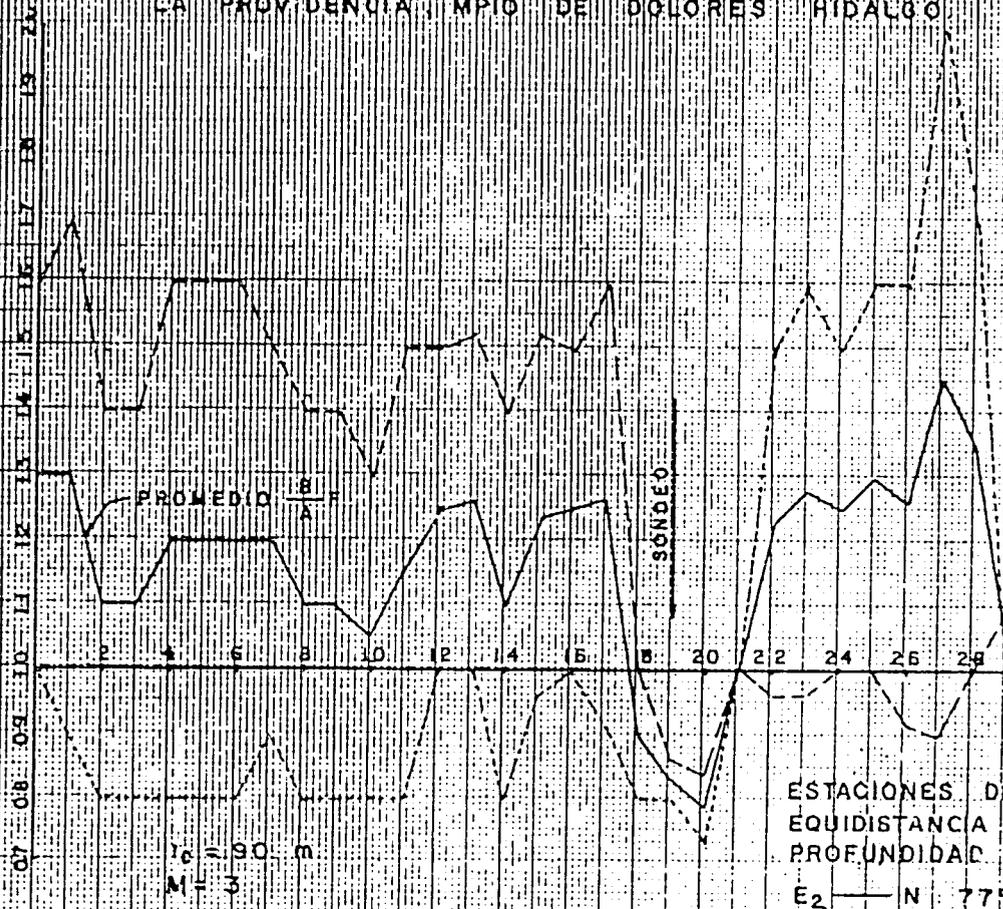
PROFUNDIDAD TEORICA = 90 m.

E₂ N 77° E.

Nota. (*) Como resultado del estudio de las -
Secciones Nos. 1 y 1A, en la Estación No.-
19 se corrió un sondeo.

SECCION TRANSVERSAL No. A (SEGUNDA VARIANTE)

ARRAULO DE CAMPO DE WENNER NEUMANN LEE
 "LA PROVIDENCIA", MUNICIPIO DE DOLORES HIDALGO, GTO.



2.5.c.- SONDEOS GEOELECTRICOS. Como en el caso de las secciones geoelectricas, al correr los sondeos generalmente se acostumbra aplicar la Segunda Variante utilizando el arreglo del campo de Wenner - Neumann Lee seleccionando los incrementos para "a", "b" y "r_c", que podrán ser diferentes para distintas profundidades u horizontales, de acuerdo con el interés que se tenga por conocer con mayor detalle las propiedades geoelectricas del subsuelo a X o Z profundidades, dependiendo de la finalidad del estudio; es decir, el conocimiento de zonas acuíferas, mineralizadas, cavernosas, etc.

Cuando el sondeo tiene como apoyo un punto determinado de una sección, previamente corrida (por considerarse éste el más favorable), es costumbre hacer su estacado a lo largo de la línea de la sección. Cuando se tiene interés en estimar si las condiciones geoelectricas próximas al punto del sondeo a uno y otro lado de la sección son mejores, el estacado se efectúa transversalmente a la sección; y la profundidad seleccionada para el sondeo debe ser tal que no sólo rebase la profundidad de la sección sino la que se proponga alcanzar con la obra que se ejecute.

PROCEDIMIENTO DE CAMPO.

Partiendo de la base que en los trabajos de campo, tanto para las secciones como los sondeos se emplea el arreglo Wenner Neumann Lee, la ejecución de éstos se realiza en forma similar; variando únicamente la posición del electrodo central C, que en los sondeos permanece fijo despla-

Best Available Document

zándose a lo largo de la línea de estacado los electrodos A, B y E_1 .

A diferencia de las secciones, en los sondeos no se alcanza una sola profundidad, sino que la inicial se ve incrementada hasta lograr la profundidad -- máxima fijada.

En el caso particular del sondeo corrido en el Ejido de referencia, - se tomaron como base las dos secciones a que se ha hecho mención con $r_c = 45$ y 90 m de la estación No. 19. Por lo que tomando en cuenta que de la zona en estudio no se contaba con ninguna información sobre el conocimiento geoelectrico del subsuelo, los incrementos fijados para " r_a " desde la superficie hasta los 45 m, fueron de 3 m; de este nivel hasta el de 135 m, de 2 m; volviendo a ser de 3 m hasta la profundidad total alcanzada que fue de 207m. En la misma forma, los incrementos de " r_c " fueron inicialmente de 9 m, - enseguida de 6 m y por último volvieron a tener valores de 9 m, manteniéndose constante la relación de " r_c " a " r_a " de $M = 3$, (pudiendo variarse ésta según el problema presente).

GRAFICACION.

Secciones.- Los valores $\frac{B}{A} F$ de RCP. logrados con las secciones se grafican en ejes coordenados (Primer Cuadrante) correspondiendo al eje de las abcisas las estaciones siempre equidistantes; y en el de las ordenadas - los valores $\frac{B}{A} F$ de RCP.

Sondeos.- Logrados los valores $\frac{B}{A} F$ de RCP y los incrementos para

Best Available Document

ambos se grafican en ejes coordenados utilizando el tercero y cuarto cuadrantes (trigonométricos), considerando los valores $\frac{B}{A} F$ de RCP en el eje de las abcisas y en el de las ordenadas los incrementos para

Escalas. - La escala para distancias es común escogerla 1:2000 para los valores de RCP, $1 \text{ mm} = 0.01 \frac{B}{A} F$.

Best Available Document

Registro de observaciones de sondeo Geoeléctrico aplicando la Segunda Variante.

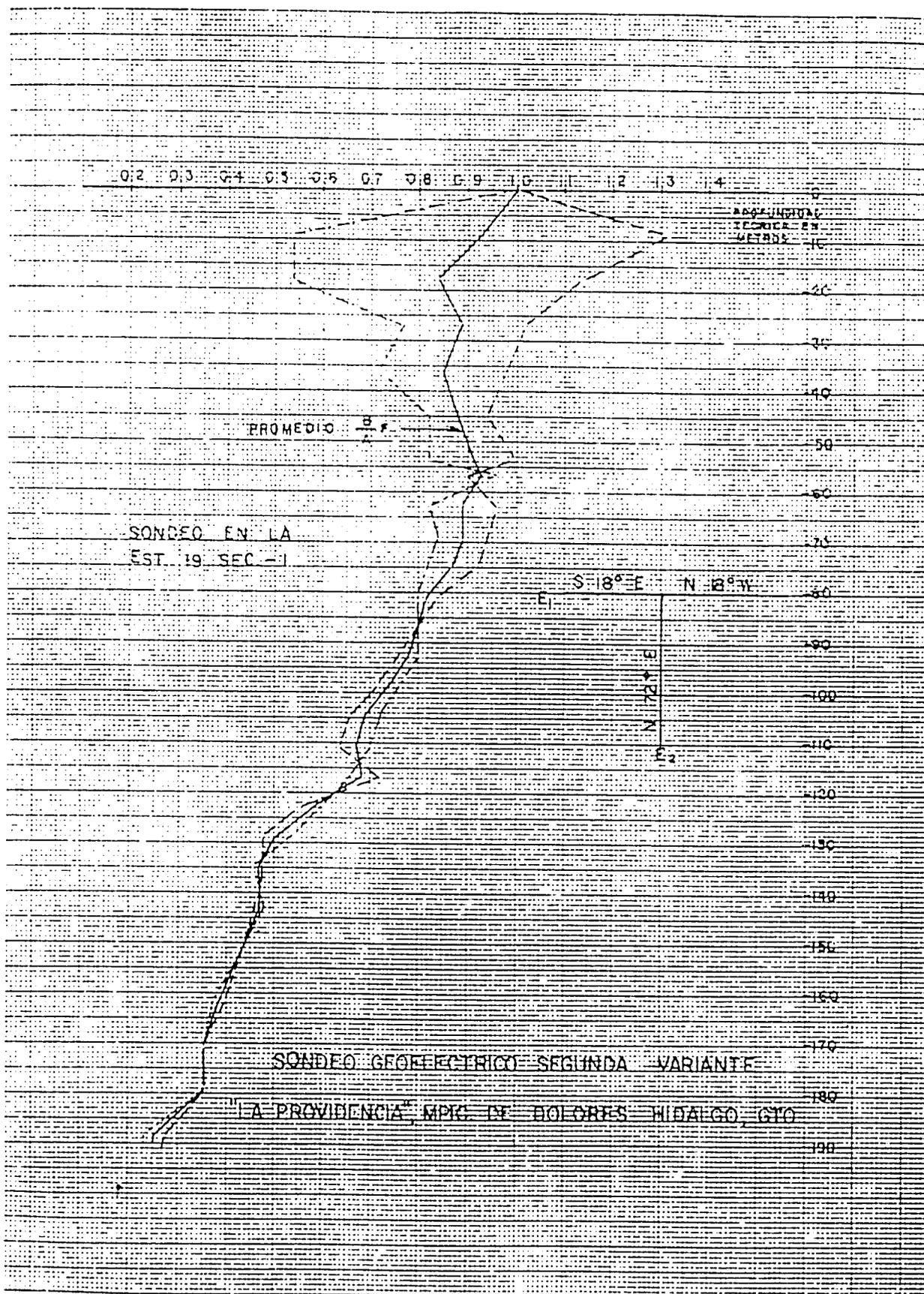
Rancho "La Providencia", Municipio de Dolores Hidalgo, Gto.

Estación	r _a	r _c	Relac. Obs. ($\frac{B}{\Lambda}$)	Relac. Corr. ($\frac{B}{\Lambda} F$)	Relac. Obs. ($\frac{B}{\Lambda}$)	Relac. Corr. ($\frac{B}{\Lambda} F$)	Prom. Relac. ($\frac{B}{\Lambda} F$)
0	3	9	0.270	0.540	0.660	1.320	0.930
1	6	18	0.270	0.540	0.570	1.140	0.840
2	9	27	0.380	0.760	0.510	1.020	0.890
3	12	36	0.360	0.720	0.490	0.980	0.850
4	15	45	0.410	0.820	0.470	0.940	0.880
5	17	54	0.410	0.820	0.500	1.000	0.910
6	19	57	0.480	0.960	0.450	0.900	0.930
7	21	63	0.410	0.820	0.480	0.960	0.890
8	23	69	0.420	0.840	0.470	0.940	0.890
9	25	75	0.410	0.820	0.460	0.920	0.870
10	27	81	0.400	0.800	0.420	0.840	0.820
11	29	87	0.400	0.800	0.400	0.800	0.800
12	31	93	0.400	0.800	0.380	0.760	0.780
13	33	99	0.380	0.760	0.360	0.720	0.740
14	35	105	0.360	0.720	0.330	0.660	0.690
15	37	111	0.350	0.700	0.320	0.640	0.670
16	39	117	0.330	0.660	0.360	0.720	0.690
17	41	123	0.300	0.600	0.280	0.560	0.580
18	43	129	0.270	0.540	0.240	0.480	0.510
19	45	135	0.230	0.460	0.210	0.420	0.470
20	48	144	0.240	0.480	0.230	0.460	0.470
21	51	153	0.220	0.440	0.220	0.440	0.440
22	54	162	0.190	0.380	0.200	0.400	0.390

Best Available Document

Estación	r a	r c	Relac. Obs. ($\frac{B}{A}$)	Relac. Corr. ($\frac{B}{A} F$)	Relac. Obs. ($\frac{B}{A}$)	Relac. Corr. ($\frac{B}{A} F$)	Prom. Relac. ($\frac{B}{A} F$)
23	57	171	0.180	0.360	0.180	0.360	0.360
24	60	180	0.180	0.360	0.180	0.360	0.360
25	63	189	0.120	0.240	0.140	0.280	0.260
26	66	198	0.120	0.240	0.130	0.260	0.150
27	69	207	0.120	0.240	0.110	0.210	0.130

NOTA: ESTE SONDEO FUE CORRIDO EN LA ESTACION No. 19 DE LA SECCION TRANSVER-
SAL No. 1.



P E R F O R A C I O N

3.- PERFORACION.- La perforación de pozos profundos, se puede definir como la horadación del terreno efectuada por medio de máquinas y herramienta mecánica a profundidades mayores de 30 m.

En el caso de las aguas subterráneas, la perforación puede tener varias finalidades; el alumbramiento de las mismas con fines de riego, de usos domésticos, abrevadero o industriales.

Con base en el resultado de los estudios geohidrológicos y geofísicos realizados, así como del recorrido de la zona por beneficiar, se elegirán el tipo y capacidad del equipo para la construcción de los pozos; pudiendo ser de percusión, neumático o rotatorio, de circulación directa o inversa; pero con capacidad suficiente para poder alcanzar las profundidades y diámetros especificados.

Los pozos que se construyen dentro del Territorio Nacional, cuando se trata de alumbrar aguas con fines de riego, generalmente alcanzan profundidades que varían de acuerdo con la zona entre 50 y 250 m., y sus diámetros entre 457 y 559 mm (18" y 22").

La costeabilidad del aprovechamiento es de suma importancia; por lo tanto, es conveniente tomar en consideración los niveles de bombeo en los pozos con fines agrícolas y procurar utilizar las fuentes de energía eléctrica más próximas. Como consecuencia, se recomienda planear la construcción de pozos formando pequeñas zonas de riego, las que irán incrementándose de acuerdo con el beneficio y superficie disponible.

Los pozos para abrevadero tienen como finalidad beneficiar a pe--

queñas comunidades, generalmente aisladas de todo centro de población, - pero con gran arraigo a la zona donde se encuentran; lo anterior, obliga a - realizar trabajos en aquellos lugares donde prevalecen dichas condiciones.

En el primer caso, la explotación de los acuíferos se hacen mediante el empleo de bombas turbina para pozo profundo, accionadas por motores diesel o eléctricos; y en el segundo, por medio de aeromotores o guimbaletes.

Una vez definida la zona y elegidos los sitios por perforar, se llevará a cabo una visita a la misma con el objeto de certificar la accesibilidad de caminos para el fácil acceso de las máquinas; reparación de ellos si se hace necesario, localización de las fuentes de aprovisionamiento de combustibles, lubricantes, agua, bancos de grava, etc.

Posterior e inmediatamente se ordenará la limpieza del área de trabajo; proceder a la construcción de las presas de lodos cuando se trata de máquinas rotatorias, y desde luego a la movilización del equipo seleccionado, con todas sus herramientas de perforación y pesca, equipos de soldadura eléctrica y autógena y todos aquellos accesorios que se hacen necesarios para la buena marcha de los trabajos.

METODO DE PERFORACION. - Existen diversos métodos o sistemas utilizados en la perforación de pozos para el alumbramiento de aguas subterráneas. El de percusión, llamado también a cable o de pulseta. El ro ta tó ri o, que en la actualidad emplea el de tipo convencional o de circulación directa que utiliza como fluído de perforación, la bentonita principalmente.

Es también común el sistema de circulación inversa en la perforación de -- aluviones o materiales graduados (arenas y gravas).

Ultimamente se ha difundido el empleo del aire como fluído de perforación; para ello varias Empresas han diseñado equipos que parten del -- mismo principio con ciertas variaciones. Básicamente son equipos similares a los utilizados para circulación directa o inversa a los que se han adicionado, uno o varios compresores para la extracción de los recortes o ri-- pios. Los de circulación directa utilizan la sarta común y como herramienta de corte las de tipo normal o un martillo de tipo especial con una barra de diseño no convencional. En estos casos, inicialmente las barrenas fueron similares a las que se emplean en los trabajos de minería; en forma de cruz con filos revestidos con carburo de tungsteno. A la fecha prácticamente han sido desechadas por otro tipo de barrena también no convencional en cuya área de corte o ataque tiene insertados botones de carburo de tungsteno.

Algunas perforadoras neumáticas son equipadas con un "control de flotación" en la mesa rotaria cuyo diámetro máximo es de 216 mm (8 1/2"); como complemento, es necesario el uso del pull down. El control de flotación es ajustable y las velocidades de acuerdo con el Manual de Operación -- varían de 0 a 3.66 m/min (0 y 12 pies/min). Otras son operadas a base de observación; del manómetro (presión de aire) y del peso (pull down). El -- martillo emplea para cortar, barrenas del tipo convencional; de dientes o -- de roles con insertos de carburo de tungsteno. Para su operación está dise--

Best Available Document

ñado de tal manera que en su interior por la acción del aire, actúa un pistón que golpea sobre la camisa produciendo el impacto, y a fin de que los recortes no penetren dentro del cuerpo del martillo cuando la presión es inferior a 100 Lbs/pulg², tiene en la parte inferior del cuerpo una válvula check que se cierra automáticamente. En el primer caso, las barrenas más comunes tienen diámetros de 152 mm (6") y 165 mm (6 1/2") aunque actualmente se fabrican hasta de 254 mm (10") de diámetro; y en el segundo, hay martillos que emplean barrenas hasta de 503 mm (20") de diámetro.

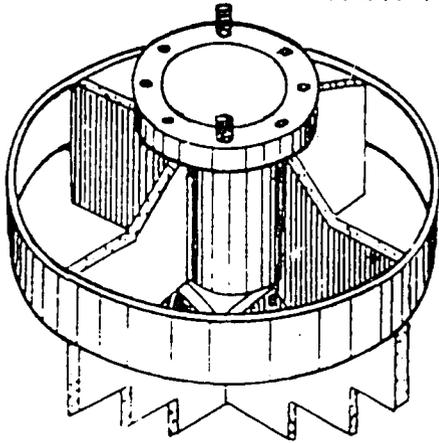
Es importante hacer notar que al formularse los pedidos para la adquisición de las barrenas de botones, como en el caso de las convencionales, debe mencionarse la dureza de éstos de acuerdo con el tipo de formación por atravesar.

Cuando el fluido de perforación utilizado es únicamente aire, algunas perforadoras están equipadas con bombas que a través de la tubería de perforación inyectan pequeñas cantidades de agua que al entrar en contacto con el aire forman una emulsión que elimina o reduce el polvo que se produce al efectuar la perforación.

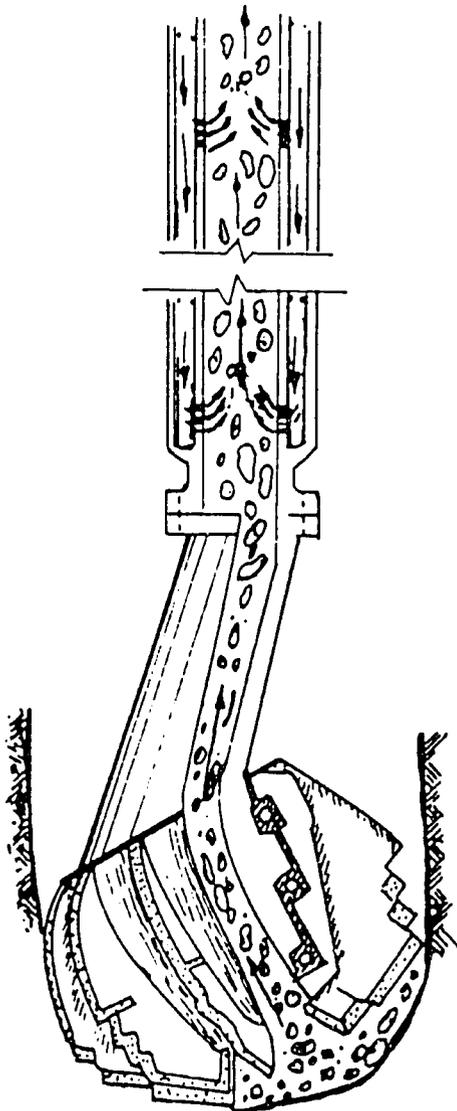
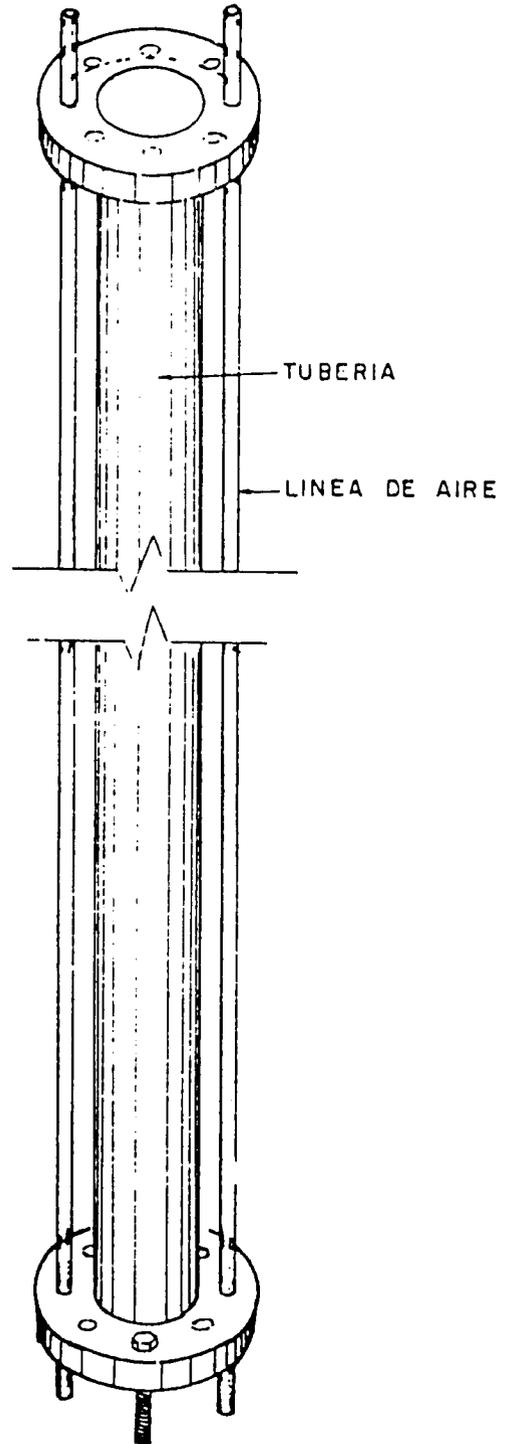
Es muy recomendable el empleo de espumantes en estos trabajos ya que reducen el consumo de aire, lubrican y enfrían la barrena y facilitan la extracción de los ripios.

Cuando las formaciones por perforar son arenas, gravillas y gravas hasta de 102 a 127 mm (4 a 5") de diámetro con gran permeabilidad y consecuentemente acuíferos altamente productores, es recomendable el empu

EQUIPO DE CIRCULACION INVERSA
BARRENAS Y TUBERIAS



BARRENA TIPO CONVENCIONAL

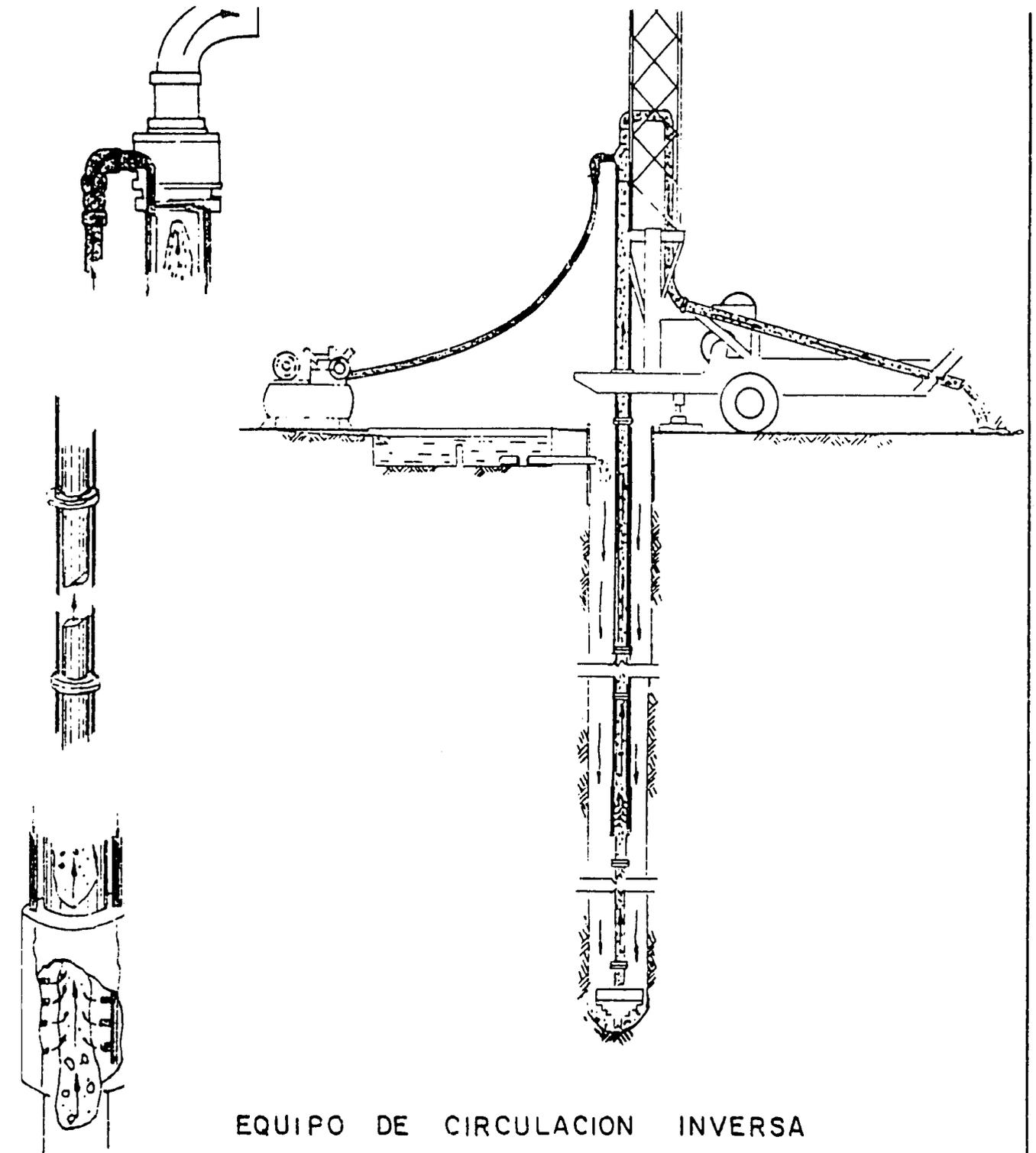


BARRENA TIPO BULBO

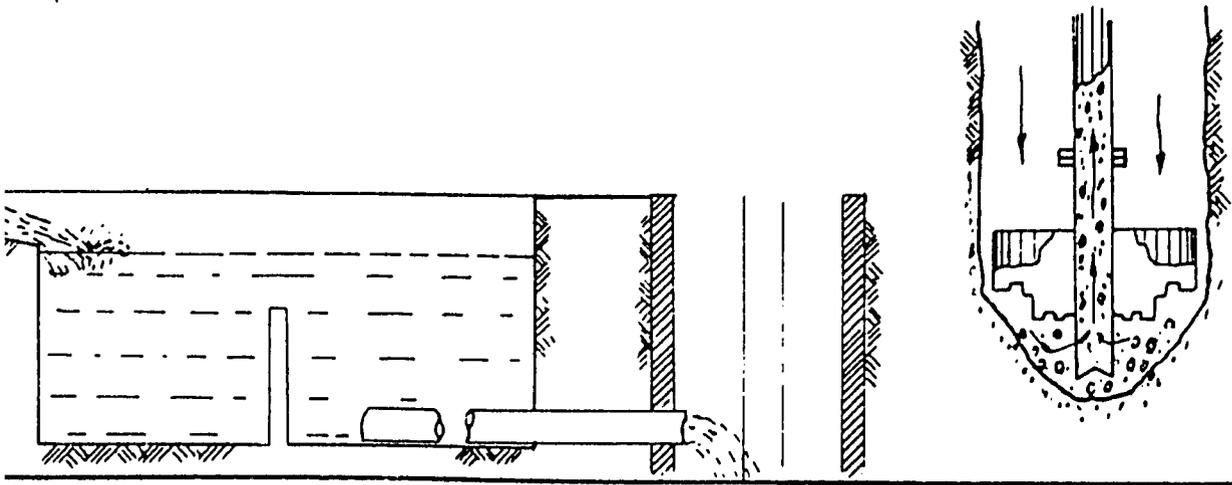
pleo del sistema rotatorio de circulación inversa por la limpieza que presenta el agujero después de la perforación pues no existe contaminación por el empleo de lodos bentoníticos, los grandes diámetros a que normalmente se puede perforar y sobre todo por la velocidad de avance. Por lo tanto es muy importante antes de iniciar los trabajos contar a pié de pozo, con todos los materiales, herramientas y equipos requeridos para éstos. Este sistema presenta serias limitaciones por no ser posible utilizarlo en formaciones consolidadas, además de los grandes consumos de agua no disponibles en cualquier zona; ya que a diferencia del sistema rotatorio convencional, el fluido de perforación es agua que penetra al agujero por gravedad y es extraída con los recortes a través de la tubería de perforación mediante la acción de una bomba centrífuga en vez de la de lodos comunmente utilizada.

Las tuberías de perforación más generalizadas en este sistema son las de 152 mm (6") de diámetro. La longitud de sus tramos es de 3.05 m (10') y tienen en sus extremos bridas que se unen por medio de tornillos y tuercas y un empaque intermedio para evitar fugas.

Si además de agua emplea aire como fluido de perforación, las tuberías de inyección se instalan paralelas y diametralmente opuestas a la de perforación, unidas a ésta a través de las bridas. Su longitud total será igual a la de la presión que puede proporcionar el compresor; por lo tanto para poder continuar con la perforación abajo de ese nivel, es necesaria una alimentación continua de agua a través del espacio anular, misma que por diferencia de densidades ejercerá una presión mayor que la de la emul-



EQUIPO DE CIRCULACION INVERSA



sión agua-aire contenida dentro de la tubería. Hay ocasiones en que es conveniente mezclar el agua con un gel, bentonita o un espumante, con el cual se logra obtener determinada viscosidad, para la extracción de los recortes y relativamente estabilizar las paredes del agujero. Las barrenas que se emplean son de diseño especial y de éstas con las que se logran mejores resultados son las que tienen forma de tubo.

También este método está siendo utilizado por equipos de perforación rotatorios que para el efecto emplean una sarta formada por lo que se le llama "doble tubería" (dos tubos concéntricos) y que se conoce como sistema CON-COR (continius Coring) es decir, de muestreo continuo, en la que los fluídos de perforación (aire, agua, lodos, espumantes, etc.) penetran en su circulación descendente por el espacio anular de la doble tubería hasta los dientes de la barrena y retorna a la superficie con los recortes a través del centro de la barrena y por dentro del tubo interior de la doble tubería.

Para lograr este efecto se circunda y aísla el agujero por medio de una "caja inductora" o "porta barrena" cilíndrica, permaneciendo prácticamente estáticos los fluídos que ocupan el espacio anular entre las paredes del pozo y la sarta de perforación. Cabe aclarar que en estos casos la herramienta de corte es una barrena de roles del tipo común, pero con ciertas modificaciones: el diámetro exterior de las piernas de la barrena son ligeramente inferiores al de la caja inductora para permitir el paso de los fluídos de perforación, sin alterar el diámetro nominal de la misma y un

conducto concéntrico igual al del paso de los fluídos de perforación, por donde de retornan éstos junto con los recortes.

Perforadoras de este tipo han sido empleadas con éxito en formaciones de calizas no muy consolidadas. Sin embargo de acuerdo con el manual de operación de estos equipos, son tan versátiles que pueden emplear el sistema de circulación directa y si se requiere, usar martillo neumático con barrenas no convencionales.

Los equipos de perforación empleados más usualmente son los del tipo de percusión, rotatorio directo, inverso y neumático; las herramientas empleadas normalmente en los equipos rotatorios modelo 2000 son:

<u>Perforación</u>	<u>Tubería Perforación</u>	<u>Lastrabarrenas</u>
Directa	3 1/2" API I.F.	203 mm (8") Ø
Inversa	6 5/8" API F.H.	203 mm (8") Ø
Neumático	4 1/2" API F.H.	152 mm (6") Ø

Los equipos rotatorios neumáticos, emplean generalmente lastrabarrenas de 152 mm (6") diámetro máximo, por traer mesas rotarias hidráulicas cuyo diámetro máximo es de 216 mm (8 1/2") y emplear el mecanismo de presión descendente (pull down) para el empleo del martillo.

SELECCION DEL EQUIPO DE PERFORACION ADECUADO. - Para

la selección del equipo de perforación adecuado se debe tener en consideración que la República Mexicana tiene un subsuelo formado por materiales rocosos que cubren toda la gama litológica. Lo mismo es hablar de formaciones Igneas, como Sedimentarias o Metamórficas. En términos generales, -

se hacen algunas sugerencias para perforar con éxito las siguientes formaciones predominantes:

ROCAS IGNEAS.- Pueden ser intrusivas o extrusivas, siendo la más común de las intrusivas el granito y de las extrusivas los basaltos, andesitas, riolitas o tobas, que pueden perforarse con equipo de percusión o rotatorios, empleando el martillo y como fluido de perforación aire o espumante. Sin embargo, como generalmente todas estas rocas se encuentran cubiertas por aluviones de espesores variables, de acuerdo con la permeabilidad y su índice de almacenamiento, se recomienda estudiar la conveniencia de perforarlas. Cuando las formaciones anteriores presentan alternancias, no cambia el criterio de utilizar el equipo mencionado, siendo factible de variar el sistema de perforación neumático al convencional.

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

nancias. Para estos casos es recomendable el empleo de equipos de perforación rotatorio directo.

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

ALUVIONES.- Son formaciones no consolidadas formadas generalmente por alternancias de capas de gravas, arenas y arcillas o depósitos heterogéneos de las mismas. Es conveniente perforarlas empleando equipos rotatorios de circulación directa utilizando lodos bentoníticos como fluidos de perforación.

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

Es muy importante considerar la finalidad de la perforación, ya que está en función directa con la selección del equipo adecuado es decir, su capacidad, herramienta por utilizar, tipo de fluido de perforación y en

consecuencia el diseño del pozo. No es lo mismo proyectar la perforación de un pozo con fines de riego en una zona conocida que otro para usos domésticos en una área desconocida.

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

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

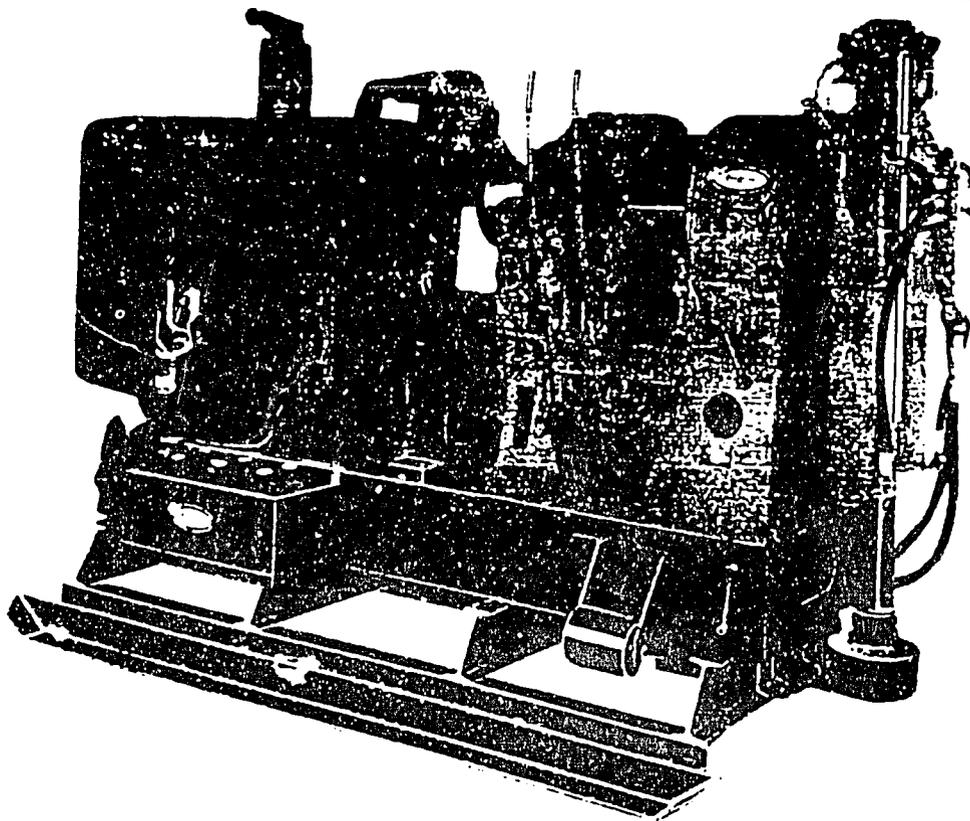
3.1.- EQUIPOS DE PERFORACION DE EXPLORACION.- Como complemento a los estudios geohidrológicos es recomendable por su bajo costo y la información que porporcionan, exploraciones con equipos denominados "Perforadoras de Exploración o Diamante". Los hay de 3 tipos: percusión, rotación y combinados. Con los primeros se logran diámetros de \pm 50.8 mm (2") y las profundidades que se alcanzan son del orden de 80 m. Con los equipos de rotación, dependiendo de su capacidad, se puede perforar a más de 500 m en diámetros que varían de 57.15 mm (2 1/4") a 114.3 mm (4 1/2"), y las combinadas, cuyo avance es más rápido, tienen limitaciones en sus profundidades (\pm 120 m) y diámetros de agujeros no mayores de 101.6 mm (4").

Como para fines exploratorios es necesario que el diámetro del agujero permita la introducción del electrodo del aparato de registros eléctricos, deben emplearse equipos del tipo de rotación.

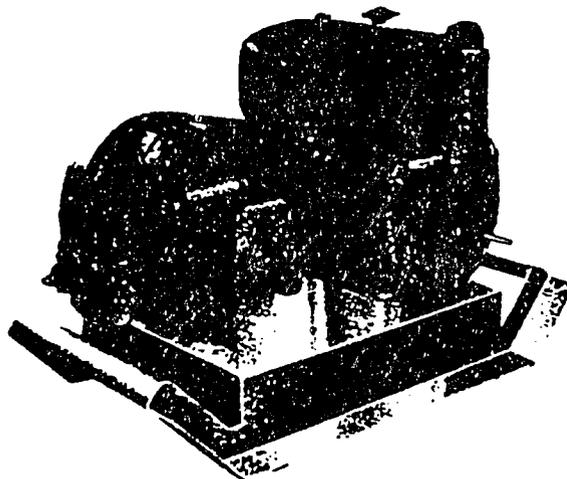
Previos estudios geohidrológicos las localizaciones son fijadas por el geohidrólogo y las profundidades por los sondeos geofísicos, de la correlación de los sondeos, muestras y registro eléctrico, se procede a ampliar la exploración o desecharla si resulta negativa.

Los equipos de percusión, prácticamente obsoletos, constan esencialmente de un tripié de fierro tubular del que pende una polea a través de la cual, un malacate accionado por un motor de gasolina impulsa un cable de acero a cuyo extremo se fija la sarta de perforación. La sarta está formada por una zapata cortadora a la que se acoplan por medio de cuerdas tu

Best Available Document



EQUIPO DE PERFORACION DE EXPLORACION



BOMBA

Best Available Document

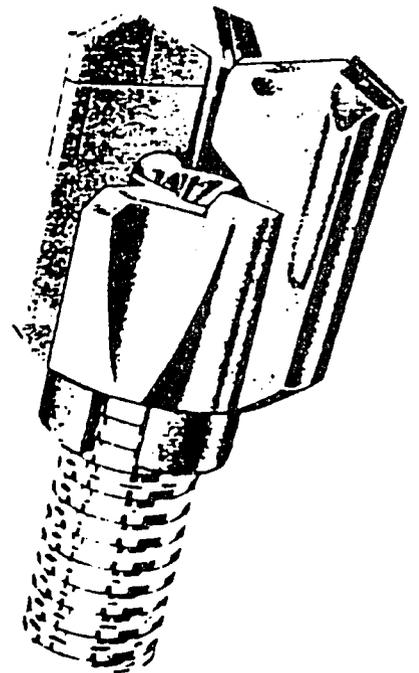
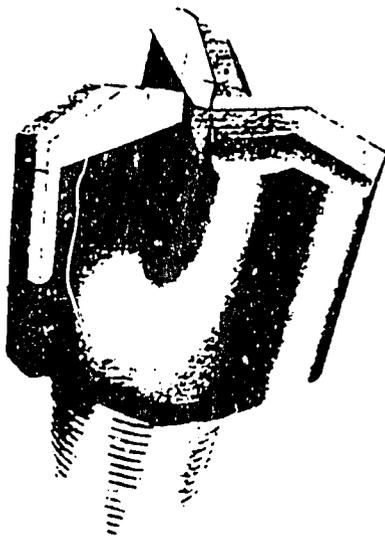
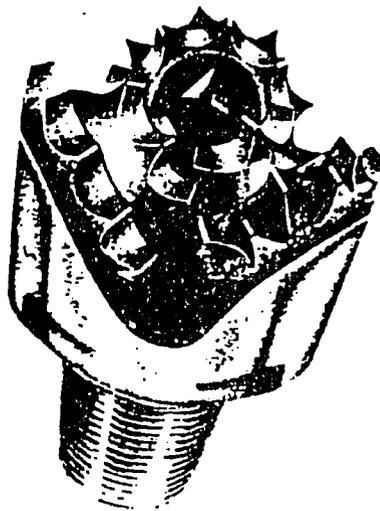
bos huecos denominados varillas. El muestreo se efectúa a través del interior del varillaje golpeándolo con el "martinete" sobre una cabeza golpeadora acoplada. Cuando las formaciones atravesadas son aluviones delezna- -- bles, es necesario ademar la longitud perforada y los registros eléctricos - deben correrse con equipo de rayos gamma.

Los equipos rotatorios existen en el mercado en diferentes capaci- dades, y principalmente se componen de una cabeza rotatoria, accionada -- mecánica o hidráulicamente; un malacate de maniobras; una cabeza de gato, una unidad de potencia de tipo automotriz, de gasolina o diesel, con trans- -- misión de cuatro velocidades principales, misma que puede ser reforzada -- por un sistema "dual"; una bomba tiplez de desplazamiento positivo, condi- cionada a volumen o presión. Además un swivel o cabeza giratoria, varilla de perforación, barriles muestreadores, tubería de ademe, zapatas cortado- ras y brocas de los tipos: tricónico, de mano, de diamante, con refuerzos -- de carburo de tungsteno, rimas, etc.

Estos equipos pueden perforar con brocas de diamante como herra- mienta de corte pudiendo utilizar también barrenas de roles o martillos neu- máticos, empleando lodos, espumantes, productos químicos o aire como -- fluídos de perforación. Cuando se emplea la broca de diamante, para la re- cuperación de muestras se utiliza por su rapidez el equipo denominado "Wi- re Line", cuyas barras de perforación son de pared paralela y con diáme- -- tro interior suficiente para permitir el paso del tubo del muestreador des- de el fondo del barreno hasta la superficie, extrayéndolo por medio de un --

Best Available Document

CORONAS DE DIAMANTE Y BARRENAS



pescador y un cable de acero operado desde la superficie por un malacate, - sin necesidad de extraer toda la sarta en cada toma. Para evitar el desgase excesivo o la ruptura de los diamantes, que repercute en el costo de los trabajos, la máquina debe montarse sobre patines, anclándola durante la - operación, y no sobre un camión, por la inestabilidad que este presenta.

Cualquiera de estos dos sistemas permite la recuperación de mues tras inalteradas; no así el sistema combinado o neumático en el que es nece sario utilizar aire para la recuperación de las mismas, obteniéndose éstas, fracturadas. Este sistema proporciona muy buenos resultados en materiales compactos y secos no así en los de tipo cavernoso o deleznable en los que el avance es lento y a veces nulo.

Best Available Document

3.2.- EQUIPO DE PERFORACION DE PERCUSION.

El equipo de perforación de percusión consta esencialmente de un mástil o torre telescópica. Compuesta de dos secciones fácilmente izables que descansan sobre la máquina al ser transportada; doble línea de elevación una para la operación de las herramientas de perforación o pesca y la otra para cuchareo; un sistema de balancín con biela pitman con accionamiento de cable y una fuente de poder. La máquina se opera a través de controles localizados generalmente en la parte posterior derecha de la unidad y para su transporte rápido puede montarse sobre una estructura de camión o un trailer.

Herramientas de perforación.- Al conjunto de herramientas para la perforación o pesca se le denomina sarta y se compone de trépano, barretón o barra maestra, tijeras y portacable. La unión de las herramientas que forman la sarta se realiza mediante piñón y caja y el empleo de llaves especiales con boca de sección cuadrada. (Ver tarima de Operaciones).

Protector de cable.- El protector de cable es una herramienta complementaria, su forma se ajusta al cuello del portacable y tiene una sección de un cuarto de círculo por donde se desplaza el cable Fig. No. 1

Tiene por objeto evitar el quiebre del cable cuando las herramientas se levantan de la posición horizontal hasta la vertical.

Portacable giratorio.- Fig. No. 2.- Es de sección cilíndrica con una perforación concéntrica de diámetro tal que permite el alojamiento de una

Best Available Document

bala o mandril, que sirve de unión a la línea o cable de perforación con la sarta. Tiene por objeto permitir que la sarta gire después de cada golpe.

Para los trabajos de pesca el portacable que se emplea debe ser fijo. Se recomienda efectuar revisiones periódicas en la unión del cable para evitar que los materiales abrasivos lo desgasten en el cuello. Además en el portacable giratorio frecuentemente deberán limpiarse las perforaciones que existen en su cuerpo para evitar atascamientos y facilitar la rotación.

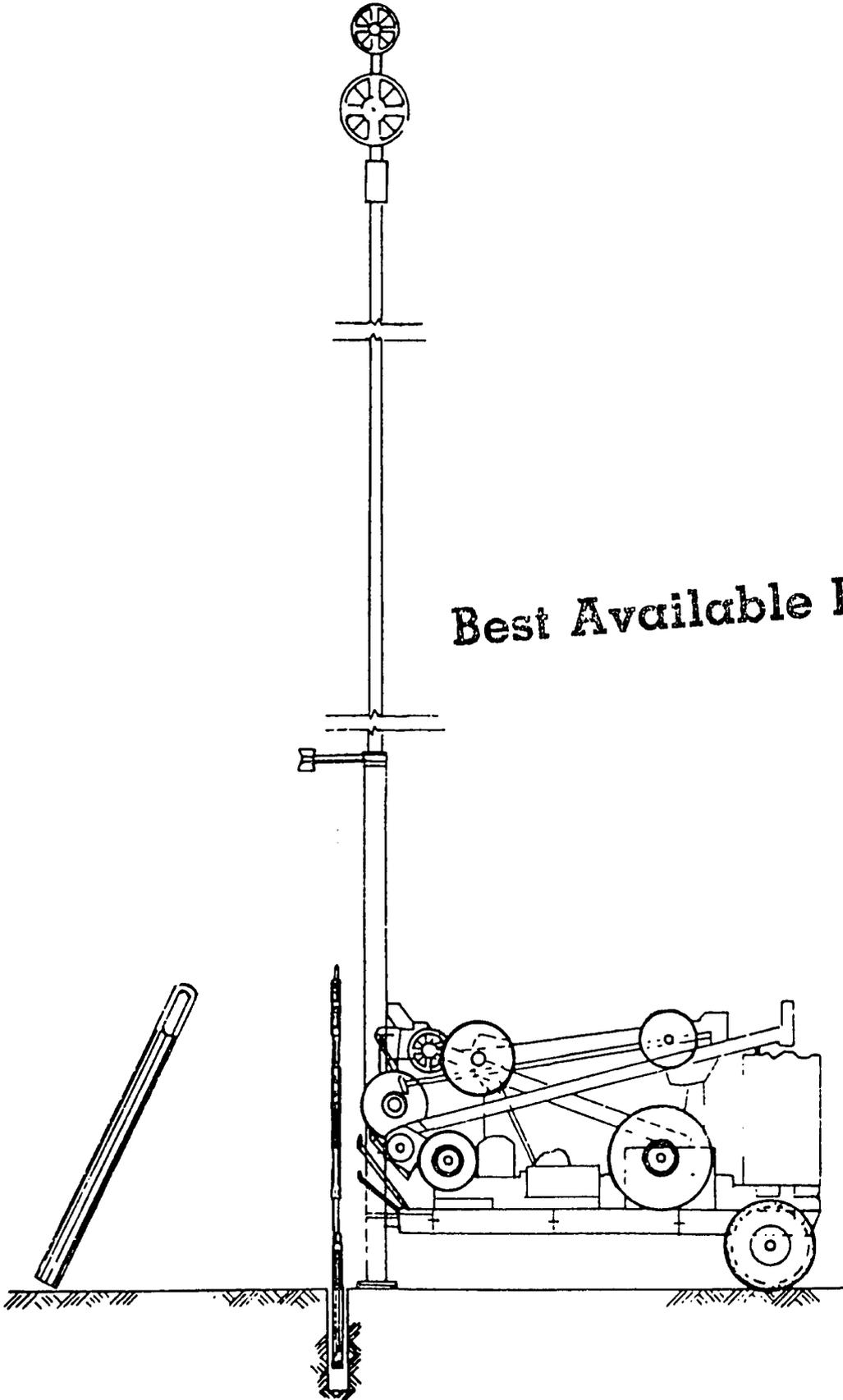
Tijeras de Perforación, ver Fig. No. 3. - Las tijeras de perforación están constituídas por dos eslabones; el superior tiene piñón y caja en el inferior. Su empleo evita pegaduras de la sarta cuando se perforan materiales plásticos, y el del tambor de perforación y los amortiguadores de la máquina cuando son rocosos.

Su posición en la sarta de herramientas es inmediatamente abajo del portacable.

Barretón o Barra-Maestra. - El barretón Figura No.4, proporciona el peso necesario a la sarta de herramienta y se coloca siempre después de las tijeras en los trabajos de perforación. Tiene en su parte superior un piñón que se acopla a la caja de las tijeras y en el inferior una caja para la unión con el trépano. Sus longitudes diámetros y pesos varía de acuerdo con los de la sarta seleccionada y están en función de la capacidad de

Best Available Document

EQUIPO DE PERCUSION
MODELO ACTUAL



Best Available Document

PROTECTOR DE CABLE

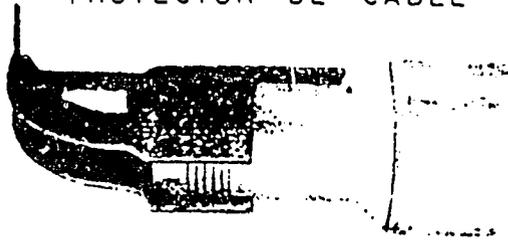


FIG. 1

PORTA CABLE



BALA O MANDRIL



FIG. 2



FIG. 4

BARRETON



FIG. 5

TREPANO



FIG. 3

TIJERAS

Best Available Document

el equipo.

Trépano, Figura No. 5. - Es la herramienta destinada a ejecutar la perforación. Se considera la parte más importante de la sarta de herramientas y se compone de las siguientes partes: piñón, cuello, cuadrado para llaves, hombros, cuerpo, pasos de agua o canales de evacuación y filo cortante.

De acuerdo con los materiales por atravesar se emplean varios tipos de trépano.

Trépano Estandar, Regular o California. - Es el uso más común ya que se emplea para cortar formaciones suaves o duras variando el tipo de afilado de acuerdo con las mismas. Figuras de la No. 6 a la No. 13. Recibe el nombre de California cuando su diámetro es mayor de 203 mm (8"); cuando es menor se le llama regular o estandar.

Trépano Tipo Cruz o Estrella. - Se usa para perforar formaciones fisuradas o inclinadas que tienden a desviar las herramientas de la vertical. El cuerpo de este trépano tiene cuatro pasos de agua y el diámetro de la sección del cuerpo, es ligeramente menor que el área de corte. Los cuatro puntos de corte lo hacen un elemento particularmente efectivo para escariar y enderezar pozos. Para que su empleo sea eficaz debe ser correctamente afilado con ángulos afilados y tener un área de corte máxima, Figura No. 15.

Trépano Corto. - La finalidad del trépano corto es, la de iniciar la

perforación. Es un trépano Regular o California más corto , de menor peso, lo que permite ser guiado con mayor facilidad.

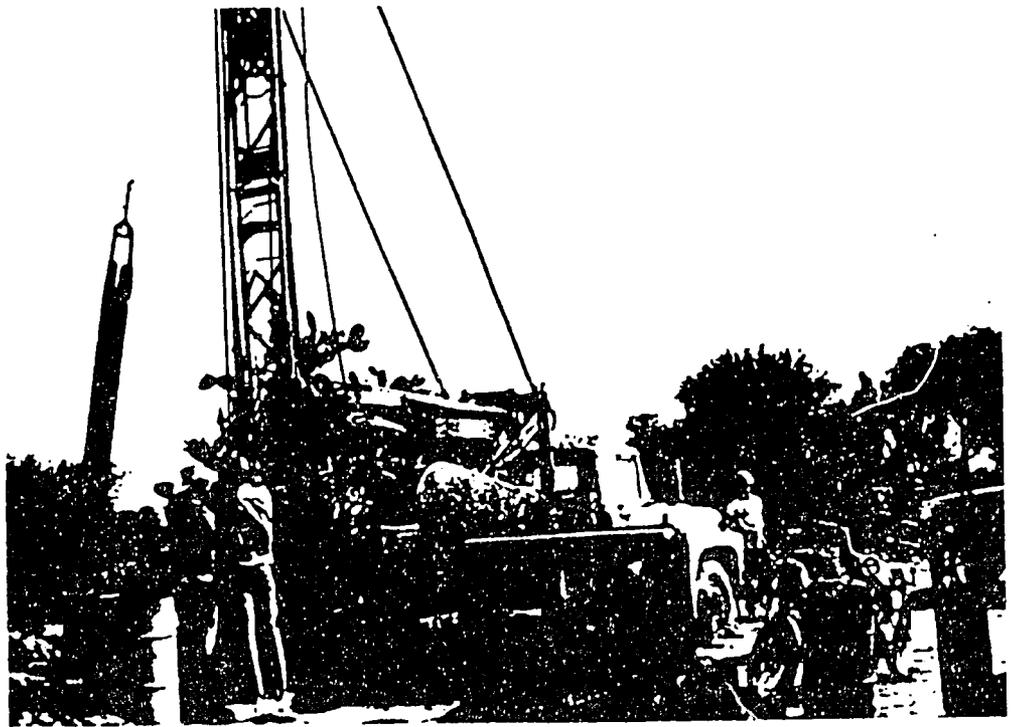
Trépano Torcido. - Es un trépano California Torcido , con el mismo perfil de éste, sus características lo hacen producir un batido mayor. Actúa como una bomba manteniendo en suspensión mayor cantidad de material, sus ventajas de producir perforaciones más derechas, elevan su costo, Figura No. 16.

Recomendaciones para el Arreglo de Trépano. - Ocho importantes factores influyen en el arreglo y método de usar un trépano, para que se adapte al material que se perfora y obtener una penetración más efectiva. Ellos son:

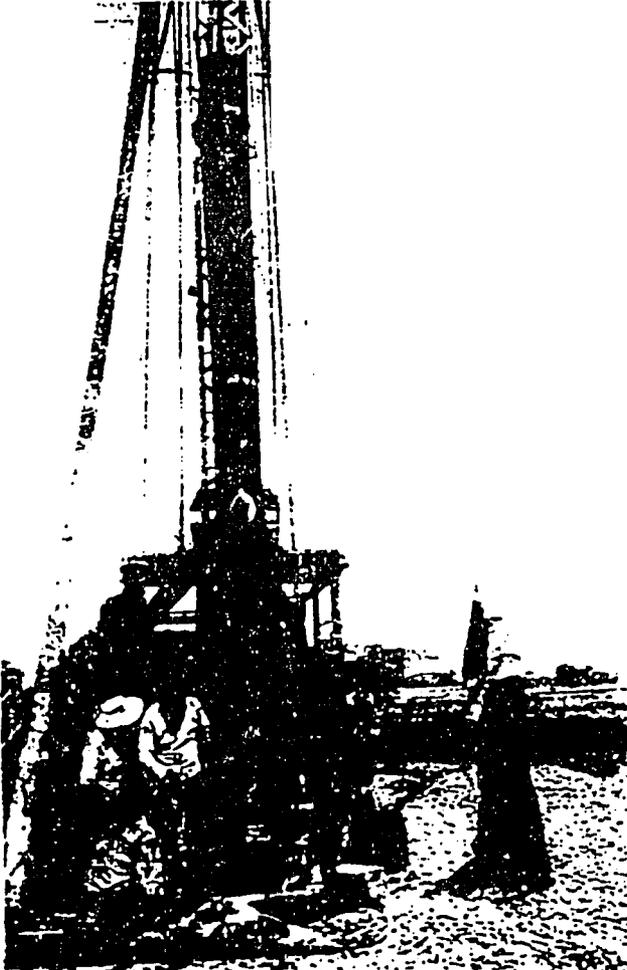
- a) Angulo de luz.
- b) Angulo de penetración
- c) Superficie de desgaste.
- d) Filo rectificador.
- e) Superficie de trituración.
- f) Canal de evacuación.
- g) Perfil de ángulo de penetración.
- h) Sección Transversal del trépano.

Angulo de luz. - Es el formado por la conicidad de la superficie de desgaste y una línea imaginaria normal al trépano, levantada desde el filo rectificador. La Figura No. 6 muestra el ángulo de luz grande y en él falta

Best Available Document



P e r f o r a n d o



Instalando tubería de ademe.

la superficie de desgaste. Una flecha marca el ángulo de luz.

Angulo de penetración. - Está formado por las caras de filo central - en las puntas del trépano, es decir, son los biseles que forma el filo y que sirve para penetrar o romper los materiales en el fondo de la perforación. La Figura No. 8 tiene una amplia superficie de desgaste y ningún ángulo de luz. La flecha indica la superficie de desgaste.

Filo Rectificador. - Es el borde exterior del extremo del trépano y - su medida corresponde a una parte de la circunferencia total. La Figura No. 9 indica un trépano que tiene un 80 % del filo rectificador, 40 % de filo rectificador entre cada superficie de evacuación.

Superficie de Trituración. - Es la cara del extremo del trépano y - - aproximadamente corresponde al porcentaje total de la superficie del fondo de la perforación, la flecha indica la superficie de trituración en la parte -- sombreada de la Figura No. 10. El canal de evacuación queda indicado por - el espacio en blanco.

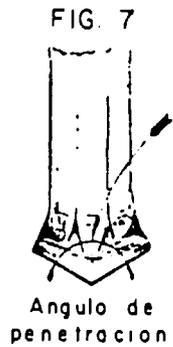
Pasos de agua. - Es la parte de la perforación que no está ocupada por el trépano y a través de los cuales escurren las aguas o el lodo con el - producto de la trituración, cuando trabaja el trépano hacia arriba o hacia a bajo; la flecha indica los pasos de agua sombreados en la Figura No. 11.

Perfil del Angulo de Penetración. - En un trépano puede ser recto o cóncavo y los grados de él se miden por las variaciones angulares que forman los filos con respecto a una línea imaginaria que une sus extremos. - -

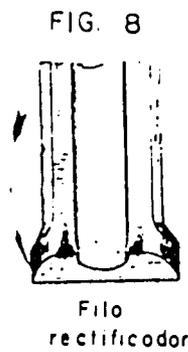
Best Available Document



Angulo de luz



Angulo de penetracion



Filo rectificador

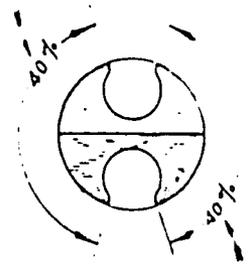


FIG. 9

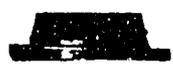
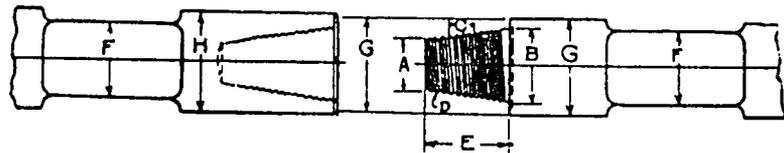


FIG. 14a

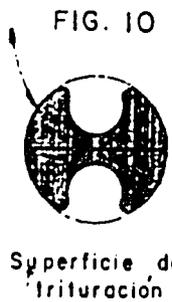


FIG. 14b

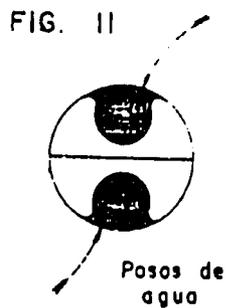
FIG. 14



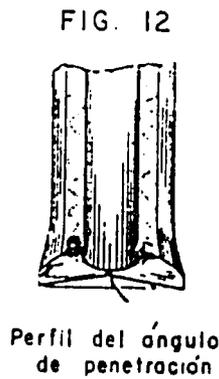
- A - B : Tamaño nominal de la unión
- C : Número de hilos por pulgada
- D : Cuerda
- E : Longitud del piñón
- F : Tamaño del cuadro
- G : Diámetro cuello (piñón)
- H : Diámetro cuello (caja)



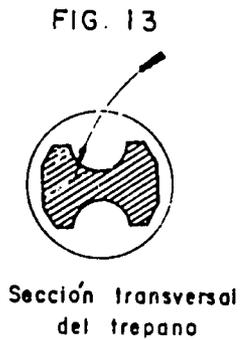
Superficie de trituración



Posos de agua



Perfil del ángulo de penetración



Sección transversal del trepano



FIG. 15



FIG. 16



FIG. 17



FIG. 19



FIG. 18

La Figura No. 12 indica un perfil del ángulo de penetración (filo) cóncavo.

Sección Transversal del Trépano. - Es un corte efectuado en un extremo del trépano, cuando aún su estructura no ha sido modificada. La flecha indica una sección transversal. La Figura No. 13 señala la sección transversal de un trépano cortado a pocos centímetros del extremo del filo.

Uniones de Herramientas. - Las uniones de las herramientas se realizan mediante una rosca cónica (piñón) que ajusta en una rosca hembra (caja). Las cuerdas se fabrican de modo que ajusten perfectamente sin dejar espacios libres. Se insiste en tener especial cuidado en el manejo de las cuerdas para mantenerlas en perfectas condiciones. Deberán conservarse limpias y libres de óxido. Si las caras de fricción parte final de las cuerdas, estuvieran oxidadas o presentaran una superficie áspera, deberán limpiarse o pulirse con piedras de esmeril suave, pómez o lija fina hasta que queden totalmente suaves. Las superficies estarán pulidas a nivel y las uniones entre las herramientas serán herméticas.

Cuando las herramientas no estén en uso, deberán cubrirse todas sus uniones lubricadas con el protector correspondiente. Figuras 14-a y 14-b.

Llaves de cuadro para las Herramientas. - Cada perforadora debe contar con un juego de dos llaves para las herramientas; una derecha y otra izquierda. La abertura de la boca de las llaves, ajusta con el cuadra-

do de las herramientas de perforación y pesca. Para apretar una unión, se coloca la llave izquierda en el cuadrado inferior y la derecha en el superior - invertidas se emplean para aflojarla.

Cucharas. - En los trabajos de perforación con máquina de percusión, el material triturado se extrae del pozo con una cuchara o cubeta.

Cuchara de Válvula Plana. - Este tipo es el más común y está formada por un tubo de diámetro inferior al del pozo; en su parte superior tiene soldada o remachada una asa que se une al cable de la línea de cuchareo y en la parte inferior una válvula de charnela que tiene un movimiento de bisagra. - Fig.No.17. Al sumergirla en el lodo, la válvula se abre y penetra el material, cerrándose por el peso de éste al levantarla.

Cuchara de Válvula de Dardo. - La cuchara con válvula de dardo es la más usada en la operación de cuchareo. Figura No. 18. La válvula de dardo abre cuando ésta entra en contacto con el lodo del fondo del pozo.

Cuando se levanta la cuchara, la válvula de dardo cierra automáticamente, atrapando el contenido.

Bomba de Arena. - La bomba de arena se usa para extraer cortes de arena y grava donde la cuchara de dardo no será capaz de levantar los materiales. Está compuesta por un tubo con una válvula de gozne y un émbolo que trabaja dentro del cuerpo de la bomba. Fig. No. 19. El cable de cuchareo, se acopla a la parte superior del vástago del émbolo. El que al levantarse ya estando dentro del pozo succiona el material dentro de la bomba. Cuando el -

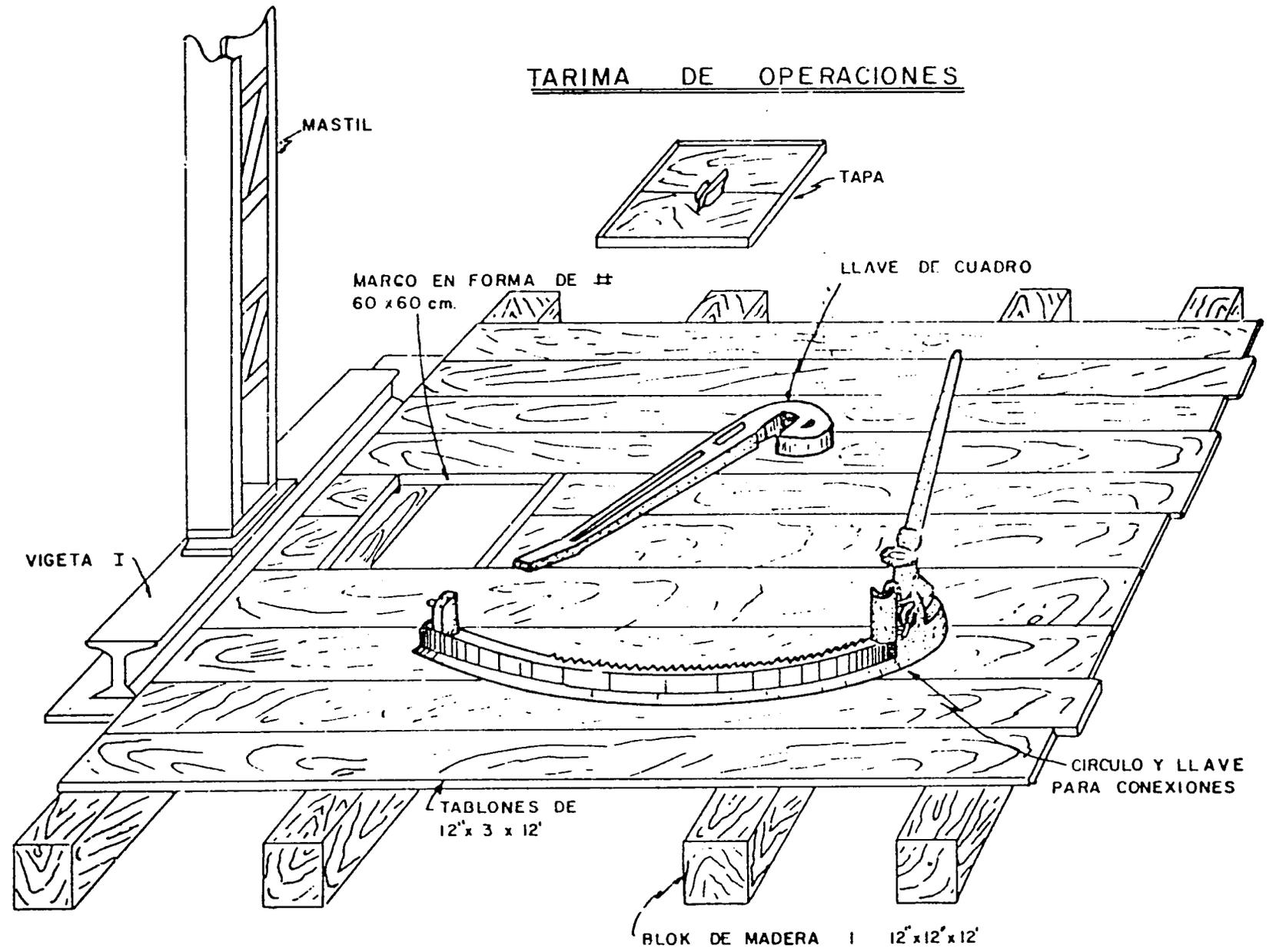
émbolo llega a la parte superior del compartimiento, se levanta la bomba y la válvula se cierra. Para vaciarla, se desconecta la válvula.

Plataforma de Operación. - Su función principal es facilitar las operaciones superficiales de perforación tales como conexión y desconexión de las herramientas, sin peligro de que éstas puedan caer dentro del agujero, movilidad del operador en los trabajos de entubado, colocación de grava, etc. en condiciones de limpieza de la zona de trabajo.

La plataforma o tarima de operación deberá armarse precisamente frente al equipo. Consiste esencialmente en una serie de tablones de 3.65 m (12") de longitud por 305 mm. (12") de ancho y 76 mm (3") de espesor que descansan unidos sobre cuatro bloks de madera de sección cuadrada de 305 mm (12") por lado y 3.65m (12') de longitud. Al armarse se dejará sin cubrir el espacio que ocupa la boca del pozo; encima de ella se coloca un marco de fierro ángulo de dimensiones apropiadas y a fin de proteger el pozo cuando no se encuentre en operación, también se construye con un contra-marco de las mismas medidas, que sirve de tapa con la cual se cubre.

Best Available Document

TARIMA DE OPERACIONES



EQUIPO DE PERFORACION TIPO ROTATORIO.

3.3.- EQUIPO DE PERFORACION TIPO ROTATORIO.

Una máquina de tipo rotatorio para la perforación de pozos profundos consta de las siguientes partes, así como un equipo complementario que se describe a continuación:

Torre o mástil de perforación, una mesa rotaria y una plataforma -- donde se instalan malacates con tambores para trabajo y cucharazo, una bomba de lodos y una caja de transmisión de potencia.

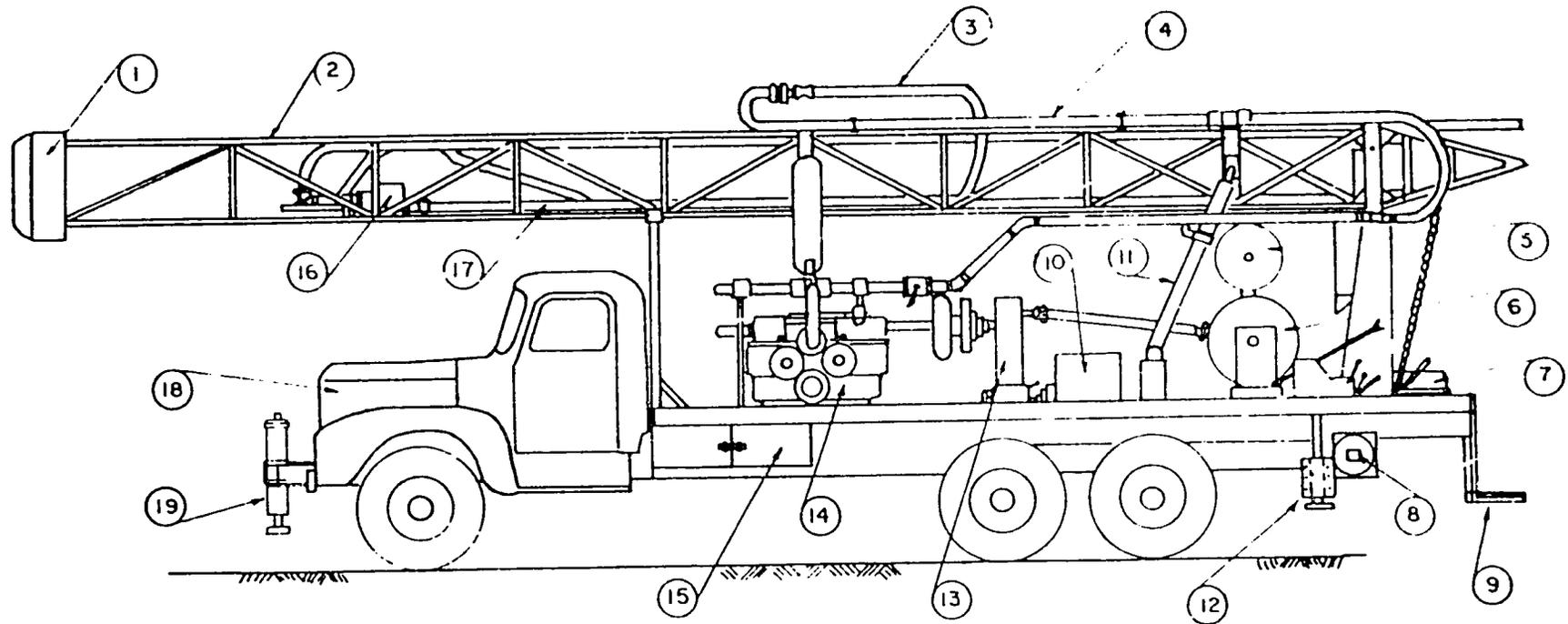
La unidad deberá tener tomas de fuerza para transmitir la potencia -- del ó de los motores a la bomba de lodos, a los tambores, la mesa rotaria y el sistema de alimentación de la presión descendente (pull-down), pudiendo -- reemplazar éste por el sistema de barras de peso (drill-collars), que a dife -- rencia del pull-down en el que se ejerce la presión en la parte superior de -- la sarta de perforación, los drill-collars van inmediatamente después de la -- barrena, originando con ésto que no haya flambeo de la sarta de perfora -- -- ción.

TOMA DE FUERZA.- Puede ser del tipo de flecha estriada dentro de una caja con baño de aceite, capaz de transmitir íntegra la potencia del motor a la perforadora por medio de una cadena de rodillos.

BOMBA DE LODOS.- Las bombas son del tipo pistón, doble acción, -- llamada duplex, bombean lodo por los dos lados del pistón. Con carrera de -- desplazamiento positivo, de manufatura standard en cilindro, camisas, vál -- vulas, vástagos y pistones.

Cuenta además con cámara de alivio, válvula de seguridad, medidor-

EQUIPO ROTATORIO AUTO-TRANSPORTADO



- | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 - CORONA | 9 - PLATAFORMA | 16 - SWIVEL |
| 2 - MASTIL | 10 - TRANSMISION HIDRAULICA | 17 - KELLY |
| 3 - MANGUERA DE PRESION | 11 - CILINDROS HIDRAULICOS | 18 - UNIDAD DE POTENCIA |
| 4 - STAND PIPE | 12 Y 19 - GATOS NIVELADORES | |
| 5 - TAMBOR DE CUCHAREO | 13 - CAJA DE TRANSMISION | |
| 6 - TAMBOR DE PERFORACION | 14 - BOMBA DE LODOS | |
| 7 - MESA ROTARIA | 15 - CAJA DE HERRAMIENTAS | |
| 8 - PULLDOWN | | |

de presión del aceite y válvula mezcladora de lodos. La potencia se transmite a la bomba por medio de bandas "V" o cadena de rodillos.

CAJA DE TRANSMISION.- De construcción de acero, encerrado en baño de aceite, accionada por cadena de rodillos para transmitir potencia a la mesa rotaria, tambores, sistema de presión descendente (pull-down), bombas hidráulicas de aceite y todos los mecanismos.

UNIDAD DE POTENCIA.- Consta de uno o dos motores diesel, fabricación standard, provisto de cubiertas laterales, arranque eléctrico, generador, filtros de aire, filtros para aceite, gobernador de velocidad variable, mofle, tablero de instrumentos y embrague.

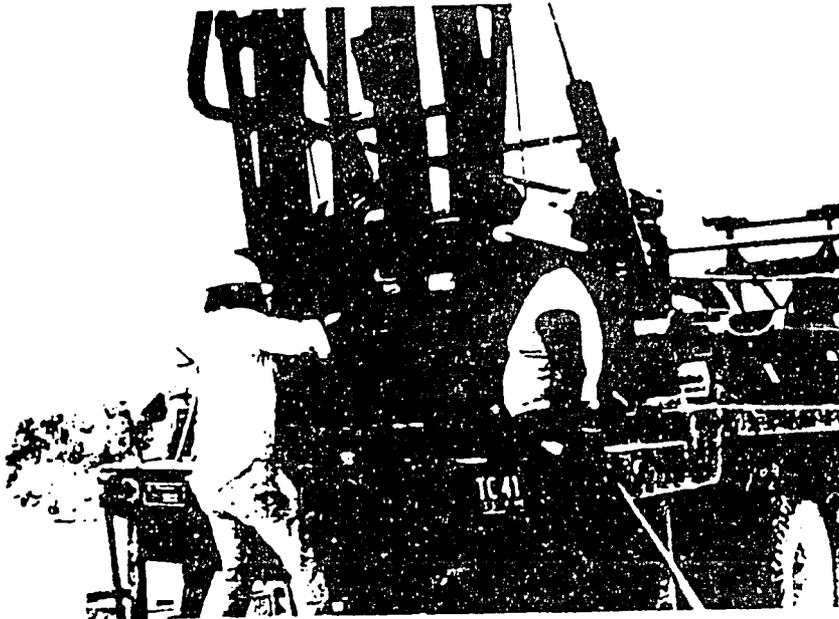
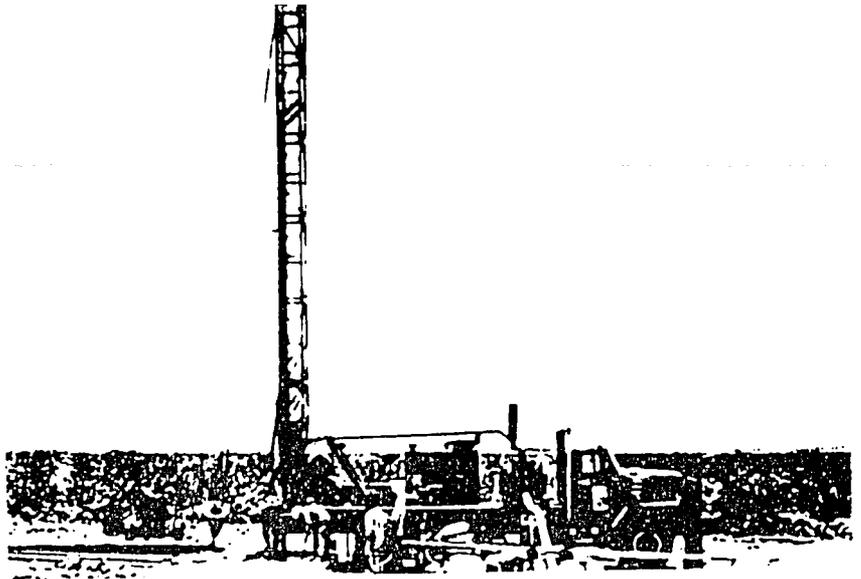
TAMBORES DE TRABAJO.- La unidad está equipada con un tambor de doble trabajo, con dos malacates independientes montados en la misma flecha, la palanca del freno de la línea de perforación principal está equipada con un tornillo de ajuste de alimentación que permite mantener con precisión el peso correcto de la línea de perforación sobre el material.

TAMBOR DE CUCHARERO.- Este se encuentra colocado encima del conjunto del malacate principal, montado sobre baleros pre-lubricados, la alimentación de fuerza se tomará de la flecha del malacate principal a través de una transmisión de cadena de rodillos el embrague, el freno y la transmisión podrán estar protegidos contra los elementos por medio de placas metálicas.

MESA ROTARIA.- La función de la mesa rotaria es transmitir el movimiento giratorio al kelly a la tubería de perforación y a la barrena. Su

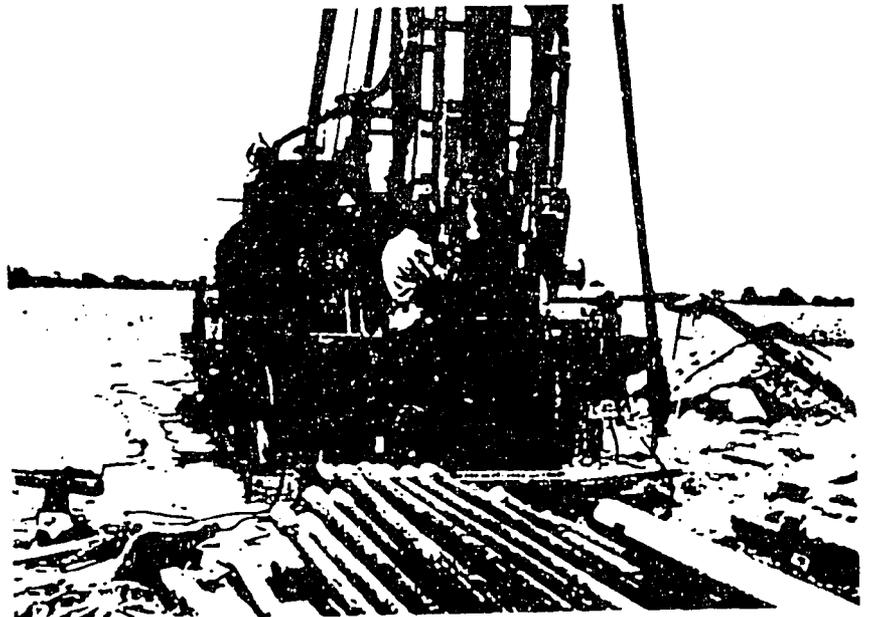
Equipo de Perforación

Rotatorio



Quebrando tubería
de perforación

Colocación de tubería -



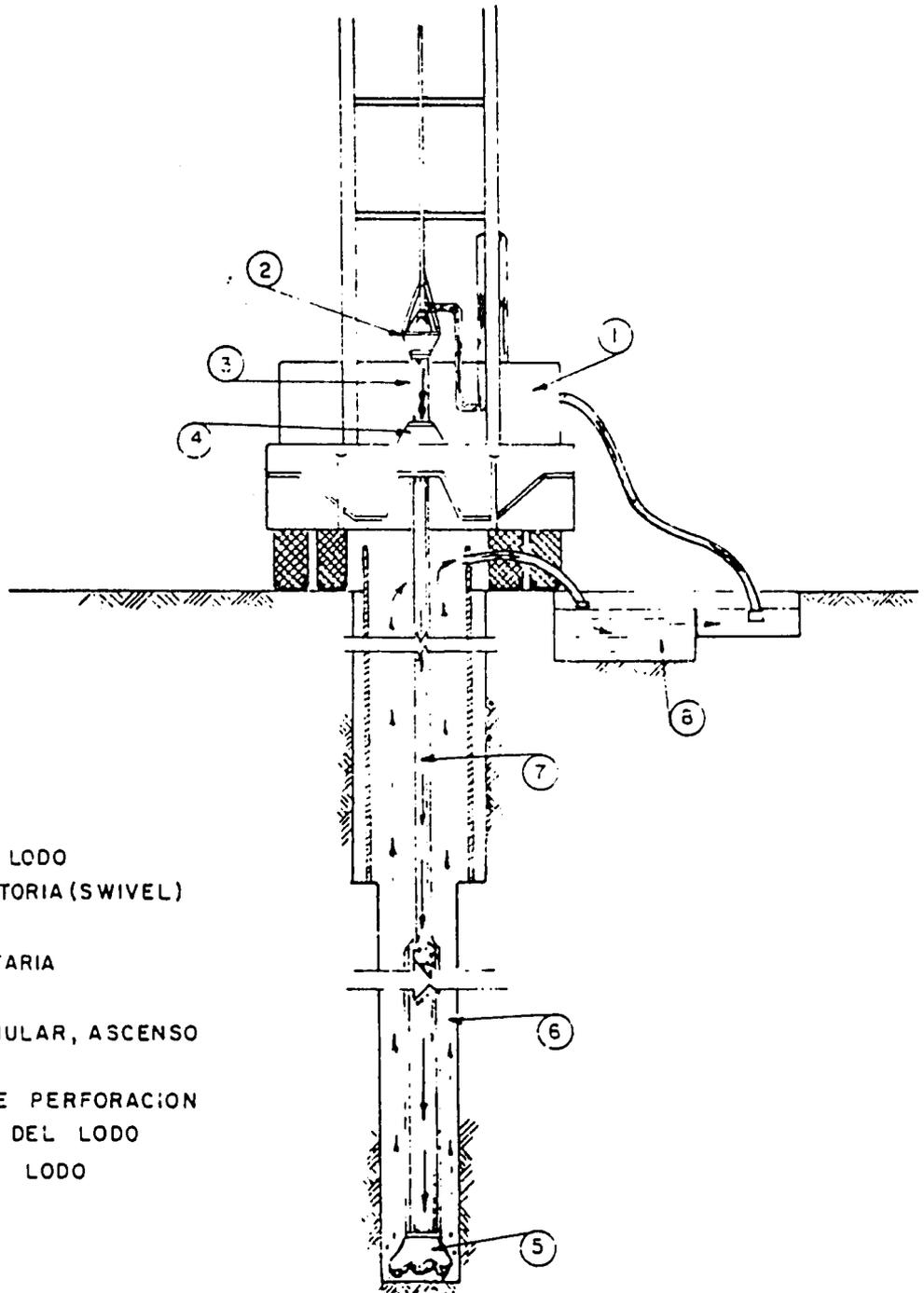
construcción será para trabajo pesado, totalmente cerrada, con lubricación por baño de aceite, debiendo tener varias velocidades transmitidas mediante engranes de corte helicoidal montados sobre baleros cónicos de construcción extra-pesada, tratados térmicamente para soportar esfuerzos severos. La mesa podrá deslizarse hidráulicamente sobre dos guías, permitiendo retraerla, dejando espacio libre para la colocación de la tubería de ademe.

PULL-DOWN O MECANISMO PARA EJERCER PRESION DESCENDENTE EN LA HERRAMIENTA DE PERFORAR.- Algunas perforadoras se equipan con pull-down, que es un mecanismo manual y automático para ejercer presión descendente sobre la sarta de perforación. El mecanismo consta de dos cadenas de eslabones con paso de 50.8 mm (2") acopladas directamente a los extremos inferiores de un swivel especial con yugo y a la parte superior del mismo por un cable; el mecanismo es accionado por una bomba émbolo de volumen variable y un motor hidráulico para trabajo pesado -- montado directamente sobre un reductor de velocidad de engranes planetarios que proporciona una transmisión eficiente de la fuerza y la presión descendente ajustable entre 0 y 22 321 Kg (0 y 50 000 Lbs), dependiendo del modelo y capacidad del equipo. Con el objeto de evitar flambeos por esfuerzos de compresión sobre la sarta se recomienda limitar su uso a formaciones -- superficiales donde no es posible aplicar peso con drill collars.

LASTRABARRENAS O DRILL COLLARS.- Están constituídos por -- tramos de material tubular de pared gruesa, generalmente de sección circular y diámetros normales de 152 mm (6") y 203 mm (8"). Su finalidad es --

Best Available Document

SISTEMA DE LODOS
EQUIPO ROTATORIO
CONVENCIONAL



- 1 - BOMBA DE LODO
- 2 - UNION GIRATORIA (SWIVEL)
- 3 - KELLY
- 4 - MESA ROTARIA
- 5 - BARRENA
- 6 - ESPACIO ANULAR, ASCENSO DEL LODO
- 7 - TUBERIA DE PERFORACION DESCENSO DEL LODO
- 8 - FOSAS DE LODO

aplicar peso a la barrena; en sus extremos tiene uniones (tool-joints) de do-
ble cara o piñón y cara; siendo las más usuales de 114.3 mm (4 1/2") ó - -
168.3 mm (6 5/8") API REG. Su número, longitud y peso estarán en función
de las características del mástil.

MASTIL. - Será construído de acero tubular rolado en frío, soldado -
eléctricamente, reforzado con tirantes cruzados para máxima resistencia, -
con una guía de canal para retraer la unión giratoria o "swivel" y flecha de
transmisión o "kelly" hacia su parte posterior cuando no esté en operación.

Su altura mínima será del orden de 11 m contados desde la mesa ro-
taria hasta la corona la que tendrá una capacidad en conjunto igual a la re-
sistencia del mástil y su capacidad bruta no será menor de 54 400 Kg. - - -
(120 000 Lbs). La corona estará equipada con las poleas necesarias para --
usar 4 líneas de enrollamiento para cada línea de levante y una polea senci-
lla para la línea de cuchareo.

El mástil se levantará y bajará hidráulicamente, conteniendo topes -
de seguridad para prevenir una caída en caso de falla en la línea hidráulica.
Es conveniente dotarlo con juego de luces de operación nocturna.

UNION GIRATORIA O SWIVEL. - Es una caja cerrada con cojinetes -
para aceite de alta capacidad a los esfuerzos axiales, un juego de sellos de -
grasa generalmente formados por anillos de metal, hule o fibra que forman
un sello contra el elemento giratorio y dispuestos de tal manera que los ma-
teriales abrasivos de los lodos de perforación no entren en contacto con los
cojinetes. Sus funciones principales son: suspender el kelly, la tubería de --

Best Available Document

perforación, permitir la rotación libre de éstos y el paso de los fluidos de perforación. Está equipada con asa basculante la que a la vez se suspende del gancho de la polea viajera. En su parte superior tiene una tubería de curvatura suave denominada "cuello de ganso" al cual se conecta la manguera de alta presión de lodos. El conducto de flujo en el interior del swivel permite sin restricción el paso de los fluidos de perforación (lodos, aire, espuma, etc.). Están diseñados con varias capacidades de carga de acuerdo con el peso de la tubería, soportando a veces pesos superiores a las 250 Tons. a 300 r.p.m. bajo 3 000 psi de presión interior.

LLAVES PARA APRETAR Y DESCONECTAR TUBERIAS. - De acuerdo con la capacidad de los equipos, pueden ser una o dos llaves. En el primer caso, se localiza en la parte trasera de la estructura de la perforación y central e inferior del mástil; montada sobre un balero, gira sobre un eslabón articulado permitiendo fácilmente apretar y desconectar las uniones de la tubería de perforación. En el segundo caso, son dos y se encuentran a los lados del mástil, suspendidas y balanceadas por unos contrapesos. Se operan generalmente utilizando la "cabeza de gato" y un cable de acero o el de maniobras. Una de ellas se conecta y sujeta el piñón de la tubería de perforación o sustituto cuando esa parte de la sarta esté formada por tubería de perforación y drill collars y la otra, la caja, misma que gira mediante el impulso de rotación de la mesa rotaria produciendo el desenrosque. También reciben el nombre de llaves "Wilson" o "BJ" de acuerdo con la marca del fabricante y de "quijada" por la forma que tiene.

ESTRUCTURA. - Es de acero estructural para trabajo pesado, soldada eléctricamente con miembros cruzados y reforzados. Sobre ella se montan la bomba de lodos; los malacates con tambores para trabajos y cuchareo; el mástil y los cilindros hidráulicos para su operación; la mesa rotaria y opcionalmente un compresor y un motor adicional al del camión o dos motores, de acuerdo con el modelo y capacidad del equipo, así como los controles, tablero de instrumentos, caja para herramientas, etc. Bajo la misma, se instalan las cajas de transmisión, tomas de fuerza y demás accesorios para la correcta e eficiente operación y trabajo del equipo. El piso de los pasillos es de lámina de acero antiderrapante de espesor adecuado.

MANGUERA PARA SWIVEL. - Construída de tres capas, reforzada con alambre y con conexiones en uno de sus extremos a la unión giratoria (swivel) y en el otro al stand pipe.

MANGUERA DE SUCCION. - Reforzada con trama de alambre, equipada con niples en ambos extremos, colador y válvula de pie en uno de ellos, sirve para succionar el lodo de perforación.

TUBERIA DE PERFORACION. - Usualmente se emplea en tramos de 6.10 m (20') ó 9.14 m (30') con juntas (Tool Joints) en sus extremos de caja y piñón generalmente de 3 1/2 IF ó 4 1/2 FH con Normas y Especificaciones API, grado "D"

CABLES. - Se emplean cables con tres finalidades; para perforación, para cuchareo y para maniobras; son de acero de arado mejorado, preferrido

100)

mado con alma de fibra, para perforación, no rotario, construcción - - - -
18 x 7 (6/1); para cuchareo, torcido derecho, construcción 6 x 7 Filler. -
Se emplean dos tipos de cables para maniobras; uno de acero y otro de ma-
nila. Sus diámetros y longitudes dependen del tipo y capacidad del equipo de
perforación.

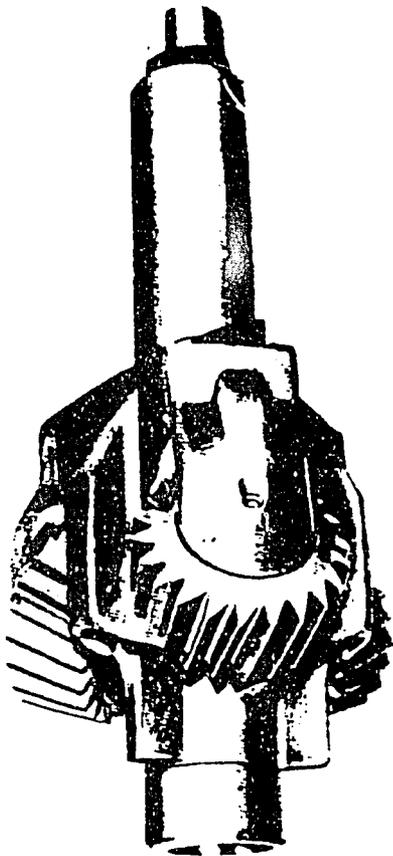
Para alargar la vida, al disminuir la fricción y reducir el desgaste-
de los cables de acero es conveniente lubricarlos periódicamente, utilizan-
do aceite de alta calidad, capaz de penetrar en cada torón y cubrir todos --
los alambres.

BARRENAS. - Es el elemento cortante de la sarta de perforación -
mediante el cual se va profundizando el pozo mientras se efectúa la perfo-
ración. Las barrenas se conectan a la tubería de perforación mediante pi--
ñones de 114.3 mm (4 1/2") API hasta 229 mm (9") de diámetro y de - - -
168.3 mm (6 5/8") en adelante. Existen de varios tipos. Antiguamente se-
empleaban las de "cola de pescado", de "discos" y de "alas". Las denomi-
nadas de "roles" o de "conos" son las usadas en la mayor parte de los po--
zos que se perforan actualmente. Los elementos cortantes (roles o conos)
rompen, cortan o trituran las formaciones al contacto de ellas al girar im-
pulsadas por la columna de perforación. Las barrenas de "roles" para for-
maciones suaves, tienen sus dientes largos y espaciados y para formacio--
nes duras y abrasivas, sus dientes son cortos con mínima separación.

A continuación se expone el demás equipo complementario que debe
rá tener consigo una máquina perforadora.

Best Available Document

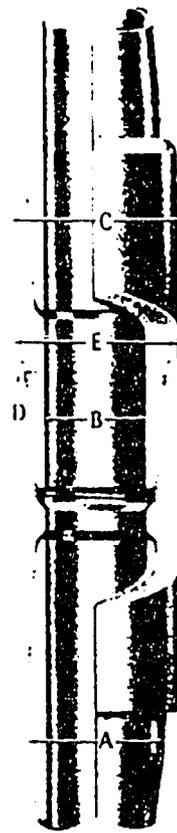
86



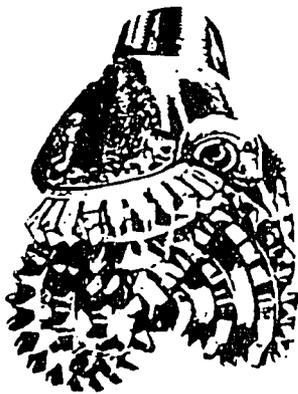
RIMA



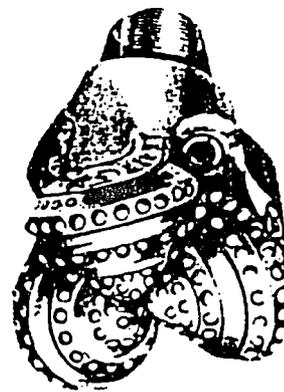
CORTADOR



JUNTA DE TUBERIA DE PERFORACION



BARRENA DE DIENTES



BARRENA DE BOTONES

- 1.- Sustitutos
- 2.- Conexión para levantar tuberías de perforación
- 3.- Pistola para mezclar lodos
- 4.- Llaves de cadena, Viscosímetro marsch
- 5.- Juego de herramientas para mantenimiento
- 6.- Juego de mordazas para romper conexiones
- 7.- Pescador, Rimas, Cucharas con válvula plana
- 8.- Extinguidor de fuego, Enfriador de agua, Botiquín.

3.3.1.- LODOS DE PERFORACION. - El empleo de lodos en los trabajos de perforación por el sistema rotatorio, es de gran importancia, por lo tanto, se han hecho estudios y registros cuidadosos sobre el comportamiento de diversas sustancias y se ha obtenido como resultado, el ahorro de tiempo y la simplificación de problemas en estos trabajos.

COMPOSICION. - La arcilla y el agua son los principales constituyentes del lodo de perforación; este material se encuentra en la naturaleza en forma de sedimentos no consolidados, que se han reducido por la alteración de las rocas que contienen silicatos.

Dada la naturaleza de algunas arcillas, los lodos que forman, no tienen las propiedades adecuadas para la perforación; por lo que es indispensable agregar los otros materiales que les imparten determinadas propiedades, según lo requiera el caso. Químicamente se compone en su mayor parte de silicatos de aluminio hidratado, que varían en porcentajes de sílice, alúmina y agua; también se presentan como impurezas algunos óxidos metálicos; por lo que no pueden considerarse como minerales de composición fija; sino por el contrario, se clasifican en dos grupos: el de las caolinitas ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) y el de las montmorillonitas ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$).

El caolín es la arcilla más común, a sus partículas se les denomina: suspensoides o coloides hidrófobos porque tiene poca afinidad con el agua

y solamente forman suspensiones estables si las cargas individuales son lo suficientemente altas para evitar la coagulación; este tipo de coloide no se dilata con el agua.

Los emulsoides o coloides hidrófilos por el contrario, tienen gran afinidad con el agua; cada partícula emulsoide se hidrata protegiéndose por una pequeña película protectora de agua; este tipo de arcilla corresponde al grupo de montmorillonitas (silicato complejo de aluminio) y el miembro más conocido y empleado en la fabricación de lodos es la bentonita.

FUNCIONES DE LOS LODOS DE PERFORACION. - En la perforación rotatoria el fluido circulante tiene determinadas funciones que cumplir, las cuales se mencionan en orden de importancia.

EXTRACCION DE LOS DETRITOS. -La elevación de los detritos del fondo del pozo a la superficie depende principalmente del mantenimiento de la densidad, viscosidad y velocidad del lodo entre la tubería de perforación y las paredes del pozo, siendo factores importantes el tamaño y la densidad de los detritos (a mayor densidad, viscosidad y velocidad del lodo, la extracción será más efectiva).

Las partículas sólidas suspendidas en el fluido circulante durante la perforación tenderán a hundirse, dicho hundimiento será mayor mientras más grandes o más densas sean las partículas; el lodo arrastrará los detritos cuya velocidad de hundimiento es menor que la suya en el espacio anular. En condiciones de flujo turbulento la tendencia a hundimiento disminuye.

nuye y el fluido mantiene en su seno determinada cantidad de detritos gruesos y pesados logrando ascenderlos hasta la superficie, lo que no ocurre si el flujo es lineal; no por esto debe usarse un lodo muy viscoso y denso, pues acarrearía entre otros problemas, la difícil decantación de los detritos en el canal y presa de lodo.

IMPERMEABILIZACION Y ENJARRE DE LAS PAREDES DEL POZO

Una justificación práctica del uso de lodos como fluidos circulantes, es evitar derrumbes de las formaciones no consolidadas. El enjarre debe ser impermeable y delgado para permitir el paso de las herramientas de perforación y asegurar la estabilidad de las paredes del pozo, ya que un enjarre muy grueso presenta los siguientes problemas: empaque de la barrena, destrucción del enjarre cuando se saca la tubería, derrumbes de las paredes en formaciones arenosas por pérdida de agua en el fluido; reducciones del diámetro del pozo en las lutitas, debido a la propiedad que tienen éstas de aumentar de volumen cuando se hidratan, haciendo que se pegue la tubería de perforación.

Como el enjarre es el resultado del efecto de filtración del lodo de perforación al ser forzado a penetrar en la formación, el espesor del enjarre depende de la diferencia entre las presiones: la hidrostática de la columna de lodo y la del fluido contenido en la formación, así como de las propiedades tanto de la formación como las coloidales del lodo. Un lodo pesado con gran cantidad de arcillas en suspensión, deposita en las pare -

des del pozo, más arcilla que un lodo pesado con poco porcentaje de material arcilloso; un flujo laminar permite el enjarre, en cambio un flujo turbulento excava y erosiona las paredes.

REFRIGERACION DE LA BARRENA. - Como consecuencia de las fricciones que experimenta al girar, la barrena sufre calentamientos y desgastes durante el proceso de perforación. La temperatura depende de la velocidad y del peso de la sarta soportado por la barrena. Por lo tanto, una de las funciones de los lodos es reducir el desgaste, absorbiendo el calor a través de la circulación y mientras menos porcentaje de arena contenga, más efectiva será su función de refrigeración.

OTRAS FUNCIONES. - Dentro de las múltiples funciones que cumple el lodo en los trabajos de perforación. Se pueden mencionar:

a) Lubricación de la tubería de perforación. - Durante la operación el lodo evita que la tubería de perforación friccioné directamente contra las paredes del pozo ocasionando desgastes en la misma.

b) Suspensión de los detritos cuando se interrumpe la circulación, para lo cual el lodo debe tener propiedades tixotrópicas.

c) El lodo no debe tener acción corrosiva y su acción abrasiva deberá ser mínima para evitar que el equipo de perforación se deteriore.

DENSIDAD. - La densidad de un lodo de perforación depende de la cantidad y del peso de los sólidos en suspensión; en perforaciones poco profundas del orden a las que nos venimos refiriendo, varía de 1.08 a 1.38; -

sin embargo, hay casos en que se hace necesario el empleo de lodos más densos, por ejemplo, cuando al cortarse formaciones permeables, éstas contienen agua con presión mayor que la hidrostática del lodo, capaz de destruir el enjarre y ocasionar derrumbes en las paredes de la formación y aprisionar la barrena. Lo anterior no se consigue añadiendo arcilla para aumentar la viscosidad y la resistencia gelatinosa del lodo, sino que se hace necesario emplear minerales pesados tales como la barita (Ba SO_4), que además de su baja propiedad coloidal, tiene densidad de 4.5 gr/cc. e imparte a los lodos la de 2.3 o mayores.

CONCEPTOS DE VISCOSIDAD, PLASTICIDAD Y TIXOTROPIA. - -

podemos definir la viscosidad como el grado de fluidez de un líquido. Esta depende de la cantidad y clase de sólidos que contenga en suspensión, es decir, está en razón directa de la cantidad de arcilla presente.

Podemos hacer una distinción entre fluídos viscosos como los aceites, agua miel, etc. que permiten asentamientos de partículas que llevan en suspensión independientemente del grado de viscosidad de ellos; y fluídos como gelatinas, jaleas, lodos, etc. que realmente no tienen una verdadera viscosidad sino una resistencia a la deformación debido a fuerzas o tensiones bajo ciertos límites. Por lo que podemos decir, que ante fuerzas de bajo grado de cizallamiento (corte por deslizamiento), los lodos reaccionan igual que los sólidos pero fluyen como líquido cuando estas fuerzas son suficientemente altas. A esto se le llama plasticidad de un lodo; si el lodo permanece sin ser agitado, el grado de plasticidad aumenta conocién-

Best Available Document

dose esto con el nombre de tixotropía.

La viscosidad se espresa en "centipoises" y es la resistencia que presenta el lodo al corte por deslizamiento debida a la rotación de un cilindro hueco sumergido en el lodo (viscosímetro stromer)

PROPIEDADES COLOIDALES. - La cualidad que tienen los lodos de perforación para formar un buen enjarre, de impermeabilizar las paredes en las formaciones porosas o de la lubricación de la tubería de perforación dependen de sus propiedades coloidales. Estas propiedades a su vez dependen de la calidad de la arcilla empleada y del contenido de sales que el agua puede tener.

No existe una unidad para medir el valor coloidal de un lodo, pero hay métodos mediante el cual es posible medir el valor coloidal relativo, para prever su comportamiento, así como el control de esa propiedad. El método más empleado es la prueba de enjarre, en la que por una presión determinada, es forzado el lodo a pasar a través de un papel filtro, éste solo permite el paso de cierta cantidad de agua lo que origina la formación de una película.

FLOCULACION. - Si la floculación es la propiedad que tienen las sustancias que se hallan emulsionadas o en disolución coloidal ya que al precipitarse sus partículas no se funden unas con otras.

La floculación de un lodo, disminuirá el grado de dispersión de los coloides permitiendo que estos se agrupen formando agregados que modi - -

can las propiedades de enjarre y viscosidad. El proceso contrario a la - -
floculación es aquel en el que la dispersión de sus coloides es correcta y es
conocido como de floculación (cambio por agitación).

SALINIDAD Y CONTENIDO DE ARENA. - La contaminación del lodo - -
con sales solubles, puede ocasionar serias consecuencias, tales como la - -
floculación, mala calidad del enjarre, gran pérdida de agua y disminución -
de la resistividad del lodo.

Cuando un lodo contiene una considerable cantidad de arena (más del -
5% de su volúmen) resulta perjudicial a los trabajos de perforación, lo que -
puede motivar empaques de la barrena, producir enjarres muy gruesos, - -
grandes pérdidas de agua y deterioro de las partes del equipo en contacto -
con el lodo, tales como la bomba de lodo, líneas, tuberías de perforación, -
etc. El porcentaje de arena puede determinarse sometiendo al lodo a un la -
vado lento con agua, para eliminar la arcilla.

P.H. (POTENCIAL HIDROGENO). - Las variaciones del P.H. de un -
lodo, produce cambios en las propiedades físicas del mismo, tales como su -
dispersión en el agua, viscosidad, resistencia gelatinosa y su acción corro -
siva.

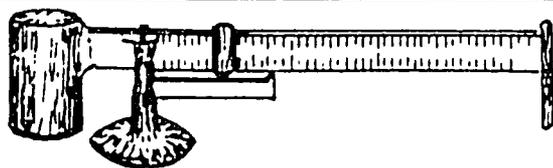
DESCRIPCION Y MANEJO DE ALGUNOS APARATOS PARA EL ESTU
DIO DE LODOS. - Para el estudio de los lodos de perforación, es necesario -
llevar un registro de los valores relativos de las diferentes propiedades du -
rante el proceso de la perforación; para lo cual existen diversos aparatos de-

los cuales, algunos se mencionan a continuación:

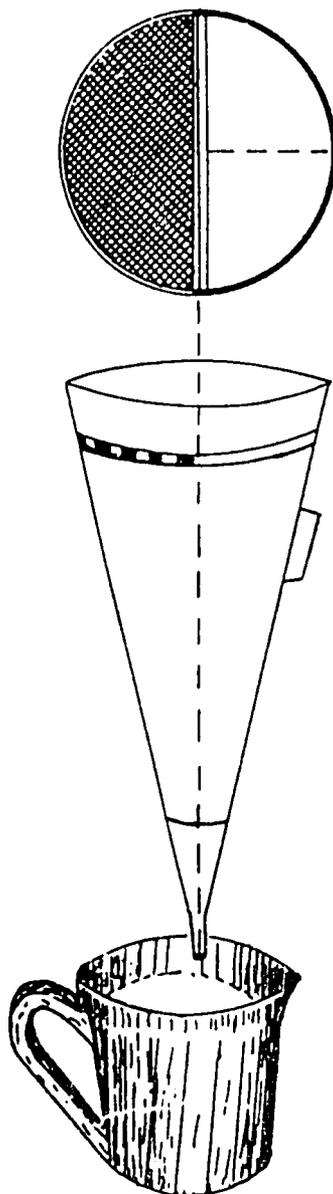
BALANZA DE DENSIDADES. - Para medir la densidad de un lodo, -
cuyos valores para nuestro caso varían entre 2.0 y 2.8 gr/cc, se utiliza la
balanza de tipo baroid, que consiste esencialmente en una base sobre la - -
cual descansan dos brazos desiguales; uno de ellos está formado por una - -
copa de volúmen constante y el otro de una regla graduada en valores di -
rectos de densidad. Para medir la densidad se llena el recipiente con lodo
y una vez enrasado, se establece el equilibrio con un contra-peso desliza -
ble fácilmente sobre el brazo graduado; la lectura indicada por éste será -
el valor de la densidad.

VISCOSIMETRO MARSH. - Se compone de un embudo que tiene una -
capacidad de 1,500 cc y un recipiente de 1,000 cc, comúnmente llamado - -
litro". La viscosidad se mide en segundos, desde el momento en que empie -
za a fluir el lodo contenido en el embudo hasta que ha desalojado en el - - -
"litro" un volúmen de 946 cc; siendo esta la viscosidad estandar según el -
A.P.I.; con agua a 26.5° debe dar una lectura de 26 ± 0.5 seg. pero en Méxi -
co, tomamos el tiempo que tarda en desalojar 1,000 cc por estar de acuer -
do con el sistema métrico decimal.

La viscosidad recomendable para perforaciones con profundidades -
máximas de 500 m debe variar entre 38 y 40 seg.; lográndose con ésto ma -
yor rapidez de perforación, eliminación de arenas lo que evita enjarres fal -
sos que pueden provocar derrumbes, Cuando se perforan gravas o arenas -
gruesas, deberá aumentarse la viscosidad; siendo la recomendable en - -



BALANZA DE DENSIDADES



VISCOSIMETRO DE MARSH

estos casos la que varíe entre 48 y 50 seg.

Para incrementar la viscosidad y mejorar la gelatinosidad en formaciones calcáreas se recomienda el uso de Carbonato de Sodio (Soda-Ash) ó fosfato disódico (neutro), los que proporcionan una mejor película de enjarre.

FOSAS O PRESAS DE LODO.- CANAL DE RETORNO O DE COMUNICACION. - las dimensiones de las fosas o presas para lodos varían a criterio; pero es de recomendarse tengan amplitud suficiente, tanto para el asentamiento de los cortes que se extraen del pozo y que no fué posible retirar en el curso del canal, como para una mejor alimentación de la bomba; presas de 3 x 2-m y 1.5 m de profundidad dan muy buenos resultados.

La "presa de asentamiento" se aconseja tenga profundidad mayor que la de succión con el fin de que cumpla sus funciones: 0.3 a 0.5 m más bajas, - son medidas recomendables en este caso.

El desazolve de las presas debe efectuarse con frecuencia conveniente, para evitar por acumulación, el paso de los cortes de la presa de asentamiento a la de succión y finalmente a la bomba de lodos; ya que esto produce desgastes rápidos en los cuerpos de la bomba (camisas, vástagos y empaques) por lo que, por ningún motivo y bajo ninguna circunstancia debe alimentarse a la bomba de lodos de la presa de asentamiento.

El canal de retorno o de comunicación debe tener una pendiente suave y su desarrollo debe ser tal, que permita retirar los cortes con toda facilidad antes de que lleguen a la presa.

Best Available Document

En el canal que une las dos presas se aconseja colocar un tabloncito vertedor, de tal manera, que permitiendo el paso del lodo de perforación retenga las materias en suspensión que pueda arrastrar el lodo.

En terrenos arenosos o muy permeables, a fin de protegerse contra las filtraciones, se acostumbra revestir tanto las presas como los canales con tabiques o tablones unidos o junteados con mortero de cemento; reduciendo así el costo por alimentación de agua cuando ésta tiene que ser acarreada.

Best Available Document

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

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

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

RELACION AGUA-CEMENTO.

La correcta relación agua-cemento que debe tenerse en cuenta al preparar una lechada, es de gran importancia para la obtención de una buena cementación; al prepararla, es necesario usar la suficiente cantidad de agua para asegurar una completa hidratación e hidrólisis de los elementos constituyentes.

El cemento "común", requiere aproximadamente un 20% de su peso

en agua, para lograr una hidratación completa, pero se ha previsto por - - pruebas de laboratorio, que se necesita casi el doble de esta cantidad de a - gua para que la mezcla pueda ser bombeable. En ocasiones pueden usarse - lechadas gruesas utilizando poca cantidad de agua; estas mezclas ayudan a desplazar el lodo por delante, teniendo menor peligro de contaminaciones - con el fluido de perforación, pero también se corre el riesgo de que el ce - mento empiece a fraguar antes de haber alcanzado la profundidad deseada. - Otras veces la lechada puede ser preparada con un alto porcentaje de agua (70%), la cual puede dar resultados satisfactorios siempre y cuando tenga - el tiempo de reposo suficiente para que frague; pero se tiene el inconvenien - te de que fácilmente pueda infiltrarse a través de formaciones permeables.

EFFECTOS DE CONTAMINACION CON AGUA SALADA. -Las cemen - taciones de pozos se encuentran sujetas a las reacciones químicas que se - originan al contaminarse la lechada con las aguas del subsuelo que conten - gan sales en disolución, y si esta contaminación se efectúa durante el des - plazamiento del cemento, sus propiedades pueden ser alteradas; en casos - extremos, no logra fraguar.

Las soluciones diluidas de cloruros, reducen el tiempo de fraguado; las de calcio y magnesio son mucho más activas que las de sodio en estas condiciones. Por el contrario, el contacto con soluciones sulfurosas en de - terminadas concentraciones, pueden retardar el tiempo de fraguado, así - como pequeños porcentajes de las mismas pueden acelerarlo. Además, la-

contaminación con sales alcalinas influye también en el tiempo de fraguado y al quedar en contacto con ellas, sufrir posteriormente cuarteaduras.

La falta de solidez en el cemento también puede deberse a una expansión después de su fraguado, como resultado de una tardía recristalización de cal y magnesio libres en el cemento mismo; por esta razón, más del 5% de magnesio es considerado perjudicial en el cemento portland. Posibles fallas en las cementaciones ocasionadas por esta reacción química pueden no ser apreciables al principio, pero posteriormente puede presentarse el desmoronamiento y la desintegración del cemento, dando como resultado una cementación defectuosa.

CONTAMINACIONES CON LODOS. - La contaminación de la lechada con el fluido de perforación, reduce grandemente la resistencia del cemento; al bombearse éste en contacto directo con el lodo del pozo, puede ocurrir que parte de la lechada se contamine, y debido a que su densidad es menor, no afecte al resto de la columna de cemento; sin embargo, puede suceder que las condiciones permitan su canalización entre el lodo; en tales circunstancias, el cemento contaminado queda falto de resistencia, dando como resultado una mala cementación. En vista que las contaminaciones por pequeñas que sean, le restan solidez al cemento, siempre conviene evitar el contacto directo, inyectando antes de la lechada un colchón de agua para desalojar el lodo contenido en el pozo y a la vez limpiar las paredes del agujero.

INFLUENCIA DE LA PRESION Y TEMPERATURA. -La presión que actúa sobre la lechada, es un factor muy importante en el tiempo de fraguado del cemento; principalmente en los pozos muy profundos, donde la columna hidrostática que actúa sobre el cemento origina grandes presiones - las cuales, aceleran el tiempo de fraguado y aumentan su resistencia a la - compresión.

Una alta presión hidrostática ocasiona pérdida de agua en la lechada; - al aumentar ésta de acuerdo con la profundidad, da lugar a que el agua de - mezcla sea forzada a las formaciones. antes de que principie a fraguar el - cemento. Como resultado de las diferentes pérdidas de agua que se presen - tan en la columna de cemento de acuerdo con las diferentes formaciones - atravesadas, se tendrá una variación en el tiempo de fraguado, así como en su resistencia final.

El tiempo de fraguado del cemento, es también afectado por la tempe - ratura, y como ésta aumenta con la profundidad del pozo, puede originar -- problemas durante la cementación, ocasionand: un fraguado prematuro de - la lechada cuando apenas se esté desplazando y en caso de llegar al lugar - deseado no poder formar una unión íntima entre la tubería y las paredes -- del agujero.

CEMENTACION DE TUBERIA. - Antes de introducir la tubería que - se va a cementar, se recomienda acoplarle una zapata de diámetro interior igual a la misma, formada por materiales fácilmente perforables, y que

Best Available Document

además de guiar el extremo inferior del tubo a través de las irregularidades que puedan existir en el agujero, sirve para permitir la circulación de la lechada de cemento del interior al exterior de la tubería de ademe e impedir la circulación en sentido inverso. En su defecto, en un tramo de tubo de diámetro igual a la tubería por cementar y longitud aproximada de 1.50 m., se colará un tapón de cemento de aproximadamente 60cm. el que hará las veces de zapata.

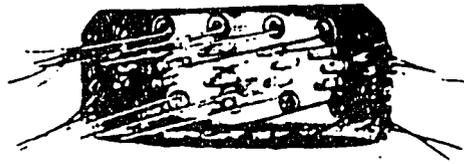
Una vez fraguada la lechada que constituye el tapón y una distancia aproximada de 20 cm. se cortarán con soplete y en forma perimetral, de 6 a 8 secciones rectangulares de 10 x 4 cm. y que se utilizarán para expulsar la lechada. Posteriormente ese tramo de tubo se acoplará al ademe.

Con el objeto de que al ir bajando la tubería puedan limpiarse las paredes del pozo para desalojar el enjarre y permitir que la lechada entre en contacto directo con la formación, es conveniente colocar unos anillos denominados raspadores o limpiadores de pared, formados por alambres cortos y flexibles arreglados en plantillas verticales, espirales o circulares, cuya separación entre cada uno de ellos no será mayor de 9 m.

Además, deberá adaptarse a la tubería unos flejes de acero en espiral llamados centradores, para asegurar que ésta quede instalada en el centro del agujero.



ZAPATA GUIA



RASPADOR



CENTRADOR

Para determinar la cantidad de cemento que se va a emplear en la cementación de una tubería, se parte de la siguiente base: cada saco de cemento de 50 Kg. mezclado con 40 a 50 % de su peso en agua, es igual a 36.5 litros de lechada con una densidad que varía de 1.80 a 1.90 y de acuerdo con la siguiente tabla de capacidades, se determina el volumen del espacio anular formado por el agujero y la superficie exterior de la tubería de revestimiento que se vaya a cementar.

Diámetro del agujero	Diámetro tubería ademe	Capacidad aprox. espacio anular lt/ m.
22"	18" /	81
24"	20"	89
20"	16"	73
18"	14"	65

16"	12"	57
14"	10"	49
12"	8"	41

Los valores de la última columna, se multiplican por el número de metros de agujero que se desea cubrir con cemento agregando a este resultado el exceso por pérdidas que se tienen al estar efectuando la operación, - así como por canalización de la lechada en el fondo, por la penetración del - cemento a las formaciones permeables o por derrumbes que se producen - - durante la perforación.

EJEMPLO:

Diámetro del agujero	22"
Diámetro de la tubería	18"
Profundidad del pozo	120 m

El cemento debe salir a la superficie.

a) capacidad del espacio anular entre la tubería de ademe y el agujero: 81 lt/m.

Cantidad de cemento que debe emplearse para cubrir 120 m.

$$81 \times 120 = 9,720 \text{ lt. más un } 20\%$$

$$9,720 + 1,894 = 11,614 \text{ lt.}$$

Si de un saco de cemento se obtienen 36.5 lt. de lechada, el número de sacos será:

$$\frac{11,614 \text{ lt.}}{36.5 \text{ lt/ saco}} = 318 \text{ sacos}$$

El volumen de agua que debe usarse será 7,950 lt. considerando que cada saco de cemento debe mezclarse con 25 lt. de agua.

TECNICA DE CEMENTACION. - En perforaciones de poca profundidad como es el caso que se describe, esta operación es prácticamente sencilla puesto que el desplazamiento de la lechada si no se cuenta con el equipo adecuado, puede efectuarse con la misma bomba de lodos del equipo de perforación, teniendo cuidado que al terminar la cementación, la bomba se somete a un lavado minucioso para que sus partes no sean afectadas por la propiedad abrasiva del cemento.

Con el objeto de desalojar los recortes y los materiales desprendidos por los raspadores, una vez que la tubería que se va a cementar se encuentre en el fondo del agujero se le conecta en su extremo superior, una cabeza de cementar previamente construída y consistente en un tramo de tubería de acero del mismo diámetro y espesor que el de la tubería de contraademe; una tapa de placa de fierro de 19.05 mm (3/4") cuyo diámetro será 25.4 mm (1") mayor que el tubo, teniendo en su periferia ocho muescas equidistantes que servirán para dar paso y fijar un número igual de tornillos, con ojos en su base para poder ser soldados al tubo y tener accionamiento de bisagra; su longitud será tal, que al estar en posición vertical puedan sobresalir de la tapa y se fijen fácilmente a ésta mediante roldanas y tuercas. En el centro de la tapa se soldará una asa para su fácil movimiento.

Soldado a una de las paredes del tubo de la cabeza de cementar irá un niple y atornillado a éste una válvula de paso a la que también se atornillará otro niple que servirá de unión con la manguera de perforación.

Al efectuar las conexiones de referencia, se colocará entre las tapas y el tubo, una junta de plomo que sirve de empaque para evitar fugas. Inmediatamente después, se circulará agua limpia hasta que los recortes y sedimentos hayan sido expulsados quedando el pozo listo para su cementación.

Al mismo tiempo que se están haciendo estas operaciones, y una vez calculado el volúmen en sacos de cemento que se utilizará en el trabajo, se apilará el cemento de tal manera que los sacos puedan ser fácilmente desplazados hasta una plataforma que tiene en su extremo central, una cuchilla en forma de sierra para cortarlos al ser arrastrados hasta ella y permitir que el cemento caiga en una tolva o embudo en cuyo extremo inferior se conecta la manguera de presión del agua, a fin de que ésta a su paso, arrastre el cemento en forma de lechada. Esta lechada se deposita en una fosa donde se continúa su agitado para posteriormente ser bombeada al interior del contra-ademe a través de la cabeza de cementar.

El volúmen de agua-lodo contenido en el pozo, será desalojado por la inyección de lechada.

Inmediatamente después de terminar la inyección del último saco de cemento, se levantará la tapa de la cabeza de cementar y se introducirá dentro de ésta, un tapón de madera de aproximadamente 25.4 mm. (1") de diá -

metro menor que el del tubo y 76.2 mm (3") de espesor, el que llevará -- perfectamente adaptado a su parte central inferior, un bloque de madera -- de sección cuadrada, con longitud un poco mayor que el diámetro del tubo -- a fin de evitar el volteo. El espacio comprendido entre las paredes interiores de la tubería de contra-ademe y el tapón de madera, será ocupado por un empaque de algún material sellante que se fijará a las paredes del tappón.

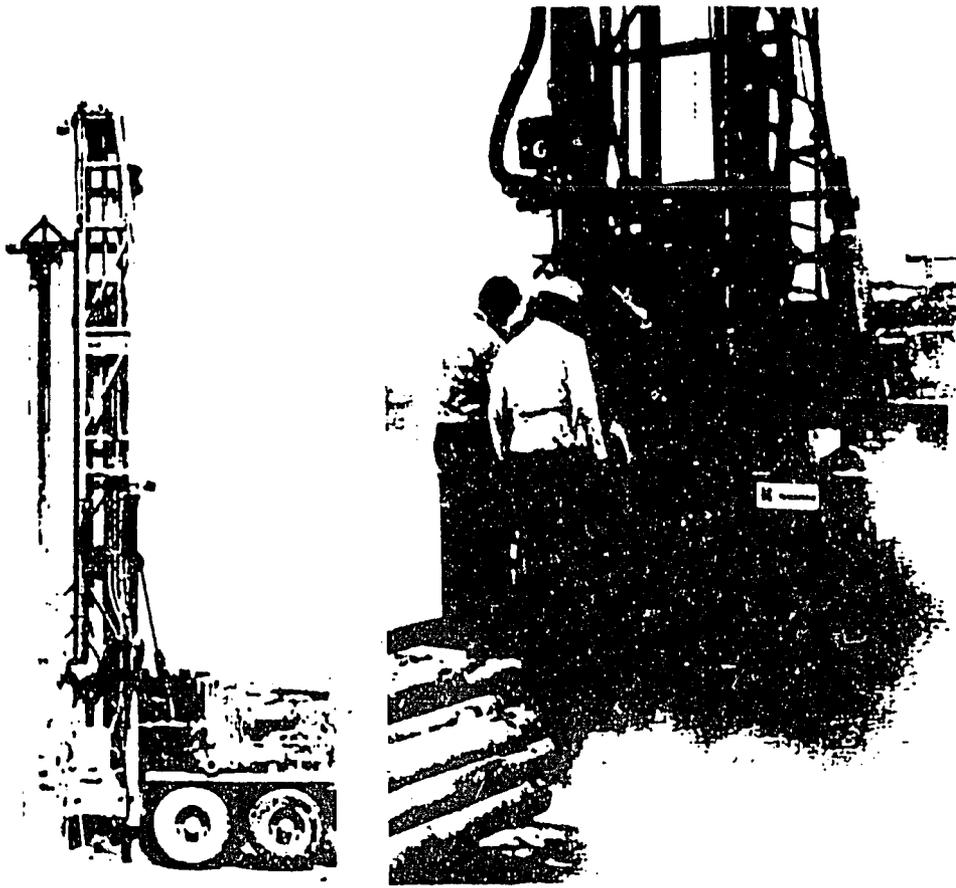
Para desplazar éste y la lechada contenida en el interior del tubo, -- se volverá a colocar la tapa de la cabeza de cementar y a través de la bomba de lodos se inyectará este fluido hasta que la lechada derrame por la -- boca del pozo; lo que indicará que ya ha ocupado totalmente el espacio anular por cementar. Al seguir inyectando lodo y no salir porque el tapón ha -- llegado al fondo de la tubería, el manómetro de la bomba registrará un incremento de presión, mismo que se aprovechará cerrando bruscamente -- la válvula de paso, con el objeto de que la presión del cemento antes de -- fraguar no invierta la circulación y levante el tapón de madera. Se desconecta la manguera de perforación y se procede al lavado inmediato de la -- bomba de lodos. Se suspenden los trabajos por un lapso de 48 horas para -- que el cemento frague, continuándose después despedazando los tapones -- alojados en el fondo de la tubería de contra-ademe.

3.4.- PERFORACION CON AIRE.- La perforación con aire presenta como ventaja principal el obtener pozos limpios, ya que el acuífero nunca es dañado en sus características físicas (porosidad, permeabilidad, -- etc.) como puede suceder cuando se emplean lodos de perforación.

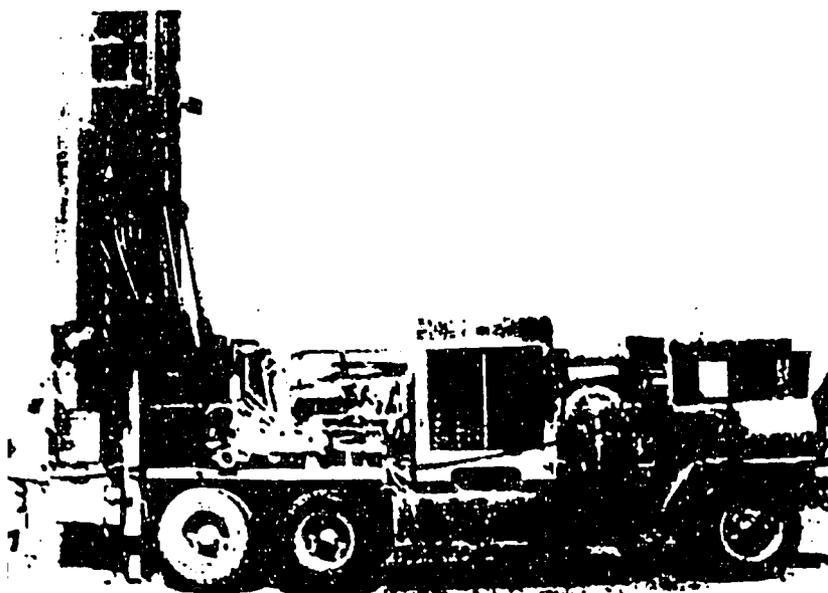
Este sistema es básicamente igual a la perforación con lodos, excepto que la bomba de lodos es reemplazada por un compresor. Para perforar, se emplean barrenas tricónicas o martillos neumáticos con barrenas de botones de insertos de carburo de tungsteno.

El compresor descarga a una línea conectada al swivel y a través del Kelly y de la tubería de perforación, el aire es forzado a pasar hasta la barrena. El aire, como cualquier fluido, sirve para levantar hasta la superficie los cortes de los materiales atravesados y enfriar la barrena; se recomienda su aplicación cuando se perforan rocas y formaciones compactas ya que una vez que se deja de ejercer la presión del aire, las formaciones sueltas y cavernosas pueden provocar derrumbes. Esto no sucede cuando se emplean lodos de perforación.

MARTILLO NEUMATICO.- Este opera combinando los sistemas de percusión con el rotatorio; lográndose una gran penetración a cualquier -- profundidad en virtud de no existir pérdidas de energía, ya que el pistón del martillo transmite directamente sobre la barrena la acción percusiva y no a través de la sarta de perforación, independientemente de las ventajas que presenta para el control de la verticalidad del pozo, en virtud de --

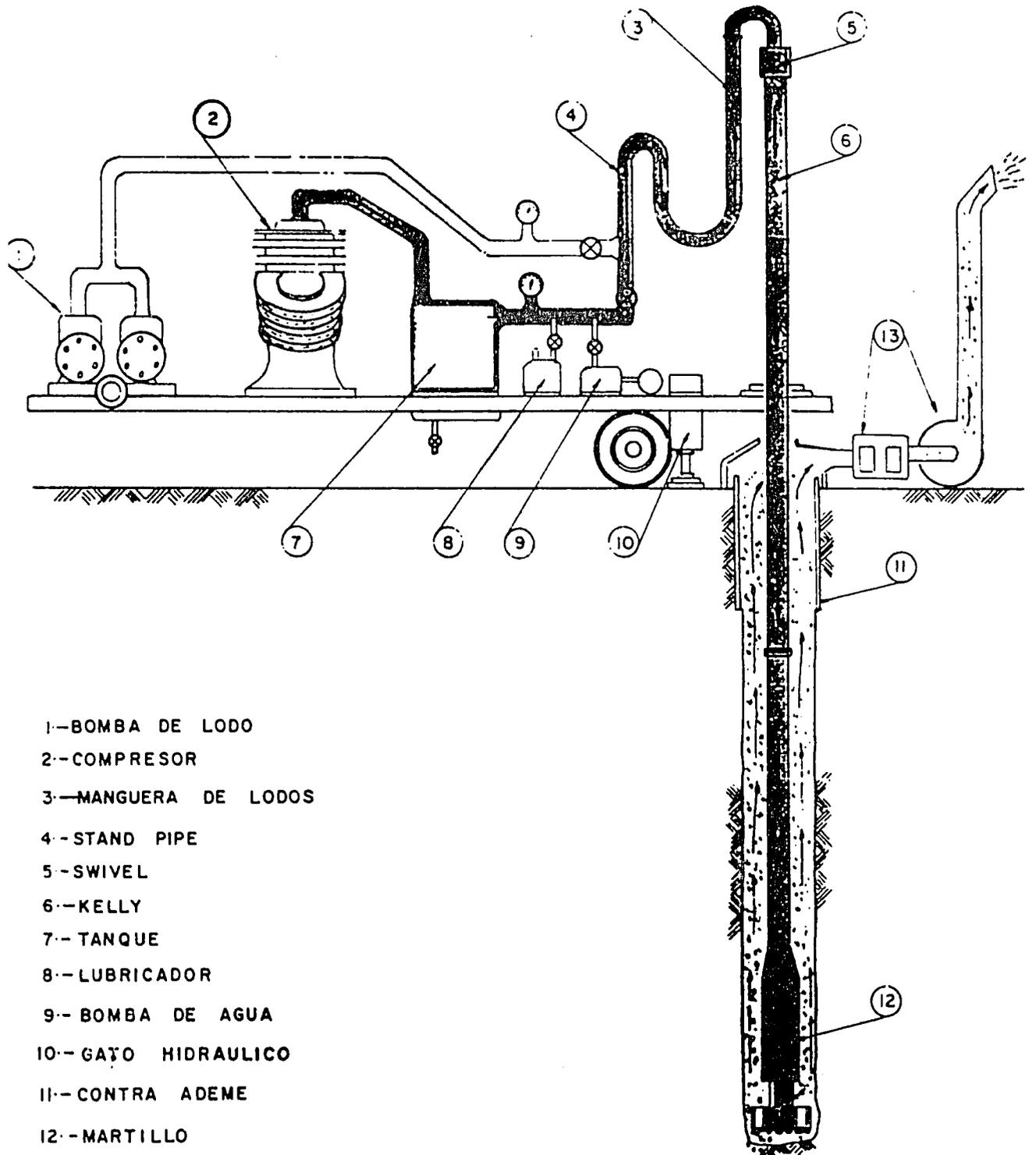


Pozos perforándose con aire como fluido de perforación.



Best Available Document

ESQUEMA DE UN EQUIPO ROTATORIO NEUMATICO



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

la carrera corta y gran velocidad de impacto del martillo sobre los materiales.

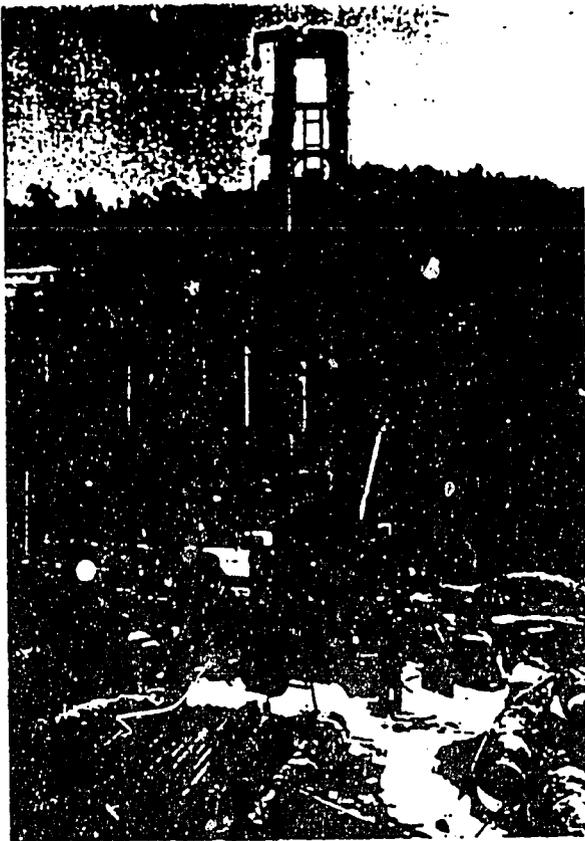
La velocidad recomendable del aire en el espacio anular es de - - - 4,000 pies por minuto o mayor; ésta es controlada por el consumo de aire de la herramienta y los diámetros de la barrena y tubería de perforación.

Si se incrementa el diámetro de la barrena y se reduce el de la tubería de perforación para un mismo modelo de martillo, la velocidad del aire en el espacio anular disminuirá.

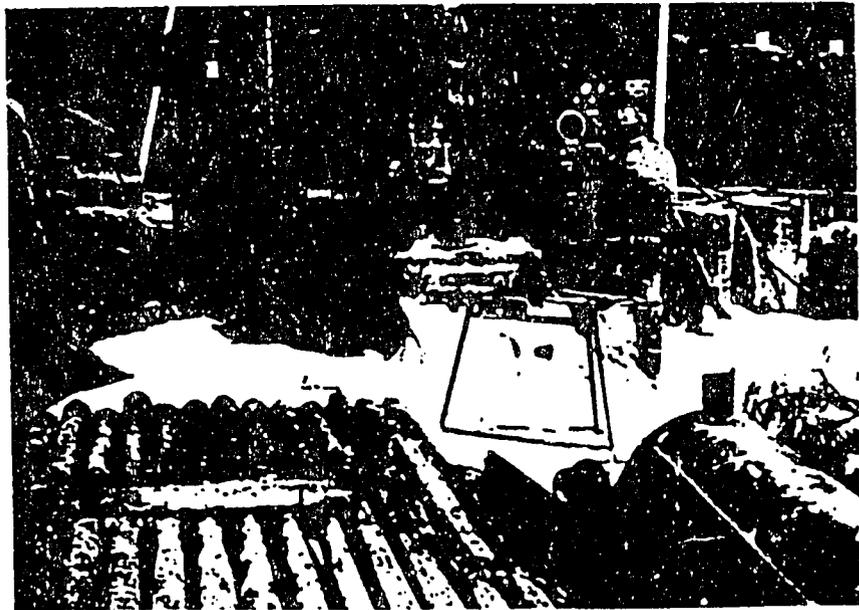
El peso que se aplica al martillo para diámetros comprendidos entre 152 mm (6") y 203 mm (8"), varía aproximadamente de 1,200 Kg. - - - (2,500 Lbs.) a 2,280 Kg. (5,000 Lbs.) ; pesos excesivos sobre la barrena reducen o cierran la carrera del martillo y por el contrario, la falta de peso sobre la misma impiden aprovechar a su máximo el impacto generado por el aire; por tal motivo es conveniente el empleo de sistemas hidráulicos, para el control del peso apropiado sobre la barrena.

Las barrenas empleadas con los martillos, tienen insertos de carburo de tungsteno. Cuando no se emplea el martillo, se usan barrenas tri-cónicas convencionales; la sarta de perforación en este caso es la misma - descrita en el capítulo de perforación de pozos con equipo rotatorio.

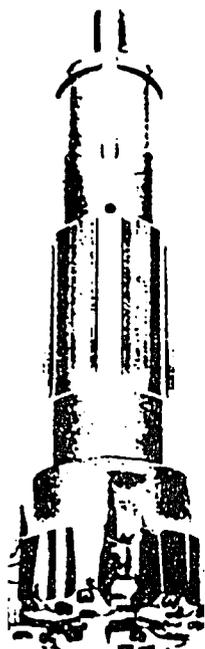
Best Available Document



Tres aspectos de perforación por el sistema neumático
con espumante.



Best Available Document



BARRENAS DE BOTONES CON INSERTOS
DE CARBURO DE TUNGSTENO

PROGRAMA DE PERFORACION.

4.- PROGRAMA DE PERFORACION. - Una vez definida la índole - del alumbramiento, (riego, usos domésticos o abrevadero), para conocer ca da uno de los estratos cortados por la barrena, ubicación de los acuíferos -- por explotar o de aquellos que por sus condiciones de salinidad o contaminación sea necesario aislar por medio de cementaciones, y en resumen tener bases para realizar el diseño de construcción del pozo, conviene elaborar un Programa de Trabajos con base en los estudios previos ya descritos; tipo y capacidad de equipo, profundidad por alcanzar, diámetros de perforación y tuberías de ademe, etc., pero en cualquier caso y para cualquier uso a que se destine la perforación, deberá iniciarse con una perforación exploratoria.

Estos trabajos consisten en alcanzar la profundidad del proyecto - recomendada por los estudios o la ordenada por el Ingeniero Residente, con barrena de diámetro reducido, siendo el más usual de 305 mm (12").

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

Cuando se sospeche la existencia de acuíferos salinos, durante el - proceso de perforación deberán muestrearse las aguas de los intervalos que - se especifiquen, pero en ningún caso excederán de 10 m. Con las mues- --

tras obtenidas se efectuarán análisis físico-químicos que determinarán la calidad de las aguas.

El siguiente punto de Programa sería correr un registro eléctrico una vez alcanzada la profundidad del proyecto.

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

Analizando la información proporcionada por el sondeo geoelectrico y el análisis granulométrico, se podrá definir si es o no conveniente proseguir con la construcción, del pozo, es decir: diseñar la profundidad definitiva de la perforación, diámetro de ésta y de las tuberías de ademe; ubicación y espesor de los acuíferos por explotar y en consecuencia a la distribución de las tuberías de ademe, ciega y cedazo y ancho de las ranuras.

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

Al hablar de muestreos deben tomarse en consideración los dos tipos de máquinas perforadoras rotarias y percusión. Las muestras deben tomarse sin lavar, generalmente cada 2 m y cambio de formación. Para recogerlas, puede usarse con eficacia un cedazo de malla fina y recibirlas en el

canal previa limpieza, inmediatamente después de la boca del pozo, cuando se trate de equipo rotatorio o en el momento de descarga la cuchara en el caso de percusión. Para ello y cuando se trate de tomar una muestra representativa del material cortado en determinado momento deberá procederse como sigue:

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

Con equipo rotatorio de circulación inversa. - Se recogerá la muestra directamente de la descarga del retorno de circulación.

Con equipo de perforación de percusión. - Alcanzada la profundidad de muestreo se limpiará el agujero utilizando una cuchara de válvula plana hasta eliminar los residuos de los materiales cortados. Inmediatamente después se introducirá la línea de perforación a la que se habrá conectado un muestreador de barril de los diseñados especialmente para el caso, con el que se tomará la muestra. La perforación también puede hacerse directamente con el trépano, recuperando la muestra con la cuchara de válvula plana. O, bien, - si los materiales que se están atravesando son blandos, puede hacerse la toma de la muestra empleando la misma cuchara válvula plana, a la que previamente deberá habersele soldado en el fondo una zapata con filos revestidos -

con carburo de tungsteno.

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

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

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

POTENCIAL.- El potencial natural se mide por medio de dos electrodos conectados a un voltímetro, uno de los cuales es introducido al pozo mediante un cable aislado y el otro se coloca en la superficie, generalmente en la presa de lodo, cuyo potencial debe ser constante, en tal forma, -- que para cada posición del electrodo en el pozo, el voltímetro marca la diferencia entre el potencial correspondiente al nivel de cada formación y el electrodo de tierra; esta diferencia de potencial se grafica en el carril izquierdo del registro eléctrico y varía de acuerdo con el desplazamiento -- del electrodo a lo largo del pozo.

La curva obtenida es un índice de la permeabilidad de las formaciones, ya que para generar un potencial debe existir un medio poroso en el-

cual los poros estén comunicados entre sí, además, que manifiesten la presencia de fluidos. Los materiales impermeables como las arcillas y lutitas en un registro eléctrico, se manifiestan por su poca o escasa variación, dando por resultado una línea casi vertical denominada "línea de las lutitas o de referencia" y se utiliza para valorar el potencial natural de las diferentes formaciones registradas.

En virtud que esta curva acusa diferencias de potencial que se manifiestan por una serie de deflexiones hacia la derecha o izquierda (teniendo como base la línea de referencia) lo importante en la misma es su amplitud y no sus valores absolutos, por lo que el carril correspondiente carece de cero de la escala y sólo se proporciona el valor de cada división en millivolts; así como los sentidos positivos y negativos; colocados siempre el negativo hacia la izquierda y el positivo hacia la derecha; el negativo indica casi siempre formaciones porosas, en tanto que el positivo manifiesta formaciones impermeables, tales como arcilla, lutitas, areniscas, etc.,

Si el fluido de perforación es más dulce que el agua de la formación el potencial natural resulta negativo, siendo ésta la relación usual; y suele ocurrir en areniscas con agua salada que siempre contienen algo de agua intersticial; por lo contrario si el fluido de perforación es más salado que el agua de la formación las deflexiones del potencial natural son positivas como frecuentemente se observan en arenas con agua dulce. Por último, si la salinidad del lodo de perforación es igual a la de la formación no se observará potencial alguno.

Cuando un acuífero tiene un potencial negativo, significa que dicho potencial es más negativo que el de las lutitas o arcillas que lo rodean.

RESISTIVIDAD. - Es la resistencia de una unidad de volúmen y se mide en ohms, siendo el cubo la unidad de volúmen (1 m^3), por lo que la resistividad se expresa en "ohms" por metro cuadrado por metro ó en ohmsmetro; en tales circunstancias, una formación de 10 ohms de resistividad tiene una resistencia de 10 ohms de corriente por cada metro cúbico de formación.

La curva de resistividad se obtiene introduciendo dentro del pozo, uno o varios electrodos desde los cuales la corriente eléctrica penetra y circula en las formaciones; el recorrido de dicha corriente no está sometida a ninguna otra restricción que a la ubicación de o de los electrodos; por lo tanto las mediciones son afectadas no solo por la capa situada a nivel del dispositivo, sino también por la columna del lodo y por el diámetro del pozo; y debe considerarse que a mayor diámetro, se afecta más la medida de la resistividad (sobre todo cuando se usa el sistema de un sólo electrodo que es el que generalmente se utiliza en los pozos de agua).

Estas medidas se grafican en el carril derecho del registro eléctrico denominándose a la curva resultante "Curva de Resistividad" y se expresa en ohms-m. En este carril sí existe un cero de la escala y permite deter

minar el valor de la curva de potencial. Los valores de la resistividad que se consignan en un registro eléctrico, generalmente son diferentes de los verdaderos, por lo que a dichos valores se les denomina de "Resistividad - Aparente", exceptuando el caso de pozos con diámetro pequeño y acuífero o acuíferos de alta capacidad productora en los que la resistividad aparente es casi igual a la resistividad verdadera.

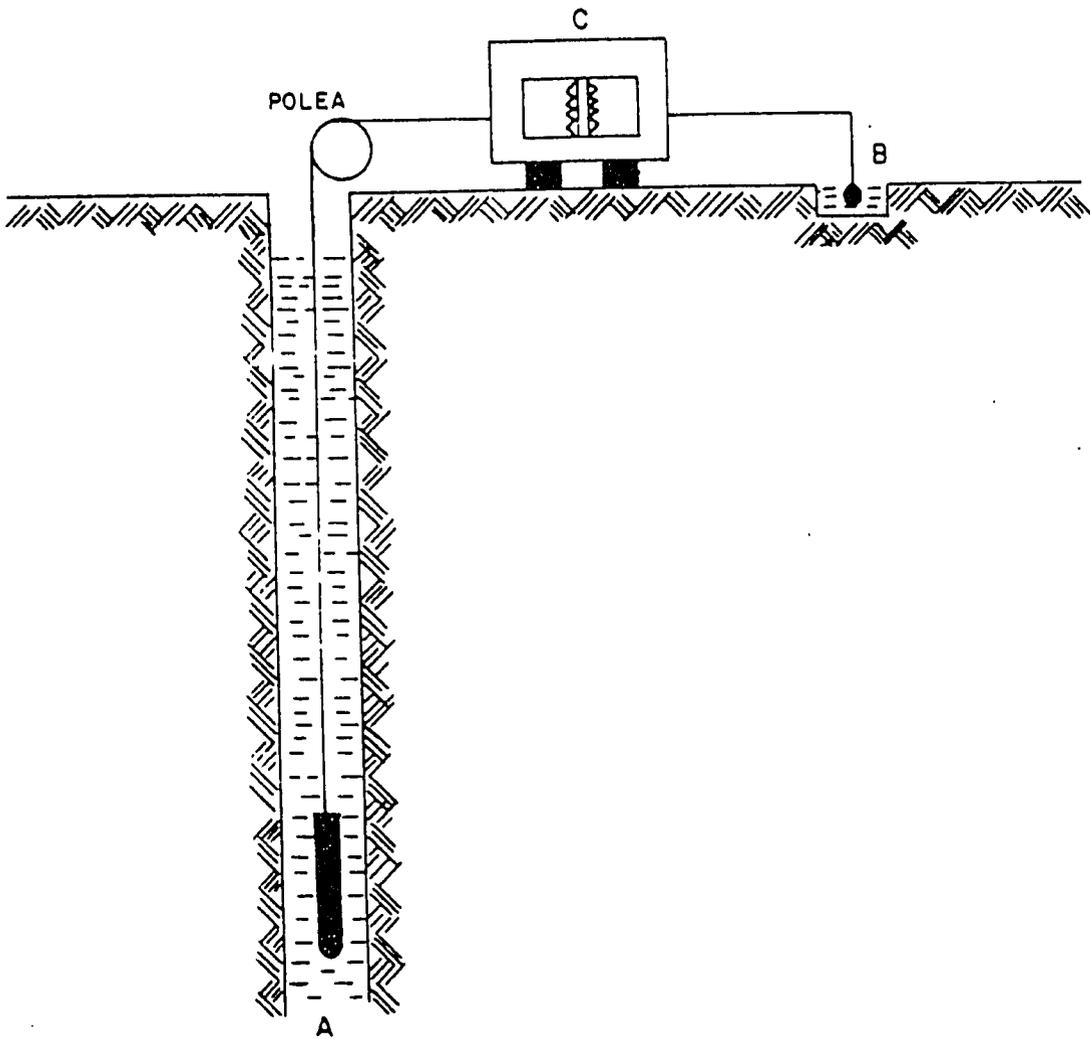
VALORES TIPICOS DE RESISTIVIDAD

Arenas y gravas conteniendo agua dulce.	30-200 ohms - m.
Arenas y gravas conteniendo agua salobre	4-500 ohms - m.
Arenas y gravas conteniendo agua salada.	0.1 - 4 ohms - m.
Areniscas y calisas conteniendo agua dulce.	50-500 ohms - m.
Agua Potable.	10-100 ohms - m.
Arcillas y lutitas	2-10 ohms - m.
Lodo de Perforación	1-10 ohms - m.

Los acuíferos con aguas de buena calidad tienen una mayor resistividad que las formaciones arcillosas y de lutitas o que los acuíferos con aguas saladas.

EQUIPO DE REGISTRO. - En la exploración de las aguas subterráneas se acostumbra usar el equipo de un sólo electrodo por lo sencillo y económico del sistema; además que con el se pueden resolver satisfactoriamente estos problemas. Fig.No. 1.

FIG. 1



ESQUEMA MOSTRANDO LA INSTALACION DE LOS ELECTRODOS Y
EL EQUIPO REGISTRADOR PARA CORRER UN REGISTRO ELECTRICO.

Para las curvas de potencial y resistividad por este método se hace descender el electrodo "A" al interior del pozo y el electrodo "B" se coloca en tierra, generalmente en la presa de lodos, ambos conectados al equipo registrador "C". A medida que el electrodo "A" se desplaza dentro del pozo, va captando las variaciones de potencial y resistividad, las cuales son registradas por "C" automáticamente. Para que éstas medidas puedan efectuarse, se necesita que el pozo no esté ademado; además, debe contener lodo para facilitar el contacto eléctrico con las formaciones atravesadas.

La interpretación cualitativa del registro eléctrico es relativamente fácil. Cuando se desea cuantificar la porosidad de las formaciones y salinidad del agua, deberá usarse un equipo de varios electrodos que es más complicado y la curva característica de resistividad se obtendrá con arreglo a ellos.

En la práctica la medida de la resistividad y del potencial de una formación determinada, es afectada por diversos factores que influyen de una manera decisiva en dicha medición; la cual varía de acuerdo con las características de las formaciones; salinidad del lodo, diámetro del agujero y velocidad del registro.

Si la salinidad del lodo de perforación y el acuífero son más o menos iguales, generalmente el potencial del acuífero es pequeño con rela-

ción al potencial de las arcillas; sin embargo, puede suceder que la salinidad del acuífero sea más alta que la del lodo de perforación; en este caso, el potencial de la formación regularmente es más negativo que el potencial de las arcillas y la curva se desplaza hacia la izquierda; esto es, hacia el lado negativo, en cada formación con aguas salobres o saladas. Si las condiciones son contrarias a las anteriores el potencial de la formación resulta más positivo que el de las arcillas y la curva en este caso se desplaza hacia la derecha en presencia de formaciones dulces, como puede observarse en la Fig. No. 2, en la que el acuífero se muestra menos salino arriba del nivel X marcado; manifestándose más salino abajo de dicho nivel.

Si el fluido de perforación es relativamente dulce, el potencial correspondiente, en un acuífero con aguas de buena calidad, se manifiestan como se muestra en la parte superior del registro Fig. 3; pero si el lodo es salino, la curva potencial puede ser diferente.

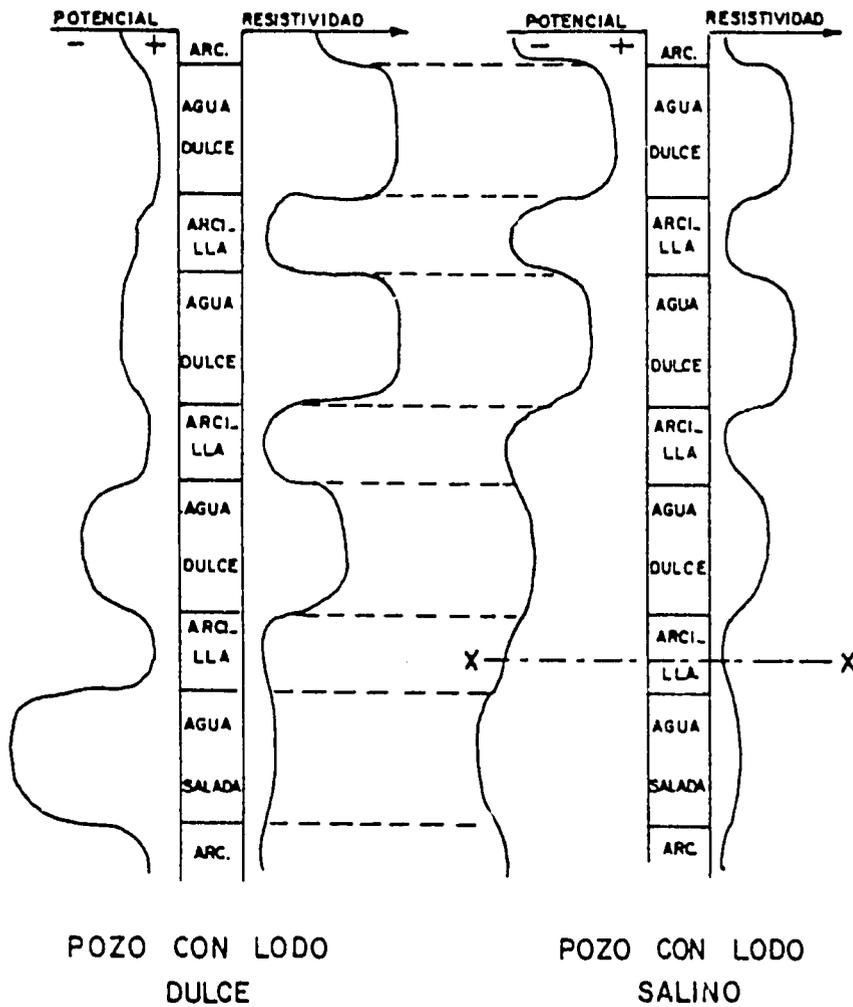
La resistividad de un acuífero es más alta cuando sus aguas son de buena calidad; siendo el potencial de la formación más positivo con respecto al potencial de las arcillas y es más baja cuando el lodo de perforación es salino, debido a que es un mejor conductor que el agua dulce. Por lo tanto conviene conocer la resistividad del lodo para hacer una correcta interpretación de un registro eléctrico. Estos registros no siempre proporcionan una información definitiva y completa, ya que si a profundidad se manifiestan dos formaciones semejantes de ambas curvas, es muy difícil dis-

tinguir en el registro si se trata de una arena no saturada o de una formación compacta. Para hacer esta identificación, es necesario recurrir al auxilio de las muestras obtenidas en el curso de la perforación y observaciones efectuadas durante la operación como la velocidad de penetración; un caso semejante se manifiesta en las arenas y gravas que no es posible diferenciarlas en un registro, debido a que ambas tienen idénticas características eléctricas.

Cuando un acuifero tiene alta porosidad, su resistividad es baja y desde luego su potencial es más alto con relación al de las arcillas; en tales circunstancias las arenas y gravas tendrán valores bajos de resistividad y potenciales con valores altos respecto a las areniscas y calizas que contienen aguas de igual calidad; lo anterior se consigna en el esquema, No. 4.

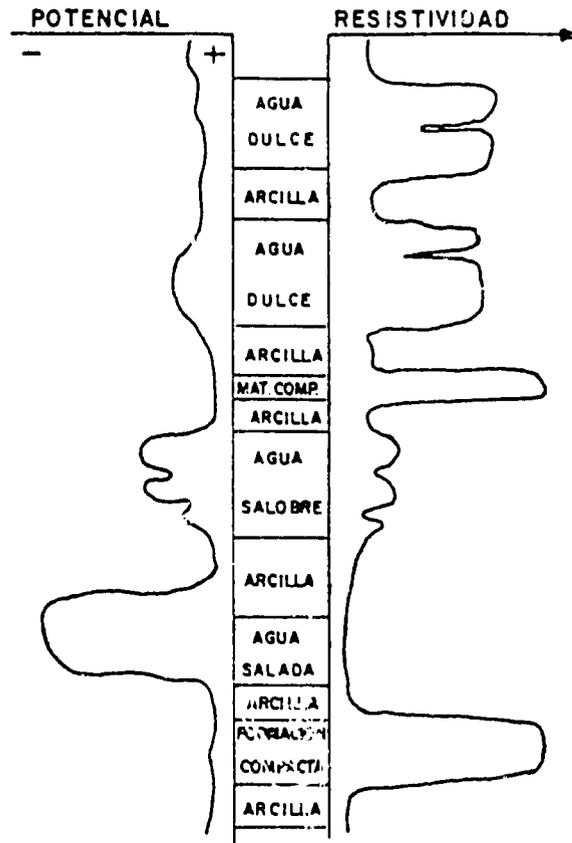
VELOCIDAD DEL REGISTRO. - Es de suma importancia tomar en cuenta la velocidad cuando se corre un registro eléctrico, ya que ésta repercute principalmente en los valores del potencial natural. Por lo tanto, si la velocidad es alta pueden omitirse características de las formaciones atravesadas por la barrena; por lo que es recomendable que el registro se corra en una forma lenta y de ser posible en dos sentidos; primero, de arriba a abajo y después de abajo hacia arriba, con lo cual logrará no sólo la comprobación de las curvas registradas sino que la primera corrida servirá para el ajuste de las escalas.

FIG. 2



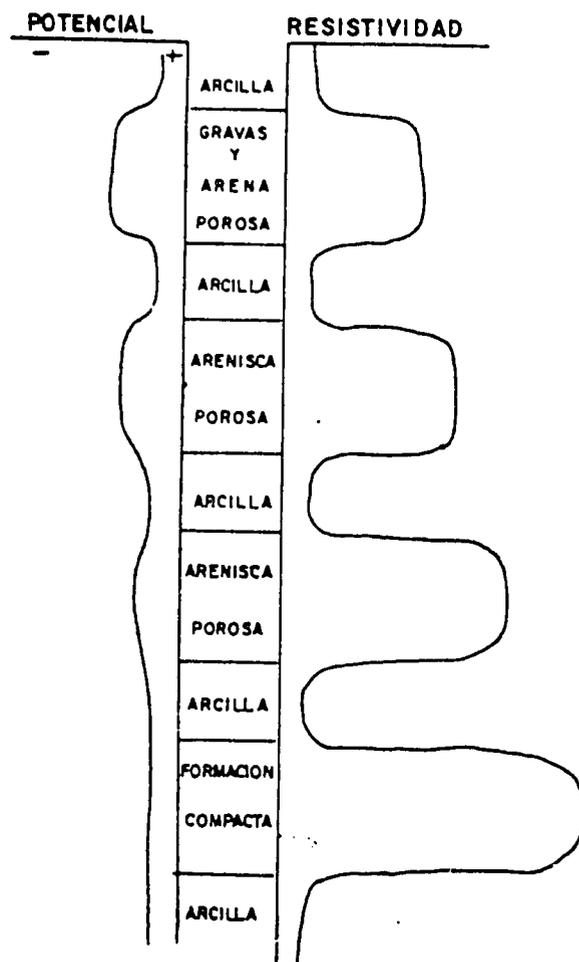
ESQUEMA MOSTRANDO EL EFECTO QUE PRODUCEN LOS LODOS DULCES Y SALINOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE POTENCIAL NATURAL Y RESISTIVIDAD.

FIG. 3



ESQUEMA MOSTRANDO EL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE POTENCIAL NATURAL Y RESISTIVIDAD CUANDO EL REGISTRO SE EFECTUA EN POZOS QUE CONTIENEN LODO DULCE.

FIG. 4



ANALISIS DE UN REGISTRO ELECTRICO MOSTRANDO CAMBIOS DE POROSIDAD EN LAS FORMACIONES.

APLICACION DE LA RADIATIVIDAD EN LA PROSPECCION DE POZOS.

Los registros de rayos gamma están basados en el estudio de la radiactividad natural de las rocas, debida a la presencia de pequeñas cantidades de átomos radiactivos diseminados en estos materiales.

Los elementos naturales radiactivos son: el uranio, el torio, el potasio y el radio; siendo éste último un producto de su desintegración, la que al ocurrir emite rayos alfa, beta y gamma; de los cuales, éste último se diferencia de los dos primeros por su gran poder de penetración. La medida de la intensidad de estos rayos, se realiza mediante un proceso de ionización al introducir al pozo un electrodo para interceptar los rayos gamma de las rocas, por medio de una cámara de ionización, los que al ser transmitidos al equipo receptor colocado en la superficie, registran una curva de rayos gamma.

En vista que los átomos de los elementos radiactivos de la corteza terrestre no emiten rayos gamma con igual intensidad, al efectuar el registro en áreas donde las formaciones tienen intensidades bajas, es necesario desplazar el electrodo lentamente para obtener un buen registro; por el contrario, en áreas donde las formaciones tienen intensidades altas, el desplazamiento del electrodo deberá hacerse a mayor velocidad.

De los resultados obtenidos en análisis de laboratorio y en registros radiactivos, se ha llegado a la conclusión de que las lutitas tienen relativa

mente mayor cantidad de material radiactivo; esta característica, se aplica en la interpretación de la curva de rayos gamma, para diferenciar una lutita de las arenas, areniscas, calizas, etc., cuya radiactividad es baja; por otra parte, también se ha demostrado que aún los rayos gamma más intensos no penetran una gran porción de roca; por lo que la curva obtenida no debe considerarse como representativa total de la formación registrada, ya que sólo revela la radiación emitida por el material que rodea las paredes del pozo.

Por lo que respecta al análisis de un registro radiactivo, éste debe ser realizado por personas que estén familiarizadas con el área de estudio, ya que pueden hacerse deducciones erróneas, que desvirtúen el valor del registro; sin embargo, de la interpretación de un registro radiactivo, cuya forma es similar a la curva de potencial natural del registro eléctrico, es fácil deducir las formaciones porosas, el espesor de las mismas y los contactos entre formaciones: con la ventaja de que esta curva no se afecta cuando en la perforación se ha usado lodo salado, como ocurre con la curva de potencial natural.

Otra cualidad de la curva de rayos gamma, es la nula influencia del diámetro del pozo y la del fluído de perforación; además que puede efectuarse aún en pozos ya ademados, siendo esto último una exclusiva propiedad de los métodos radiactivos.

EJEMPLO

Registro eléctrico del pozo Santo Toribio Xicohtzinco No. 1, Mpio del mismo nombre, en el Estado de Tlaxcala.

El registro eléctrico fué corrido hasta 160 m de profundidad con aparato marca Widco de un electrodo, tomando en forma simultánea una curva de potencial natural y otra de resistividad. Los lodos empleados durante la perforación fueron bentoníticos acusando una resistividad de 9.0 ohms-m²/m. en el momento del registro, siendo su nivel de lm a partir de la boca del pozo, el nivel estático se encontró durante el proceso de perforación a una profundidad de 18.00 m.

Con las curvas de Potencial Natural y de Resistividad se determinaron dos tramos con características homogéneas; comprendidas entre 18.00 m a 70.00 m a 160.00 m.

Primer tramo de 18.00 a 70.00m. - La curva de Potencial Natural manifiesta un desplazamiento hacia el lado izquierdo de la línea de las lutitas (negativo, que indica la presencia de zonas porosas y la curva de Resistividad denota saturación. Este tramo se considera productor.

Segundo Tramo de 70.00 m a 160.00 m. - La curva de Potencial Natural se desplaza hacia el lado derecho de la línea de las lutitas (positivo) indicando ausencia de zonas porosas y la curva de Resistividad se cierra denotando poca saturación. Este tramo se considera totalmente arcilloso y-

consecuentemente no productor.

R E C O M E N D A C I O N :

Terminar el pozo a 80.00 m colocar tubería lisa entre 0.00 m y - -
20.00 m y cedazo de 20.00 m a 80.00 m.

4.3.-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. - Para el correcto diseño de la construcción de un pozo, es de suma importancia el empleo de análisis - - granulométricos de muestras de arena y grava obtenidas durante la perforación.

La utilización de un cedazo con aberturas de tamaño apropiado, puede lograrse solamente después de que se han tomado en consideración los tres pasos siguientes:

- a) Exactitud en el muestreo de los estratos de la formación.
- b) Cuidadoso análisis de las muestras por métodos estándar.
- c) Selección del tamaño de las aberturas del cedazo con base en el análisis granulométrico de las arenas. (De ahí el tamaño de la grava para el filtro.)

El perforador representa el papel más importante en la secuencia anterior ya que cuando él toma muestras verdaderamente representativas de los materiales perforados, se obtienen resultados correctos. La falta de cuidado en el muestro es bastante perjudicial porque puede conducir a - - interpretaciones erróneas. Mucho es lo que falta por hacer para aplicar mejores métodos de muestreo y la construcción de pozos puede ser mejorada - en la misma extensión en que pueda efectuarse un mejor muestreo.

El equipo para el análisis de las muestras comprende: un juego de - - tamices estándar, una balanza de precisión para pesar y un pequeño plato - para calentamiento. Generalmente se utilizan tamices de 8 pulgadas de diámetro con malla de alambre. El mejor tipo de balanza es aquella con aproxi

mación al gramo. Se pueden "emplear" también balanzas con escala en -- onzas, pero éstas son menos precisas.

PREPARACION DE LA MUESTRA PARA LA PRUEBA.

Para efectuar el análisis granulométrico, mézclase cuidadosamente la muestra original. Si el material está húmedo, lo cual hace que las - partículas finas y gruesas permanezcan unidas y no se separen, úsese una pequeña cuchara para tomar la cantidad de muestra adecuada, normalmente de 0.500 a 1.000 Kg, del material es una cantidad correcta; si el material es arena fina debe usarse una muestra más pequeña, aproximadamente 0.250 Kg . con la cual se evita que los tamices de malla fina se sobre--- carguen. Si la muestra está seca, las partículas finas y gruesas no permanerán mezcladas y tenderán a separarse o segregarse. Entonces la - -- muestra seca debe cortarse por el método de "Cuarteo", para que la pequeña o reducida que se va a tamizar contenga la misma proporción de partículas de cada tamaño como en la original.

El método de "Cuarteo" se describe a continuación y está ilustrado con las figuras A - B - C - D.

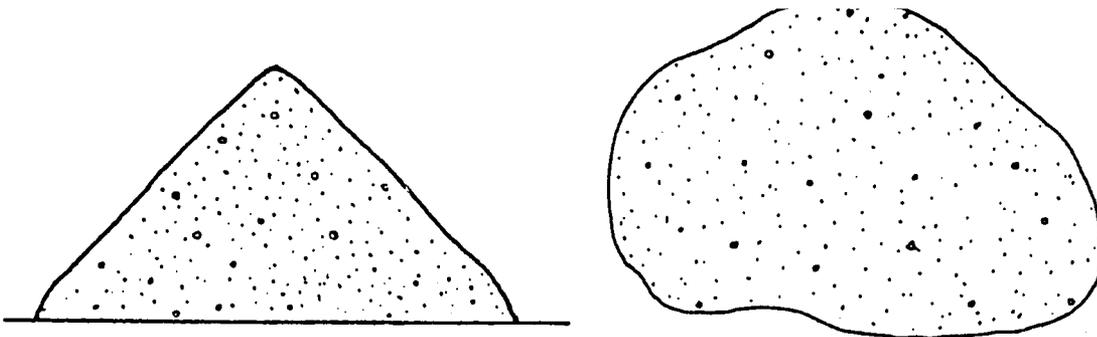
a) Viértase la muestra bien mezclada sobre una superficie lisa formando una pila en forma de cono.

b) Allánese la pila y distribuya el material de tal suerte que tome - la forma de "torta" grande.

c) Divídase la muestra por la mitad.

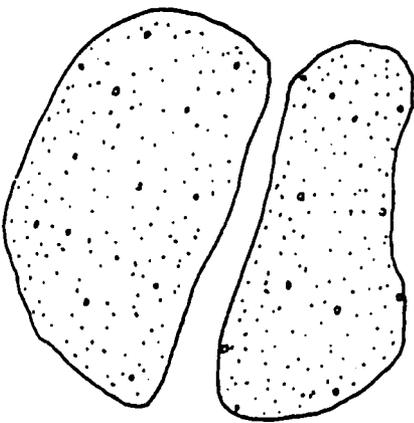
d) Divídase cada mitad en cuartas partes.

e) Retírese dos cuartas partes opuestas y mézclese bien las dos -- restantes. Esta será la muestra reducida (si ésta es aún muy grande, repítase el cuarteo).

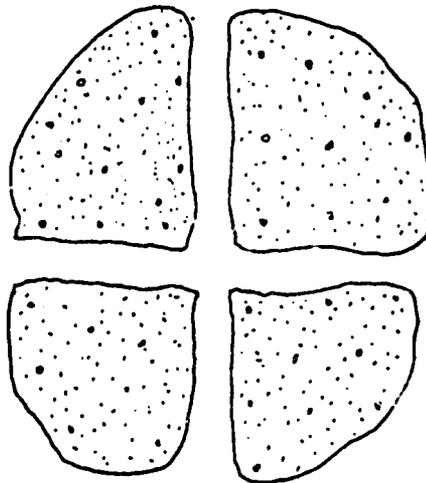


A

B



C



D

Usese cualquier peso seco del material de la muestra reducida. - No se intente preparar un peso exacto tal como 200, 300 o 500 gramos; tó-mese aproximadamente 0.500 Kg. del material si es arena gruesa o mez-cla de arena y grava o un poco menor si es arena fina.

Si la muestra reducida está húmeda, séquese a bajo calor remo---viéndola continuamente. A medida que el material se seque obsérvese si -algún contenido de arcilla hace que las partículas de arena permanezcan -aheridas. Cualquier terrón o masa que se forme debe romperse para se--parar todas las partículas.

PESO Y TAMIZADO

Selecciónense de cuatro a seis tamices con una serie de aberturas de malla diferentes, los cuales separan la muestra en varios tamaños de partículas. La malla de mayor abertura no debe retener más del 20% de -la muestra. A continuación se sugieren varios grupos de series de tami--ces:

<u>Para Arena Fina.</u>	<u>Para Arena Gruesa</u>	<u>Para Arena y Grava</u>
0.023" (28-mallas)	0.046" (14-mallas)	0.131" (6-mallas)
0.016" (35-mallas)	0.033" (20-mallas)	0.093" (8-mallas)
0.012" (48-mallas)	0.023" (28-mallas)	0.065" (10-mallas)
0.008" (65-mallas)	0.016" (35-mallas)	0.046" (14-mallas)
0.006" (100-mallas)	0.012" (48-mallas)	0.033" (20-mallas)
CHAROLA	0.008" (65-mallas)	0.023" (28-mallas)

CHAROLA	0.016" (35-mallas)
	0.012" (48-mallas)
CHAROLA	

Nótese que la lista de arriba indica el tamaño de la abertura de cada tamíz y el número de mallas por pulgada cuadrada.

Los tamices se colocan en serie quedando el de abertura mayor -- en la parte superior y el de menor en la parte inferior, terminando con la charola.

Se pesa la muestra seca se anota este valor y se vierte en el tamíz superior de la serie, se agita el conjunto total de tamices imprimiéndole un movimiento circular combinando con cierto juego ascendente y -- descendente y acción vibratoria para mantener el material siempre en -- movimiento sobre la superficie de cada tamíz. La vibración impartida a los tamices impedirá que éstos se obstruyan. Cuando se usa un sistema manual de agitación, se debe agitar primero cada tamíz por separado y luego toda la serie completa. Se recomienda en lo posible usar sistemas mecánicos.

Se vierte el material retenido por el tamíz superior de la serie en un platillo o en una hoja de papel. Este material se transfiere al platillo de la balanza y se pesa. Se anota el valor del peso leído contra el tamaño de abertura de la malla en la cual se retuvo el material. Se toma el siguiente tamíz y se vierte la porción de la muestra retenida en éste, sobre el material que ya se encuentra en el platillo de la balanza. Se anota el -

peso acumulado. Continúese la operación en la misma forma, anotando en cada caso el peso acumulado del material. Por último, agréguese el material más fino retenido en la charola y pésese. Este valor del peso acumulado deberá coincidir aproximadamente con el peso original de la muestra (dentro de un margen de dos a tres gramos).

Teniendo todos los datos anotados en la forma anterior, se procede a graficar los valores obtenidos tal como se describe a continuación:

G R A F I C A S

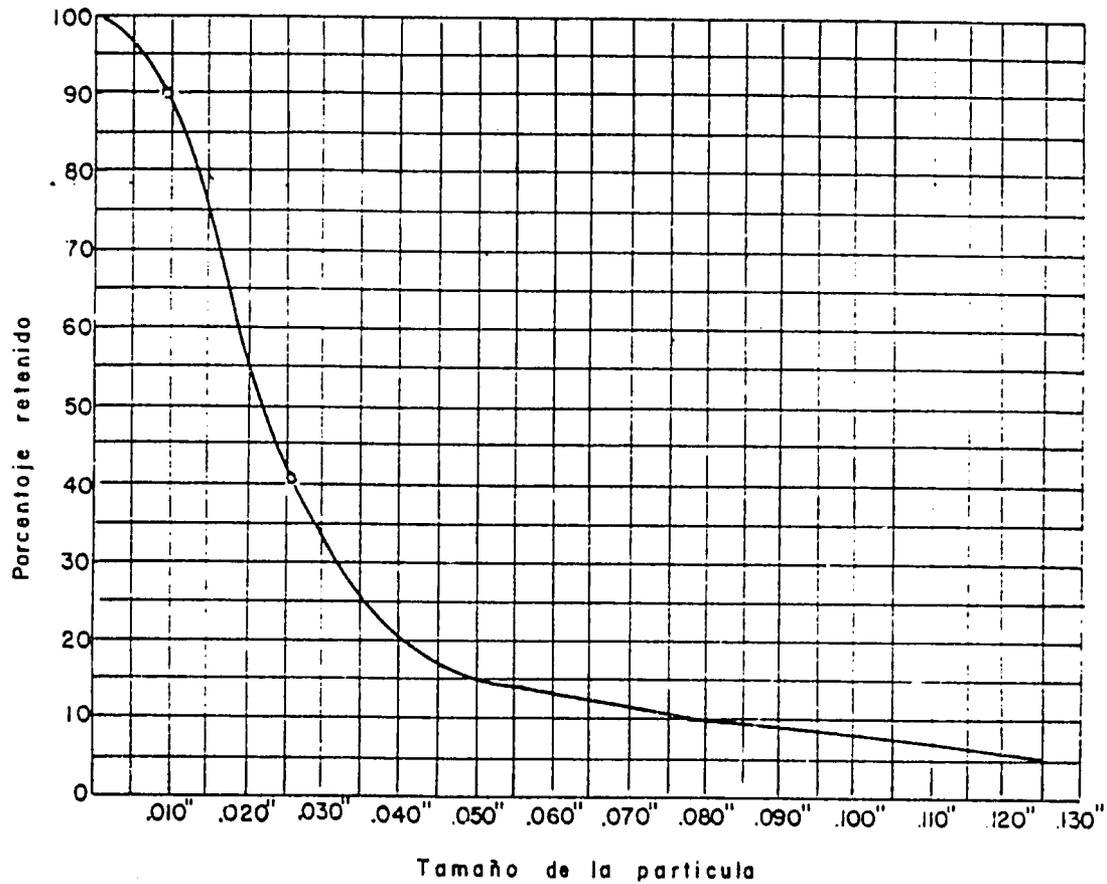
Los valores obtenidos por el método descrito, se transportan a un papel milimétrico en el que se han trazado coordenadas de "tamaño de -- partícula -porciento retenido"; con ellos se traza una curva que muestra la distribución de los tamaños de los granos que continene la muestra, -- desde el fino hasta el grueso. Los porcentos retenidos acumulados de -- cada tamiz o malla representa un punto de la curva en el papel milimétrico, relacionado con la abertura de malla en milésimas de pulgada.

Ejemplo: Supongamos que se obtuvieron en el laboratorio los siguientes datos:

Abertura del Tamiz.	Pesos Retenidos acumulados	Porciento retenido
0.046"	65 gramos	17
0.033"	106 gramos	28
0.023"	179 gramos	47
0.016"	266 gramos	70

0.012"	312 gramos	82
0.008"	357 gramos	94
CHAROLA	380 gramos	100

Peso original de la muestra: 382 gramos.



La ordenada representa el "porcentaje retenido acumulado" y la abscisa la abertura del tamiz o "tamaño de la partícula". Esto no es estrictamente cierto ya que las partículas de arena no son esféricas, por-

lo tanto se designa como el tamaño de la partícula el de la abertura de la malla.

La curva de análisis de una arena muestra a primera vista cuanto material es más pequeño o más grande que una partícula de determinado tamaño. Por ejemplo, podemos observar en la curva que el 89% de la muestra consiste en granos de arena más grandes que 0.010 de pulgada y que el 11% son más pequeños que dicho tamaño. En otras palabras, el 40% del tamaño de los granos es de 0.026 de pulgada o que el 40% de la muestra es más gruesa que dicho valor y el 60% restante de la misma es más fina.

TERMINOS DESCRIPTIVOS

Por cuidadosos estudios se ha determinado que la distribución del tamaño del grano de arenas y gravas que forman los depósitos glaciales - y aluviales productores de agua, no son de ocurrencia fortuita y su graduación obedece a las características de cada proceso geológico diferente, involucrando su depositación.

Como puede apreciarse en la gráfica del análisis de la arena, los materiales que se cortan durante la perforación están formados por una -- variedad de tamaños de partículas; existiendo entre los límites de los tamaños de las partículas más pequeñas a las más grandes medidas intermedias que se pueden distribuir de diferentes maneras, cambiando la forma de la gráfica en cada distribución. Por lo tanto se han tomado como elementos -- esenciales para la descripción completa del grado de un material, la "finura", la "pendiente de la grava" y la "forma característica de la grava". Cada uno de estos elementos puede cambiar independientemente uno del -- otro, lo cual hace necesario que se usen los tres para tener una idea fija de la graduación del material.

La "finura o grueso" de un material granular se puede dividir en -- "arena fina", "arena gruesa", "grava fina" y "grava gruesa". La división anterior se presta a confusiones, ya que algunas personas pueden clasi-- ficar un material como "arena gruesa" y otras al mismo material como -- "grava fina".

Con el objeto de definir en forma específica cada uno de los mate-- riales atendiendo al tamaño del grano, se han adoptado dos Clasificacio-- nes, mismas que se aplican en el campo de acuerdo con la conveniencia y

propósitos de nomenclatura de los materiales.

La clasificación MIT, desarrollada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts y el Bureau of Soils, Departamento de Suelos de los Estados Unidos, son las más comúnmente utilizadas.

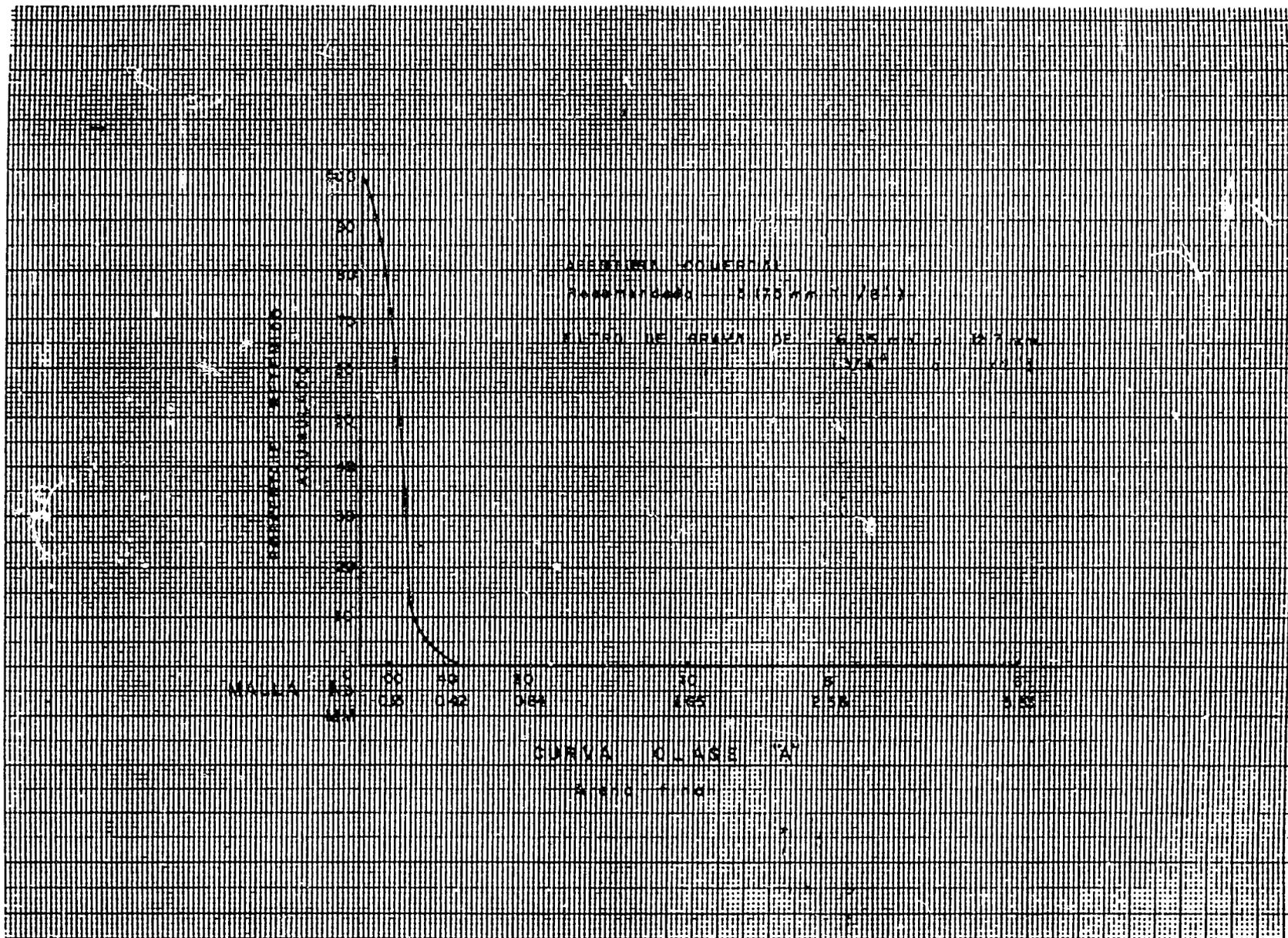
Parte de estas clasificaciones se presentan en la tabla siguiente:

<u>MATERIAL</u>	<u>LIMITES DEL TAMAÑO DEL GRANO</u>	
	<u>CLASIFICACION</u>	
	<u>MIT</u>	<u>BUREAU OF SOILS.</u>
Grava fina	0.080" a 0.380"	0.040" a 0.080"
Arena gruesa	0.024" a 0.080"	0.020" a 0.040"
Arena media	0.010" a 0.024"	0.010" a 0.020"
Arena fina	0.003" a 0.010"	0.004" a 0.010"
Cieno y arcilla	Menor de 0.003"	Menos de 0.002"

El servicio geológico de los Estados Unidos (U.S.G.S.) ha usado -- por muchos años la clasificación del Bureau of Soils. Como algunos de -- los límites de tamaños son muy pequeños para emplearse en los trabajos -- de perforación, es preferible usar la clasificación MIT que describe me -- jor las graduaciones de arenas y gravas que forman la mayoría de los es -- tratos productores de agua.

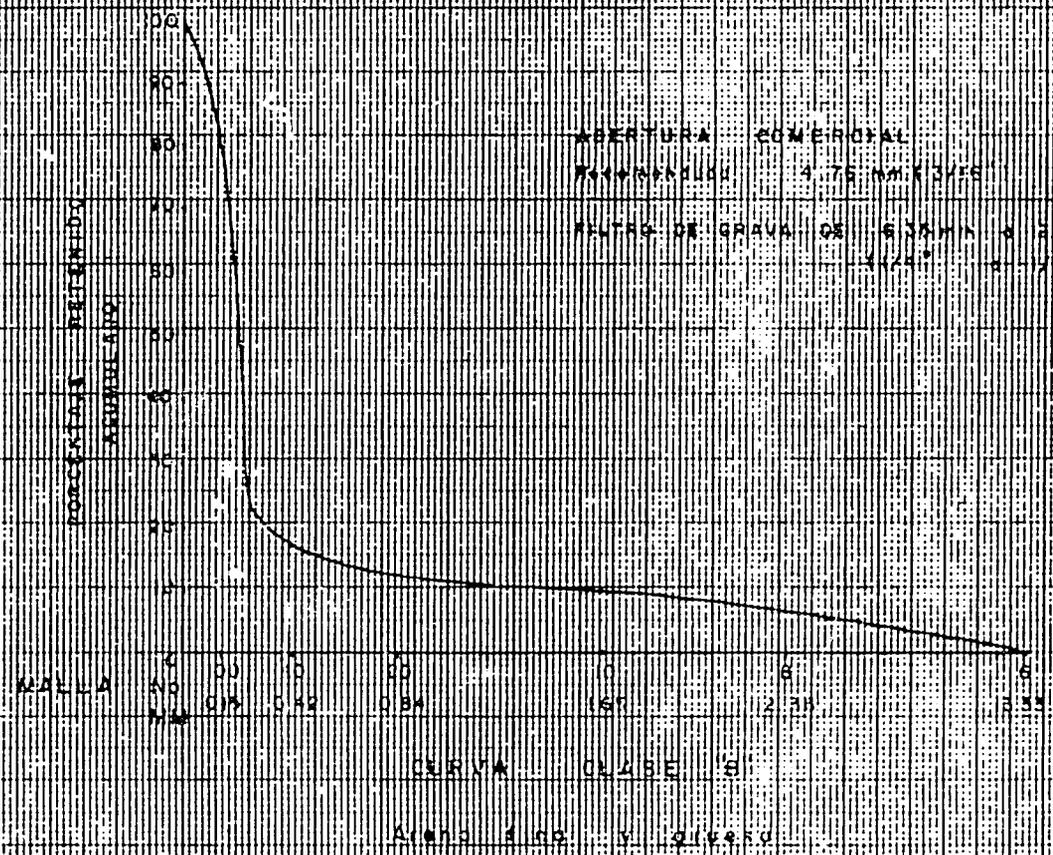
La curva de la figura 1, indica que la muestra ensayada consiste -- en arena media y gruesa de acuerdo con la clasificación MIT. Aplicando -- la misma clasificación para los materiales representados por las curvas -- 2-3-4 y 5 se tendría la siguiente nomenclatura.

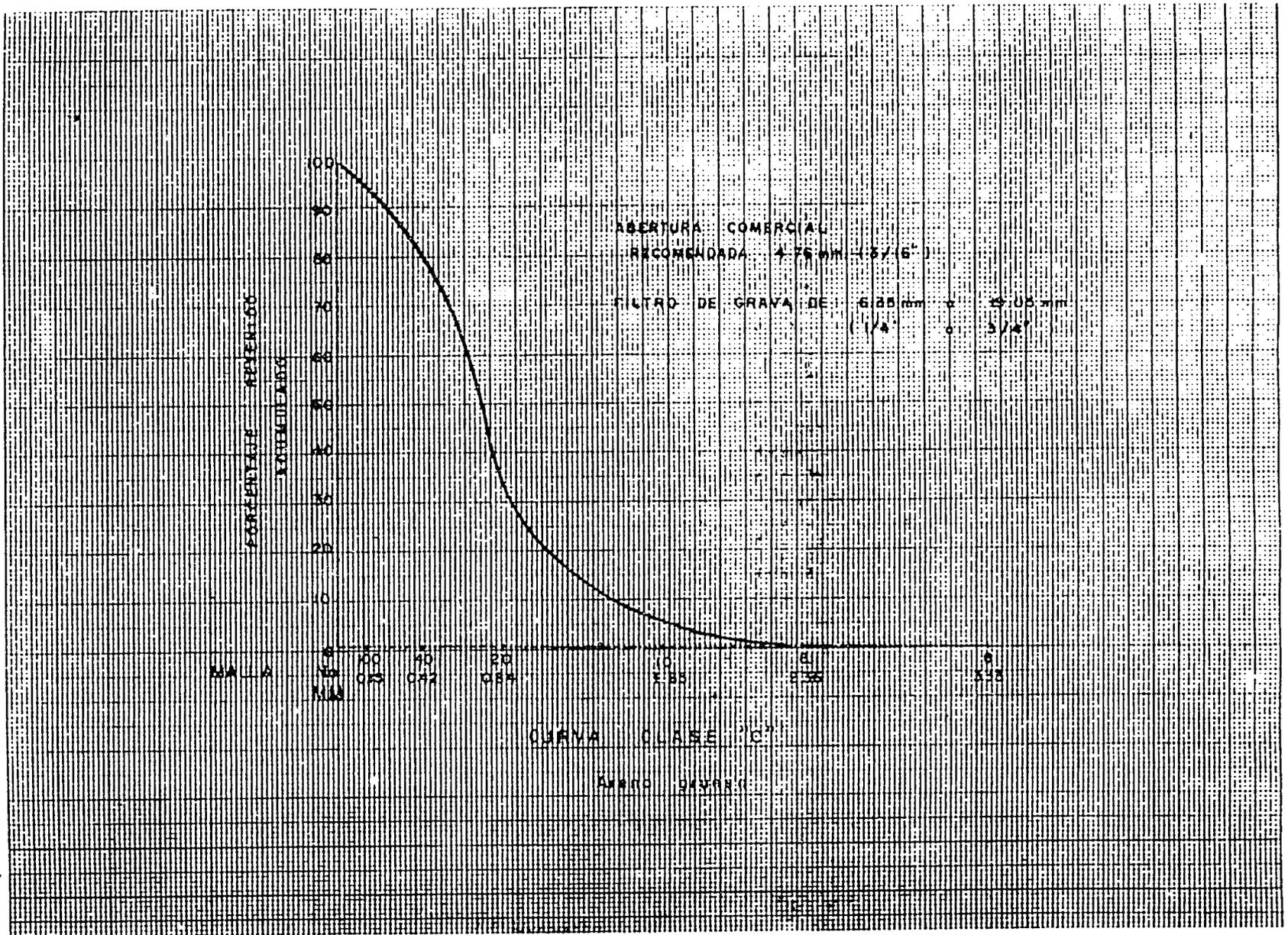
Curva Clase A:	Arena Fina
Curva Clase B:	Arena Fina y Gruesa
Curva Clase C:	Arena Gruesa
Curva Clase D:	Arena y Grava Fina



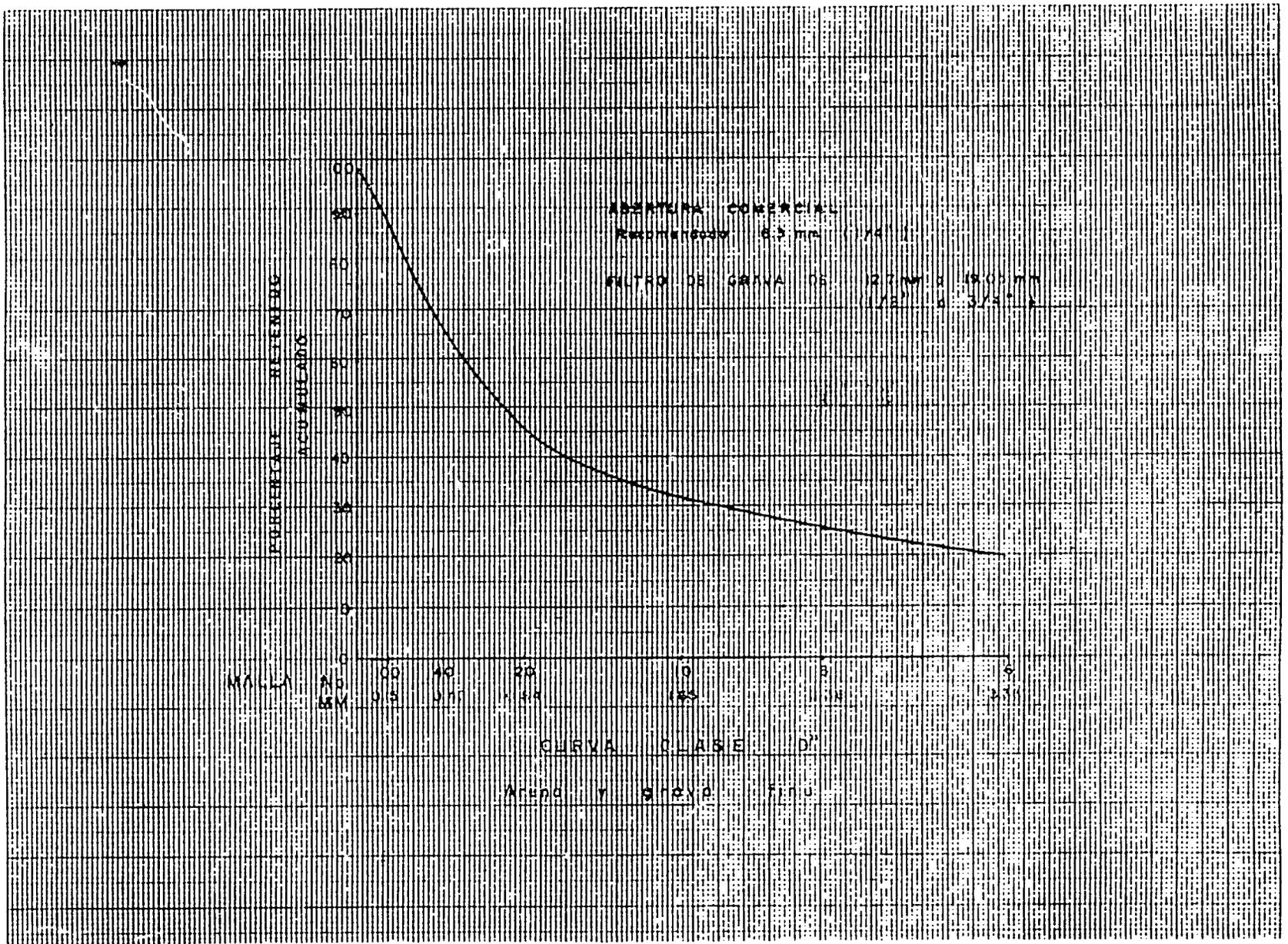
Best Available Document

Best Available Document





Best Available Document



La clasificación anterior puede ser adoptada como estándar en la perforación de pozos y suministrará una serie de términos comunes para describir la finura de las arenas y gravas de los acuíferos.

En las curvas de análisis de las arenas existe un punto específico como índice general de finura. Expresado como un tamaño de grano, este valor se usa frecuentemente para relacionar la finura o grueso de la arena con su permeabilidad o capacidad de producción de agua. Dicho valor se conoce como "Tamaño Efectivo" de la arena.

El término "Tamaño Efectivo" fué desarrollado por Allen Hazen en sus estudios sobre arenas para filtros en 1898. El lo definió como el tamaño de un grano de arena tal, que el 10% de las partículas son más pequeñas (o más finas) y el 90% son mayores que ese tamaño.

En las curvas presentadas este valor corresponde al 10% retenido de la figura No. 1; el tamaño efectivo de la arena es 0.010 de pulgada. Para la curva No. 2 (Clase A), el tamaño efectivo es de 0.003 de pulgada.

Otro valor usado frecuentemente como índice de finura es el que corresponde al 50% retenido, el cual para la figura No. 1 es de 0.022 de pulgada. Para las curvas de la Clase A y Clase B el 50% del tamaño es 0.007 de pulgada en ambos casos.

Cuando se trabaja con materiales bastante uniformes en los cuales la pendiente de la curva de análisis es bien pronunciada, el 50% del tamaño puede corresponder al tamaño promedio de la partícula de arena.

Sin embargo, cuando la pendiente general de las curvas es llana o tendida, tal como la curva de la Clase D, el 50% no es un indicador adecuado de la cantidad de partículas finas o gruesas de la arena.

PENDIENTE Y FORMA DE LA CURVA

La pendiente de la porción mayor de la curva puede expresarse de diferentes maneras, uno de los términos más usados en el "Coeficiente de Uniformidad" que también fué desarrollado por Hazen. Este coeficiente es definido y calculado como el cociente del valor correspondiente al 40% del retenido (o sea que el 60% es más fino que ese tamaño de partícula), y al 90% del retenido (Tamaño Efectivo). De la curva No. 1 se obtiene:

Coeficiente de Uniformidad	$\frac{0.026}{0.010} = 2.6$
40% retenido	0.026
Tamaño Efectivo	0.010

Para la curva de Clase B, el Coeficiente de Uniformidad es 2.05 - y para la Curva de Clase C el valor es 3.0.

El coeficiente de Uniformidad es la pendiente promedio de la curva del material entre el 90% y el 40% de los tamaños de las partículas. Entre menor sea su valor, más uniforme será la graduación de la arena entre estos límites. Valores grandes representan una menor uniformidad. En la misma forma que el tamaño efectivo el coeficiente de uniformidad está limitado en la práctica a los materiales que regularmente tienen una - - -

graduación uniforme. Este puede ser usado solamente cuando el valor del coeficiente de uniformidad es menor de 5.0.

Dicho coeficiente puede usarse en forma apropiada para describir la uniformidad requerida en un material para filtro de grava, ya que para este propósito se requiere material graduado.

El "Coeficiente de Distribución" es otro término usado para indicar la pendiente relativa de la curva de graduación. Este coeficiente se define como la raíz cuadrada del cociente que resulta de dividir el 25% -- retenido acumulado, entre el 75%. Para la curva No. 1, el 25% es 0.035 de pulgada y el 75% es 0.015. El cociente será $\frac{0.035}{0.015} = 2.3$ y por lo tanto el coeficiente de distribución será:

$$\sqrt{2.3} = 1.5$$

Para la curva de Clase C, el Coeficiente de Distribución es 1.4.

Para la curva de Clase D, éste es de 3.0.

La curva del análisis granulométrico de la arena para la mayoría de los materiales granulares que han sido depositados en corrientes de agua y por acción de las olas, tienen una forma de "S". La curva se deforma cuando el material es una mezcla de arena y grava y el contenido de grava es alrededor del 15% o más. Las curvas de la figura 1 y de las Clases A y C son típicas de una distribución en "S". La curva de la Clase D es una curva típica de material con contenido de granos gruesos. (parte derecha de la curva).

Materiales cuya graduación den una curva en forma de "S" tienen generalmente una porosidad mayor que aquellos materiales cuya curva es del tipo de apéndice (Clase D).

4.4.- ANALISIS QUIMICO. - Las aguas subterráneas que se localizan durante los trabajos de perforación, proceden generalmente de infiltraciones de aguas meteóricas o de escapes por filtración de cursos de ríos, lagos, etc. que siguen un flujo subterráneo a través de formaciones permeables aún cuando las aportaciones superficiales se hayan agotado. También pueden ascender de los magmas o proceder de lavas; en este caso, se conocen como "juveniles". Cuando quedaron ocluidas en las rocas al mismo tiempo que se formaron éstas, se les denomina "connatas"; pero a todas las aguas mencionadas aún cuando se encuentren bajo condiciones geológicas diferentes pero favorables, se les dá el nombre de "acuíferos".

Las aguas de los acuíferos no son siempre químicamente puras, sino que contienen soluciones o suspensiones de sustancias diversas, que pueden variar de contenidos muy débiles hasta concentraciones muy altas; como en el caso de las aguas dulces que se encuentran en las proximidades de los océanos que pueden ser invadidas y contaminadas por sus aguas saladas. Por lo tanto, es muy importante tomar muestras de las aguas de los pozos que se perforen y realizar con ellas los análisis físico-químicos necesarios de acuerdo a su contenido de Salinidad y Sodio.

Las muestras deberán ser tomadas mediante un muestreador de aguas profundas, en intervalos que no deberán ser mayores de 10 m. de longitud. Se vaciarán en frascos limpios con capacidad mínima de un litro.

Después de taparse perfectamente y de ser posible cubrir el tapón con lacre se etiquetarán, anotando los datos generales del pozo y profundidad correspondiente. El envío al laboratorio, deberá efectuarse dentro del lapso menor posible.

En igual forma que la salinidad, el sodio intercambiable y el boro contenido en las aguas, es perjudicial a los suelos, principalmente en aquellas áreas donde el drenaje es muy deficiente como consecuencia de baja permeabilidad, originando efectos dañinos en las plantas. Los suelos de las zonas áridas y semiáridas, presentan contenidos muy altos de sodio intercambiable y de boro debido a la baja precipitación y la máxima evaporación.

Si un suelo retiene en sus poros elementos gaseosos, se realiza el -- fenómeno de absorción. Cuando las partículas del suelo retienen cationes -- por efectos de las cargas eléctricas en la superficie, se produce una acumulación de cationes. Los cationes de sodio son fácilmente intercambiables. Una vez que los cationes adsorbidos se han combinado químicamente con -- las partículas del suelo, pueden ser reemplazados por otros cationes que -- se encuentren en la solución del suelo.

La capacidad de adsorción e intercambio de cationes que tiene un suelo se expresa generalmente en equivalentes químicos. Por ejemplo: el contenido de sodio en el agua se presente en forma de carbonatos y se llama -- "carbonato de sodio residual", expresándose en unidades de miliequivalen-- tes por litro. (meq/l).

El boro es otro elemento cuyo contenido en el agua es extremadamente tóxico para las plantas, aún cuando se encuentre en concentraciones muy bajas y su contenido se expresa en partes por millón (p.p.m.)

Para contrarrestar los efectos dañinos que presentan estos elementos es conveniente usar mejoradores químicos o fertilizantes, o efectuar prácticas de lavado en los estratos de saturación. Además de los minerales mencionados existen en el agua muchos otros entre los que podemos citar: potasio, cloro, azufre, magnesio, etc. pero como generalmente se presentan en concentraciones muy bajas no perjudican el crecimiento de las plantas. Por lo tanto antes de utilizar las aguas para riego deberán ser llevadas al laboratorio donde se clasifican de acuerdo con su contenido de salinidad y sodio y se determinan los límites permisibles de estas concentraciones y la manera en que deberán ser usadas.

A continuación se describe la manera en que deberán ser clasificadas estas aguas en el laboratorio.

CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO CONDUCTIVIDAD

C₁ BAJA SALINIDAD. - Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos y para casi todas las plantas, con pocas probabilidades de que aumente la salinidad.

C₂ SALINIDAD MEDIA. - Puede usarse, si se hacen lavados moderados. Se pueden sembrar plantas moderadamente tolerantes a las sales, en la mayoría de los casos, sin efectuar prácticas especiales para el control de sa-

linidad.

C₃ ALTAMENTE SALINA.- No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Aún con drenaje adecuado, se requiere un manejo especial para el control de la salinidad, además de seleccionar plantas que sean bastante tolerantes a las sales.

C₄ MUY ALTAMENTE SALINA.- No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, aunque puede usarse en ocasiones bajo circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado; - el agua para riego debe aplicarse en exceso, con el fin de llevar a cabo un lavado fuerte; las plantas que se seleccionen deberán ser muy tolerantes a las sales.

SODIO (R A S)

S₁ CON POCO SODIO.- Puede usarse para riego en casi todos los suelos, con poco peligro de que el sodio intercambiable llegue a niveles perjudiciales. Sin embargo, las plantas sensitivas al sodio como algunos frutales (fruto con hueso) y aguacate, pueden acumular concentraciones dañinas de sodio.

S₂ CON CONTENIDO MEDIO.- Será peligrosa en suelos de textura fina y en aquellos que contengan una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavados leves, a menos que haya yeso en el suelo. Esta agua puede usarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.

S₃ CON ALTO CONTENIDO. - Conducirá a niveles peligrosos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, por lo cual se requerirá de un manejo especial, buen drenaje, lavados fuertes y adiciones de materia orgánica. Los suelos yíferos no desarrollarán niveles perjudiciales de sodio intercambiable. Los mejoradores químicos deberán usarse, para el reemplazo de sodio intercambiable, excepto en el caso de que no sea factible el uso de mejoradores en aguas de muy alta salinidad.

S₄ CON MUY ALTO CONTENIDO. - Generalmente no es apropiada para el riego, excepto en casos de baja y quizá media salinidad, donde la solución del calcio del suelo o el empleo de yeso u otros mejoradores, hagan factible el uso de esta agua.

LIMITES PERMISIBLES DE BORO PARA VARIAS CLASES DE AGUA DE RIEGO.

Clase por Boro	Cultivos sensibles. PPM	Cultivos semi tolerantes. PPM	Cultivos tolerantes. PPM
1	0.33	0.67	1.00
2	0.33 a 0.67	0.67 a 1.33	1.00 a 2.00
3	0.67 a 1.00	1.33 a 2.00	2.00 a 3.00
4	1.00 a 1.25	2.00 a 2.50	3.00 a 3.75
5	1.25	2.50	3.75

Best Available Document

LIMITES DE "CARBONATO DE SODIO RESIDUAL"

Aguas que contengan más de 2.5 meq/lt de "Carbonato de Sodio Residual", no son apropiadas para fines de riego.

Aguas que contengan de 1.25 a 2.5 meq/ lt son tolerables, y aquellas que contengan menos de 1.25 son aptas para el riego.

4.5.- INTRUSION SALINA.- En las zonas costeras donde el agua es extraída de formaciones de contacto con el agua de mar, hay ocasiones que se presentan problemas debido a la intrusión salina originando el abandono de los pozos afectados. A la relación piezométrica entre el agua salada y el agua dulce se le conoce como "Principio de Ghyben Herzberg" llamado también "Principio de las Lentes Convergentes" y demuestra el fenómeno de la Intrusión Salina; en el que, cuando las aguas dulces y las de mar entran en contacto directo o se encuentran separadas por una formación relativamente permeable como consecuencia de una explotación irracional, el agua de mar que es más pesada tiene a desplazar el agua dulce que es más ligera.

Un indicio de que esto está ocurriendo en un pozo, es la observación de un incremento en el contenido de cloruros y una disminución en la carga piezométrica (carga hidráulica) y no siendo reversible este fenómeno, es necesario un largo período para restablecer las condiciones primarias.

"PRINCIPIO GHYBEN-HERZBERG"

En la figura 1:

h = Altura del agua dulce bajo el nivel del mar.

t = Altura del agua dulce sobre el nivel del mar.

g = Densidad del agua de mar que varía de 1.024 a - -
1.026.

$H = h \cdot t \dots \dots \dots (1)$

1 pie³ de agua de mar pesa 64.06 Lbs. y

1 pie³ de agua dulce pesa 62.50 Lbs.

Este principio se basa en el equilibrio de los pesos, entonces:

$$\frac{64.06}{62.50} = 1.025$$

es decir, el agua salada pesa 1.025 veces más que el agua dulce; -
por lo tanto, una columna de agua salada de L metros podrá equilibrar -
una columna de agua dulce de 1.025 L metros y como:

$$H = \text{altura de la columna de agua dulce} = 1.025 L.$$

$$\text{Pero } 1.025 = g$$

$$\text{Luego } H = gL \dots \dots \dots (2)$$

De las ecuaciones 1 y 2 se tiene:

$$gL = h + t$$

y como: $L = h$

entonces: $gh = h + t$

desarrollando: $gh - h = t$

$$h(g - 1) = t$$

$$h = \frac{t}{g - 1} \dots \dots \dots (3)$$

que es la expresión matemática del Principio de Ghyben Herzberg.

Para determinar el valor de t, es preciso conocer la profundidad -
del nivel estático y la cota de la boca del pozo.

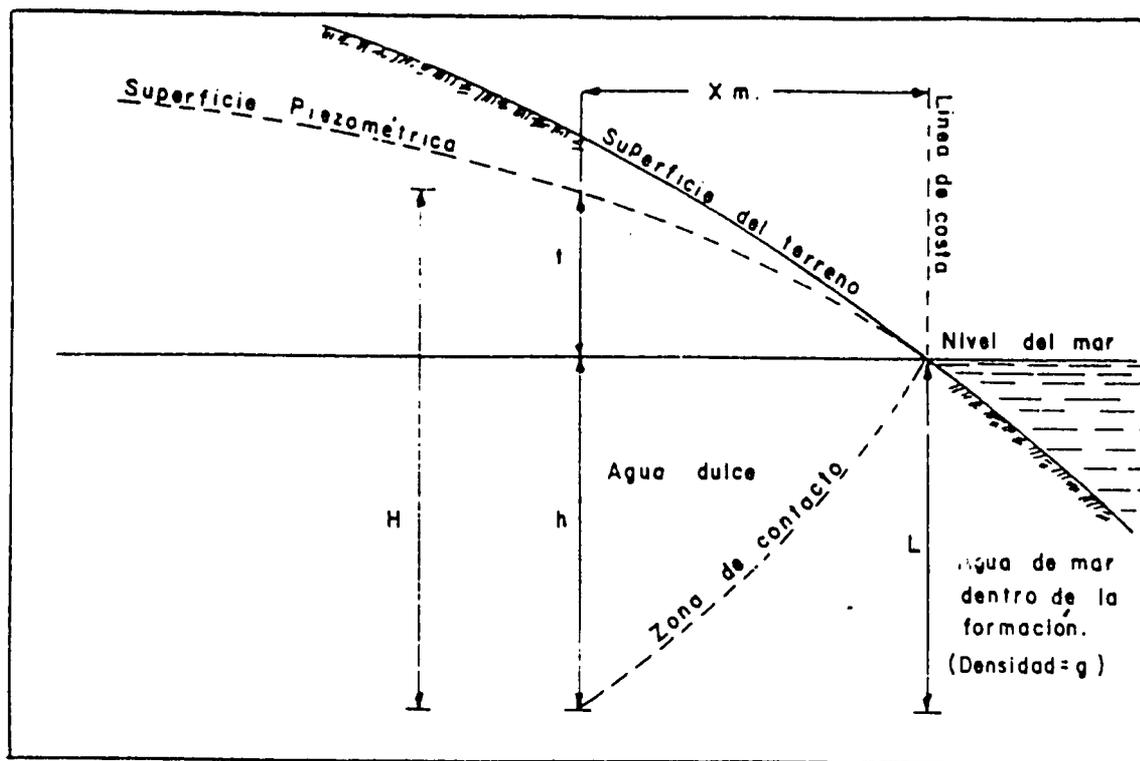


FIG. 1

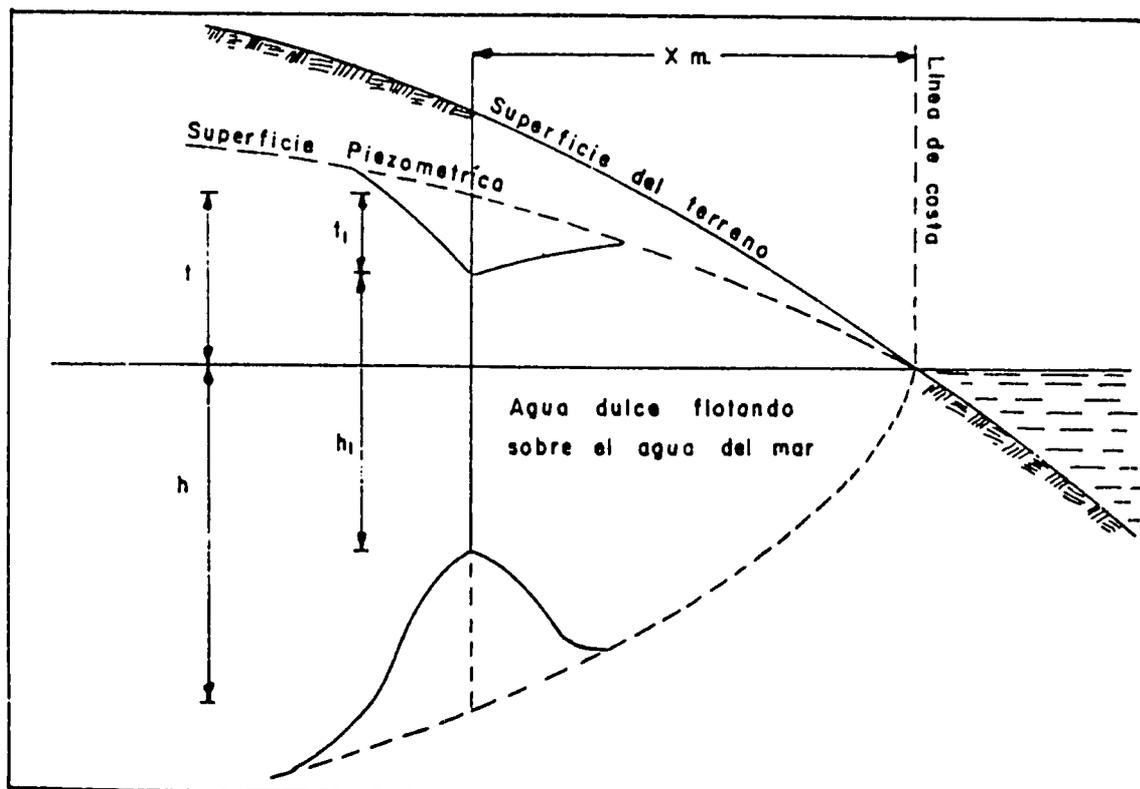


FIG. 2

Por ejemplo, si $t=1\text{m}$.

Sustituyendo en la ecuación (3) se tiene:

$$h = \frac{1}{1.025 - 1} = \frac{1}{0.025} = 40\text{m}.$$

Resumiendo: Por cada metro de agua dulce sobre el nivel del mar, - habrá 40 metros de agua dulce abajo del nivel del mar.

Si en un punto localizado a X distancia de la Costa se efectúa una extracción, en dicho punto se forman dos conos; uno de depresión en la parte superior y otro de succión en la parte inferior cuyos vértices son t_1 y h_1 respectivamente. Cuando $t=t_1$ y $h_1 = 0$, teóricamente el agua salada habrá llegado al nivel del mar provocando la destrucción del acuífero de agua -- dulce. Figura No. 2.

Por la fórmula (3) sabemos que $h_1 = \frac{t_1}{g - 1} = \frac{t_1}{0.025}$

Como consecuencia el descenso de la superficie piezométrica de igual salida asciende una cantidad igual a $h - h_1$, por lo tanto:

$$h - h_1 = \frac{t}{g - 1} - \frac{t_1}{g - 1} = \frac{t - t_1}{g - 1} = \frac{t - t_1}{0.025}$$

Si por ejemplo hacemos: $t_1 = 0.90\text{ m}$, $h - h_1 = \frac{0.90}{0.025} = 36\text{m}$

Esto quiere decir que si el agua dulce que se encuentra sobre el nivel del mar desciende 0.90 m por efecto de un bombeo excesivo, el agua de mar que se encuentra abajo del agua dulce subirá 36 m.

Esta relación no siempre es cierta, debido a que el equilibrio no es rigurosamente hidrostático, sino hidrodinámico, por lo tanto el agua

la masa flotante se mueve a través de la red de flujo y en este caso la densidad (ρ) del agua de mar será igual a 1; luego $h_1 = \frac{t}{1-1} = \infty$

Con el fin de determinar la capacidad límite de extracción en un punto determinado, se procurará que el abatimiento t_1 nunca alcance el valor de t y se fijen valores para t_1 de tal suerte que la profundidad del pozo no sobrepase el nivel de h_1 evitando así el contacto con el cono intrusivo.

5.- TUBERIAS DE ADEME.- Los pozos en explotación presentan a lo largo del tiempo variaciones y descensos en sus niveles de bombeo en virtud del origen y constitución geológica de los acuíferos, así como la forma de explotación de los mismos, creando la necesidad de preveer esos futuros abatimientos. Se diseña el pozo con una "Cámara de Bombeo" adecuada a esas fluctuaciones.

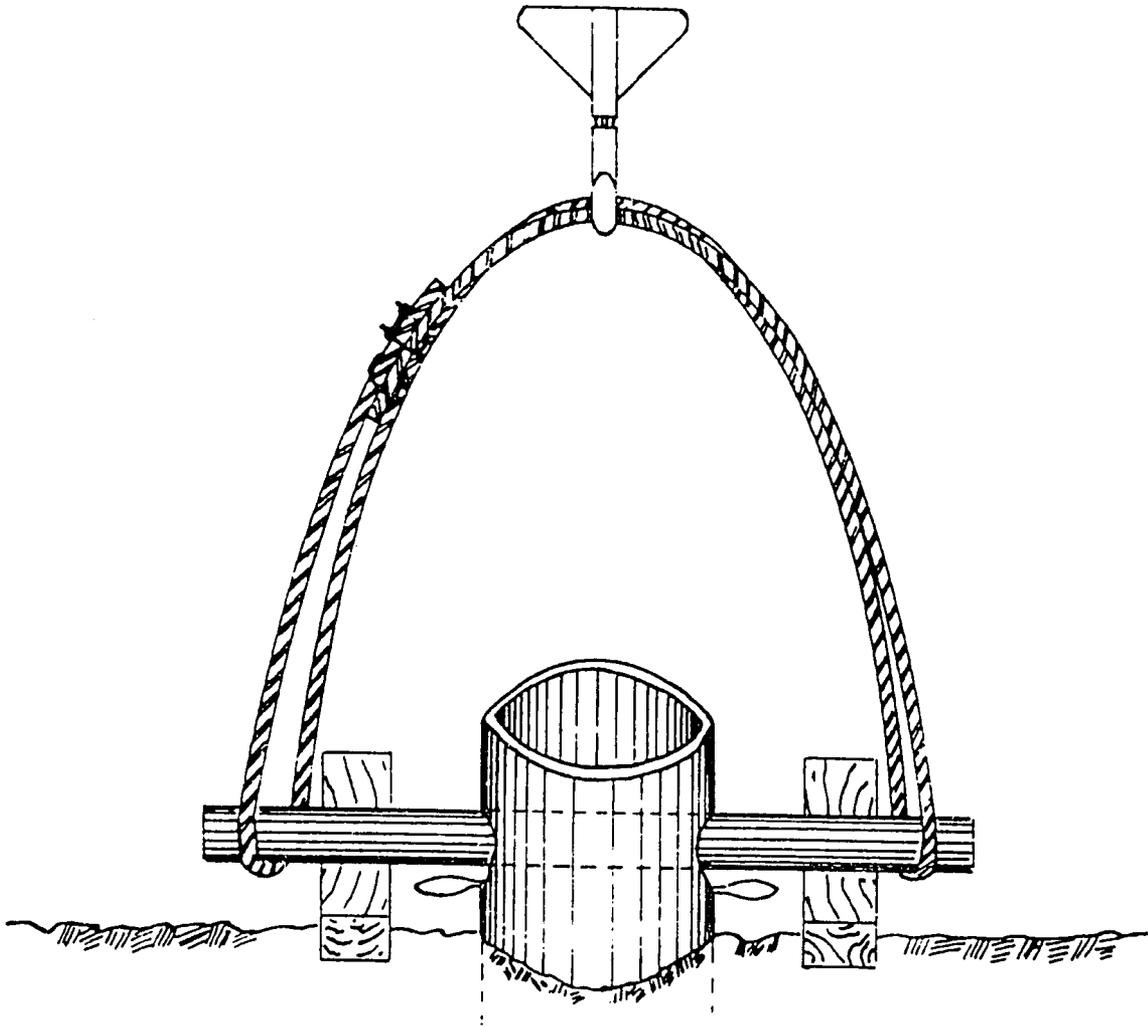
Su longitud será mayor que la suma del nivel de bombeo y los futuros abatimientos a fin de que al estar en operación los tazones de la bomba, éstos no queden frente al acuífero evitando la succión directa y el arenamiento consiguiente y su diámetro está en función del gasto por extraer.

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

A continuación se citan las Especificaciones a las que deberán apegarse los fabricantes de tuberías para el ademado de los pozos.

5.1.- ESPECIFICACIONES DE TUBERIAS.- Las Especificaciones Generales a las que deberán apegarse los fabricantes de tuberías para el ademado de los pozos, son:

a).- La lámina con la que se fabrique tanto la tubería ciega como el-



COLOCACION DE TUBERIA DE ADEME

TUBERIA PARA ADEME RANURA MAQUINADA LONGITUDINALMENTE TIPO II

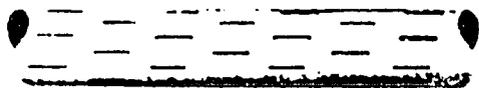
DIAMETRO		ESPESOR		PESO						No DE RANURAS POR		AREA DE INFILTRACION SEGUN ANCHO DE RANURA					
mm	pulg	mm	pulg	mm	3.97	mm	4.76	mm	6.35	pie	metro	mm	3.97	mm	4.78	mm	6.35
				pulg	156	pulg	185	pulg	250			pulg	.156	pulg	188	pulg	250
				lbs/pie	kg/m	lbs/pie	kg/m	lbs/pie	kg/m			pulg ² /pie	cm ² /m	pulg ² /pie	cm ² /m	pulg ² /pie	cm ² /m
219	8 5/8	4.78	.188	16.54	24.61	16.46	24.49	16.29	24.24	12.54	41.14	7.8	166	9.4	200	12.5	265
		6.35	.250	21.83	32.43	21.72	32.32	21.50	31.99								
		7.04	.277	24.11	35.26	23.98	35.69	23.74	35.33								
273	10 3/4	4.78	.188	20.76	30.89	20.66	30.75	20.47	30.47	14.63	48.00	9.14	194	11.0	233	14.6	310
		6.35	.250	27.44	40.84	27.32	40.65	27.07	40.28								
		7.09	.279	30.53	45.43	30.39	45.22	30.11	44.81								
324	12 3/4	4.78	.188	24.67	36.72	24.55	36.54	24.33	36.20	11.49	37.71	10.8	228	12.9	275	17.2	365
		6.35	.250	32.65	48.59	32.49	48.35	32.19	47.90								
		7.14	.281	36.60	54.47	36.42	54.20	36.08	53.70								
356	14	4.78	.188	27.07	40.29	26.94	40.09	26.67	39.69	13.58	44.57	12.8	270	15.3	325	20.4	431
		6.35	.250	35.84	53.34	35.66	53.07	35.30	52.53								
		7.94	.312	44.52	66.26	44.30	65.92	43.85	65.25								
406	16	4.78	.188	31.05	46.21	30.90	45.98	30.61	45.55	14.63	48.00	13.7	290	16.4	350	22.0	365
		6.35	.250	41.12	61.19	40.92	60.89	40.53	60.32								
		7.94	.312	51.12	76.07	50.85	75.68	50.38	74.97								
457	18	4.78	.188	35.01	52.10	34.85	51.86	34.54	51.40	15.68	51.43	14.7	311	17.6	375	23.5	498
		6.35	.250	46.39	69.04	46.18	68.73	45.77	68.11								
		7.94	.312	57.69	85.85	57.43	85.46	56.91	84.69								
508	20	5.56	.219	45.28	67.39	45.07	67.07	44.66	66.46	17.76	58.28	16.7	353	20.0	425	26.6	564
		6.35	.250	51.60	76.79	52.03	76.43	50.89	75.73								
		7.94	.312	64.19	95.52	66.88	95.07	63.30	94.20								

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura, 15 cms. aprox. (6"pulg)

Longitud: 6 metros aprox. (20 pies aprox.)

Para longitudes especiales favor de consultar con el departamento de ventas.

TUBERIA PARA ADEME RANURA MAQUINADA LONGITUDINALMENTE TIPO III

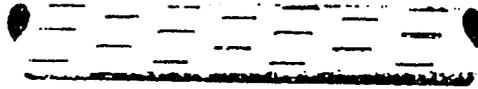


DIAMETRO	ESPESOR		PESOS						No DE RANURAS POR			AREA DE INFILTRACION SEGUN ANCHO DE RANURA				
	mm	pulg	mm	3.97	mm	4.76	mm	6.35	pie	metro	mm	3.97	mm	4.76	mm	6.35
			pulg	1.56	pulg	1.88	pulg	2.50			pulg	1.56	pulg	1.88	pulg	2.50
			lbs/pie	kg/m	lbs/pie	kg/m	lbs/pie	kg/m	pulg ² /pie	cm ² /m	pulg ² /pie	cm ² /m	pulg ² /pie	cm ² /m	pulg ² /pie	cm ² /m
168 6 5/8	4.78	.188	12.57	18.70	12.49	18.59	12.34	18.37	4.87	15.99		7.3	155	9.7	206	
	6.35	.250	16.55	24.63	16.45	24.48	16.26	24.19								
	7.11	.280	18.45	27.45	18.34	27.29	18.12	26.97								
219 8 5/8	4.78	.188	16.43	24.45	16.33	24.30	16.12	23.99	15.68	51.43	9.8	207	11.8	250	5.6	332
	6.35	.250	21.69	32.28	21.55	32.07	21.27	31.66								
	7.04	.277	23.96	35.65	23.80	35.42	23.49	34.96								
273 10 3/4	4.78	.188	20.60	30.66	20.47	30.47	20.23	30.10	18.81	61.71	11.8	249	14.1	300	18.8	398
	6.35	.250	27.24	40.53	20.07	40.28	26.74	39.79								
	7.09	.279	30.30	45.09	30.10	44.30	29.73	44.25								
324 12 3/4	4.78	.188	24.51	36.48	24.37	36.26	24.08	35.83	14.63	48.00	13.7	290	16.4	350	22.0	465
	6.35	.250	32.44	48.28	32.24	47.98	31.86	47.41								
	7.14	.281	36.37	54.12	35.39	53.47	35.71	53.14								
356 14	4.78	.188	26.87	39.93	26.68	39.71	26.33	39.19	17.76	58.28	16.7	353	20.0	425	26.6	564
	6.35	.250	35.57	52.93	35.67	53.09	34.86	51.87								
	7.94	.312	44.18	65.75	43.88	65.30	43.30	64.44								
406 16	4.78	.188	30.79	45.82	30.59	45.52	30.19	44.93	19.85	65.14	18.6	394	22.3	475	29.8	630
	6.35	.250	40.77	60.67	40.50	60.27	39.98	59.49								
	7.94	.312	50.68	75.42	50.34	74.91	49.69	73.94								
457 18	4.78	.188	34.69	51.63	34.47	51.30	34.04	50.65	21.95	72.00	20.6	436	24.7	524	32.9	697
	6.35	.250	45.98	68.43	45.68	67.98	45.10	67.12								
	7.94	.312	57.18	85.09	56.80	84.53	56.08	83.46								
508 20	5.56	.219	44.86	66.76	44.56	66.31	43.98	65.45	25.08	82.28	23.5	498	28.2	599	37.6	796
	6.35	.250	51.12	76.07	50.77	75.56	50.12	74.58								
	7.94	.312	63.58	94.62	63.16	93.99	62.33	92.76								

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura. Longitud: 6 metros aprox. Para longitudes especiales favor de consultar con el departamento de ventas.
 8 ranura. 15 cms. aprox. (6" Pulg.) (20 pies aprox.)

1168

TUBERIA PARA ADEME RANURA MAQUINADA LONGITUDINALMENTE TIPO IV



DIAMETRO		ESPESOR		PESO								No DE RANURAS POR		AREA DE INFILTRACION SEGUN ANCHO DE RANURA					
mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	3.97	mm.	4.78	mm.	6.35	pie	metro	mm.	3.97	mm.	4.78	mm.	6.35		
				pulg.	.156	pulg.	.188	pulg.	.250			pulg.	.156	pulg.	.188	pulg.	.250		
				lbs/pie	kg/mt.	lbs/pie	kg/mt.	lbs/pie	kg/mt.			pulg. ² /pie	cm. ² /m.	pulg. ² /pie	cm. ² /m.	pulg. ² /pie	cm. ² /m.		
219	8 5/8	4.78	.188	16.12	23.99	15.05	23.74	15.62	23.24	25.09	82.28	15.6	331	18.9	400	25.1	531		
		6.35	.250	21.27	31.66	21.05	31.32	20.61	30.67										
		7.04	.277	23.49	34.96	23.24	34.59	22.75	33.86										
273	10 3/4	4.78	.188	20.19	30.04	19.96	29.71	19.56	29.11	31.35	102.85	19.6	415	23.6	499	31.4	664		
		6.35	.250	26.68	39.71	26.40	39.29	25.85	38.47										
		7.04	.279	29.68	44.17	29.36	43.69	29.42	43.78										
324	12 3/4	4.78	.188	24.05	35.79	23.80	35.42	23.32	34.71	24.04	78.86	22.5	477	27.1	574	36.0	763		
		6.35	.250	31.82	47.35	31.49	46.86	30.86	45.92										
		7.14	.281	35.67	53.08	35.30	52.53	34.58	51.46										
356	14	4.78	.188	26.35	39.21	26.06	38.78	25.50	37.95	28.22	92.57	26.5	560	31.8	674	42.3	896		
		6.35	.250	34.88	51.90	34.49	51.33	33.75	50.22										
		7.94	.312	43.32	64.47	42.84	63.75	41.91	62.37										
406	16	4.78	.188	30.16	44.88	29.83	44.39	29.19	43.44	32.39	106.28	30.4	643	36.6	774	48.61	1029		
		6.35	.250	39.94	59.44	39.50	58.78	38.65	57.51										
		7.94	.312	49.64	73.87	49.09	73.05	48.03	71.47										
457	18	4.78	.188	33.96	50.54	33.59	49.99	32.87	48.91	36.58	120.00	34.3	726	41.3	874	54.86	1161		
		6.35	.250	45.01	66.98	44.51	66.24	43.55	64.81										
		7.94	.312	55.97	83.29	55.34	82.36	54.14	80.57										
508	20	5.56	.219	43.95	65.40	43.46	64.68	42.52	63.28	40.75	133.71	38.2	809	46.0	974	61.1	1294		
		6.35	.250	50.08	74.52	49.52	73.70	48.45	72.10										
		7.94	.312	62.29	92.69	61.59	91.66	60.26	89.67										

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura. 15 cms. aprox. (6" Pulg. aprox.)

Longitud: 6 metros aprox. (20 pies aprox.)

Para longitudes especiales favor de consultar con el departamento de ventas.

TUBERIA PARA ADEME RANURADA TIPO CONCHA VI

DIAMETRO		ESPESOR		PESO		No DE RANURAS POR		AREA DE INFILTRACION SEGUN ANCHO DE RANURAS					
mm.	pulg.	mm.	pulg.	lbs/pie	kg/mt.	pie	metro	mm.	3.18	mm.	4.78	mm.	6.35
								pulg.	.125	pulg.	.188	pulg.	.250
								pulg. ² /pie	cm. ² /mt.	pulg. ² /pie	cm. ² /mt.	pulg. ² /pie	cm. ² /mt.
219	8 5/8	4.78	.188	16.94	25.23	29.26	96	3.5	74	5.8	122	8.6	181
		6.35	.250	22.36	33.31								
		7.04	.277	24.70	36.79								
273	10 3/4	4.78	.188	21.21	31.59	19.51	64	3.60	76	5.9	125	9.3	197
		6.35	.250	28.04	41.77								
		7.09	.279	31.20	46.47								
324	12 3/4	4.78	.188	25.22	37.57	40.75	133.71	10.8	229	17.1	361	24.0	509
		6.35	.250	33.38	49.72								
		7.14	.281	37.42	55.74								
356	14	4.78	.188	27.73	41.30	30.31	99.43	12.4	262	18.6	393	25.0	530
		6.35	.250	36.71	54.68								
		7.94	.312	45.61	67.94								
406	16	4.78	.188	31.75	47.29	38.67	126.86	14.7	311	22.8	483	30.6	647
		6.35	.250	42.05	62.63								
		7.94	.312	52.27	77.86								
457	18	4.78	.188	35.76	53.26	40.75	133.71	14.5	307	22.7	480	31.6	669
		6.35	.250	47.39	70.59								
		7.94	.312	58.94	87.79								
508	20	5.56	.219	46.31	68.92	44.94	147.43	15.7	333	24.9	527	34.4	729
		6.35	.250	52.73	78.54								
		7.94	.312	65.60	97.71								

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura. 15 cms. aprox. (6" pulg.)

longitud: 6 metros aprox. (20 pies aprox.)

Para longitudes especiales favor de consultar con el departamento de ventas.

cedazo, deberá ser nueva y tener los siguientes espesores:

<u>D I A M E T R O</u>	<u>ESPESOR RECOMENDADO</u>
254 mm (10")	4.76 mm (3/16")
305 mm (12") y 356 mm (14")	6.34 mm (1/4")
406 mm (16")	6.34 mm (1/4") y 7.92 mm (5/16")

b).- Cada tramo deberá tener sus extremos lisos, con bisel a 30 - - grados y una sola costura longitudinal soldada por resistencia eléctrica.

c).- La longitud de cada tramo será de 6.10 m (20') aproximadamente y su fabricación se realizará en molino continuo.

d).- El diámetro de las tuberías y cedazos quedará establecido en el diseño.

e).- La porción ranurada de los cedazos comprenderá una longitud de 5.60 m. es decir, contendrá tramos lisos de 25 cm. en cada uno de sus extremos.

f).- Los cedazos serán ranurados o de persiana sencilla troquelados en fábrica y sus ranuras serán en sentido horizontal, alternas y discontinuas.

g).- Las ranuras tendrán una longitud mínima de 50.8 mm (2") y el ancho de la abertura podrá ser de 3.18 mm (1/8"), 4.78 mm (3/16") ó 6.35 mm

h).- El área de infiltración promedio por metro lineal será de:

240 cm² para cedazo de 305 mm (12") de diámetro.

250 cm² para cedazo de 356 mm (14") de diámetro.

300 cm² para cedazo de 406 mm (16") de diámetro.

5.2.- TUBERIAS DE CONTRA ADEME.- Son las tuberías lisas que se emplean en los trabajos de perforación para impedir los derrumbes de las formaciones que constituyen las paredes de los agujeros o para el confinamiento de acuíferos o formaciones que se requiera aislar por medio de cementaciones.

En el primer caso pueden tener carácter provisional o definitivo, dependiendo de las posibilidades y conveniencia de su rescate; no así en el segundo, que de antemano está programada su instalación definitiva en el pozo.

Por cuanto a Normas de Fabricación se refiere, las características de los contra-ademes son iguales a las de la tubería lisa para ademe, quedando a juicio del Ingeniero Residente, los diámetros, espesores y longitudes por emplearse.

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

presente una desviación mayor de $1/2$ grado, en 100 m. de longitud.

El procedimiento mencionado consiste en efectuar a 180 grados en — el extremo superior de los tramos de tubería, 2 cortes de sección circular de aproximadamente 10 cm. de diámetro, al mismo nivel, empleando oxiacetileno, sostenidos por una base o pié, de tal manera que al doblarse al — exterior y precisamente hacia abajo, queden sujetos por la base dejando libre los agujeros para introducir en ellos la barra de la que se cuelga el — ademe. Después de unidos este tramo con el superior, y retirada la barra, se deberá calentar la base de la "oreja" antes de volverla a su posición original y cubrir con soldadura el espacio que dejó el corte.

DISEÑO Y
TERMINACION DE POZO

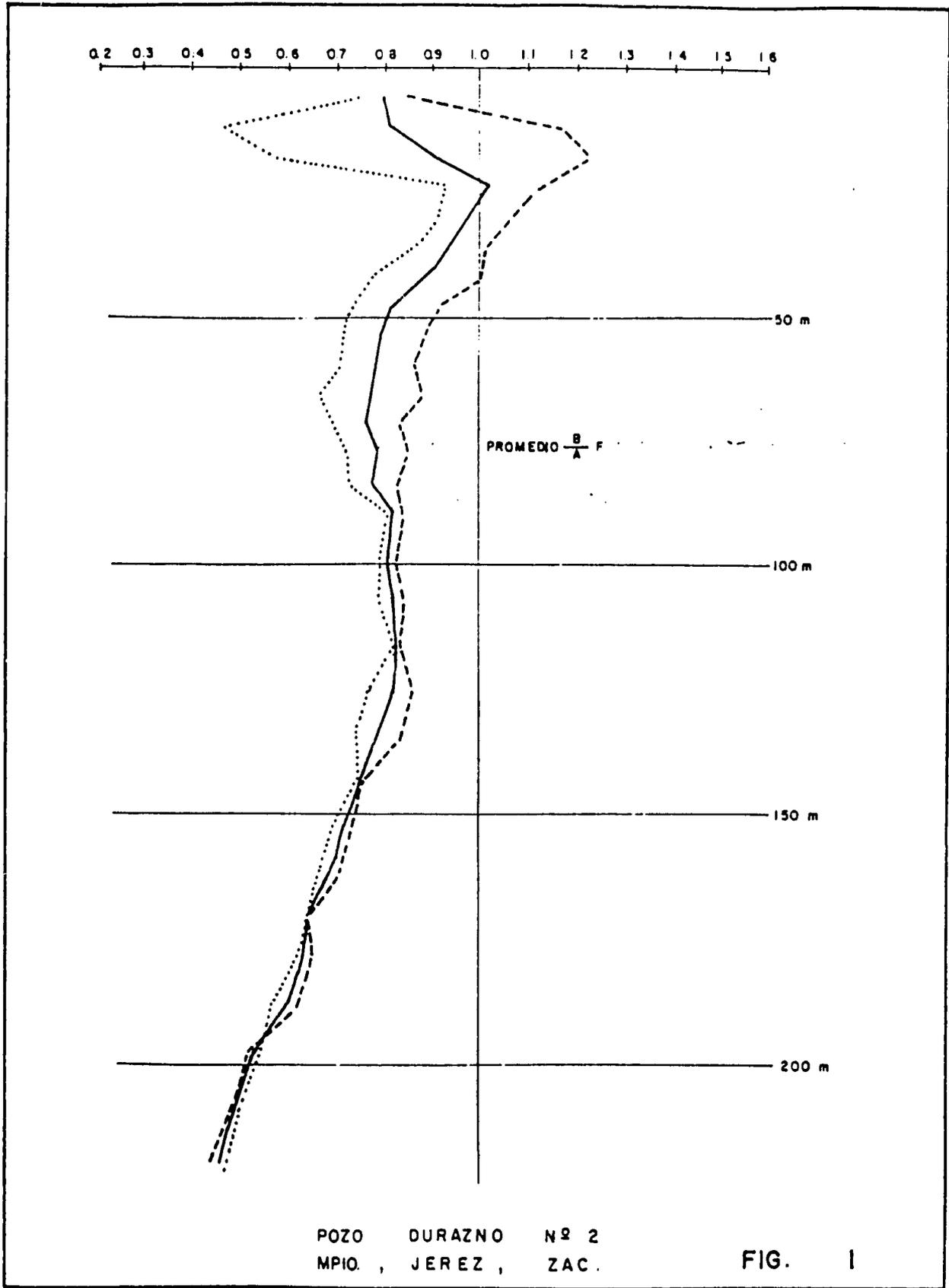
6.- DISEÑO Y TERMINACION DE POZO.- Como su nombre lo indica, el Diseño y Terminación de un pozo comprende las últimas etapas constructivas del mismo. Por lo que se refiere a la perforación deberá ser vertical y conservar el diámetro estipulado en toda su longitud hasta alcanzar la profundidad establecida; las tuberías de ademe deberán apegarse a las Especificaciones Generales y Particulares dictadas al respecto sobre calidad de fabricación, diámetro, espesores, longitudes de tramos lisos y ranurados tipo número de ranuras y abertura de éstas, área de infiltración por metro, etc., ubicación de los cedazos respecto a los acuíferos; verticalidad del ademe; clasificación de las gravas para formación del filtro; cementaciones, etc., así como a los métodos, sistemas y herramientas utilizados para su ejecución.

Lo anterior implica una estricta vigilancia para que la terminación del pozo sea correcta.

6.1.- DISEÑO DE UN POZO.- Para ilustrar lo anterior a continuación se describirá la correlación de estudios y diseño de construcción del pozo El Durazno No. 2 en el Municipio de Jeréz en el Estado de Zacatecas.

SONDEO GEOELECTRICO.- El sondeo geoelectrónico efectuado se corrió a una profundidad de 220 m. aplicando el Método de Relaciones de Caídas de Potencial, 2a. Variante. (Fig. 1).

Con los datos obtenidos, se obtuvo una gráfica que muestra hasta la



176

profundidad aproximada de 25 m. un comportamiento anisotrópico de las curvas, lo cual indica una diferencia en las características geoelectricas del terreno a esa profundidad (saturación, granulometría, compacidad, composición mineralógica, etc.) de los 25 a los 80 m. aproximadamente la anisotropía de las curvas tiende a disminuir y de los 80 m. a la profundidad total se presenta una isotropía más o menos definida, lo cual puede indicar formaciones con características físicas similares.

De los 40 m a la profundidad total se presentan condiciones de saturación, siendo menores de los 160 a los 220 m.

Con los resultados anteriores, se procedió a elaborar el programa de perforación, el cual consistió en efectuar una perforación con carácter de exploración a la profundidad de 160 m., en diámetro de 12 1/4".

El reconocimiento geohidrológico, indicó que la zona de El Durazno se encuentra localizada dentro de un valle en el que predominan las riolitas, éste se encuentra formado por materiales detríticos, tales como arenas, gravas, boleos, etc.

Tomando en consideración que los materiales por atravesar son de acarreo, se optó por emplear un equipo de perforación tipo rotatorio.

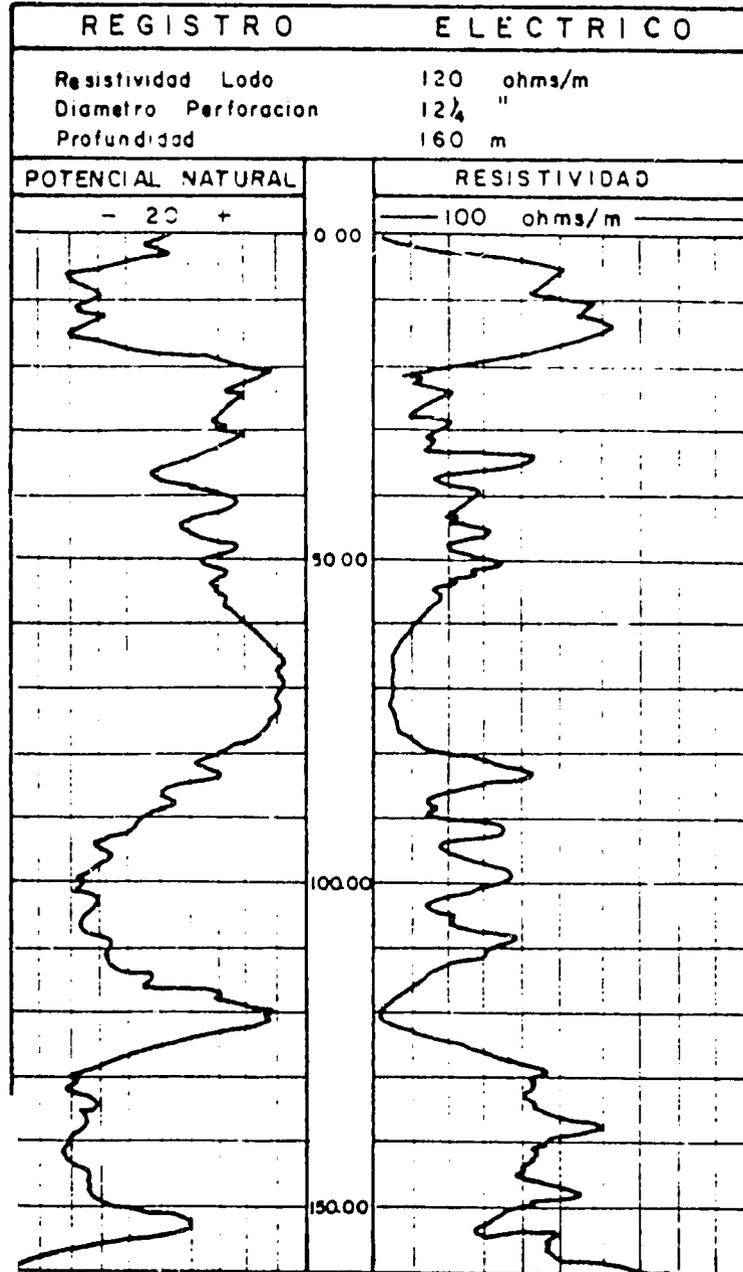
Una vez efectuada dicha perforación se procedió con el auxilio de las muestras obtenidas, a formar el corte litológico.

CORTE LITOLÓGICO:

0	-	2	m	Tierra vegetal.
2	-	22	m	Arenas gruesas, gravas y boleos.
22	-	25	m	Arenas gruesas.
25	-	65	m	Arcillas con intercalaciones de arena fina.
65	-	73	m	Arcilla.
73	-	120	m	Arenas de grano medio con poca arcilla.
120	-	158	m	Arenas de grano fino a medio.
158	-	160	m	Arenas gruesas y gravas.

REGISTRO ELECTRICO. - Se empleó un aparato registrador Marca-Widco de un electrodo, corriéndose hasta una profundidad de 160 m, tomando una curva de potencial natural y otra de resistividad, con los siguientes resultados. (Fig. 2)

0	a	25	m	En este tramo las curvas de potencial natural y resistividad indican una formación permeable, constituida probablemente por gravas y boleos.
25	a	65	m	Formación constituida por arenas de grano medio a fino.
65	a	73	m	Formación poco permeable, constituida de material arcilloso.
73	a	120	m	Las curvas de potencial natural y resistividad, nos indican la presencia de un cuer-



POZO DURAZNO N° 2
 MPIO. , JEREZ , ZAC.

FIG. 2

po poroso y permeable, constituido por arenas de grano medio a grueso con intercalaciones probables de gravas de poco espesor.

120 a 160 m

Formación constituida por intercalaciones de arenas gruesas y gravas. En el tramo comprendido de 155 a 160 m se aprecia un incremento de la porosidad y permeabilidad al tenerse un cuerpo formado probablemente por gravas; se considera conveniente profundizar el pozo hasta perforar completamente la zona de las gravas y tener un cambio de formación.

ANALISIS GRANULOMETRICO. - Por el Método de Cuarteo se analizaron 5 muestras, seleccionadas por la correlación del Corte Litológico y Registro Eléctrico con los siguientes resultados:

ANALISIS GRANULOMETRICO POZO EL DURAZNO No. 2

<u>TRAMO 0 - 25</u>			
No. Malla	Peso Retenido en gramos	% Retenido Parcial	% Acumulado
6	217.30	21.73	21.73
10	214.60	21.46	43.19
20	202.70	20.27	63.46
40	72.40	7.24	70.70
60	39.40	3.94	74.64
100	24.40	2.44	77.08
Charola	229.20	22.92	100.00
Sumas:	1000.00	100.00	
Peso con el que se efectuó la prueba		1000 grs.	

TRAMO 25 - 65			
No. Malla	Peso Retenido en gramcs.	% Retenido Parcial	% Acumulado
6	149.70		
10	120.10	14.97	14.97
20	180.90	12.01	26.98
40	100.00	18.09	45.07
60	68.10	10.00	55.07
100	36.10	6.81	61.88
Charola	345.10	3.61	65.49
Sumas:	1000.00	34.51	100.00
		100.00	

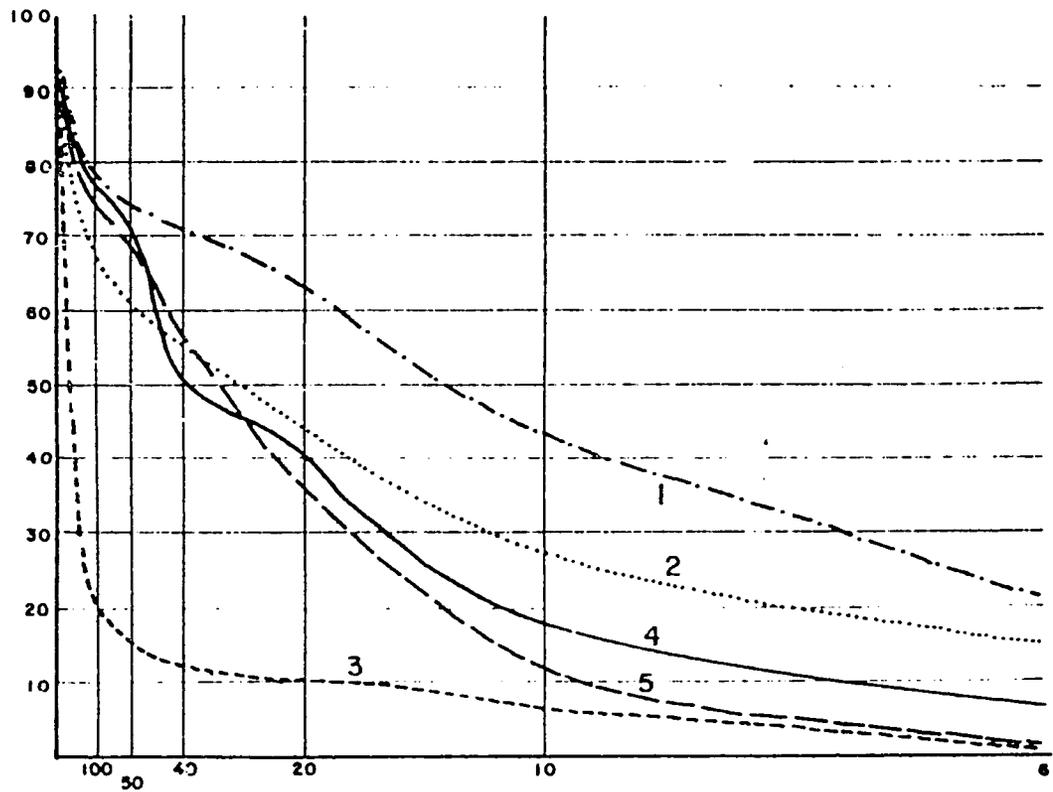
Peso con el que se efectuó la prueba 1000 grs.

TRAMO 65 - 73			
No. Malla	Peso Retenido en gramos	% Retenido Parcial	% Acumulado
6	10.00		
10	70.00	1.00	1.00
20	106.00	7.00	8.00
40	129.00	10.60	18.60
60	148.00	12.90	31.50
100	206.00	14.80	46.30
Charola	331.00	20.60	66.90
Sumas: ?	1000.00	33.10	100.00
		100.00	

Peso con el que se efectuó la prueba 1000 grs.

Best Available Document

ANALISIS GRANULOMETRICO



POZO DURAZNO No. 2 , MPIO. JEREZ ZACATECAS

FIG. 3

 TRAMO 73 - 120

No. Malla	Peso Retenido en gramos	% Retenido Parcial	% Acumulado
6	61.50	6.15	6.15
10	109.00	10.90	17.05
20	229.40	22.94	39.99
40	207.90	20.79	60.78
60	119.30	11.93	72.71
100	47.10	4.71	77.42
Charola	225.60	22.58	100.00
Sumas:	1000.00	100.00	

Peso con el que se efectuó la prueba 1000 grs.

 TRAMO 120 - 161

No. Malla	Peso Retenido en gramos	% Retenido Parcial	% Acumulado
6	26.80	2.68	2.68
10	90.70	9.07	11.75
20	243.90	24.39	36.14
40	205.60	20.56	56.70
60	120.10	12.01	68.71
100	47.20	4.72	73.43
Charola	265.70	26.57	100.00
Sumas:	1000.00	100.00	

Peso con el que se efectuó la prueba 1000 grs.

Graficando los datos obtenidos en las pruebas de granulometría se obtiene la (Fig. 3).

Al comparar las figuras de las Curvas Tipo A, B, C y D con la obtenida en nuestra prueba, se podrá observar una similitud de las muestras 1, 2, 4 y 5 con la Curva Tipo Clase D y la muestra 3 con la Curva Clase Tipo B.

Al comparar al detalle las Curvas Tipo B y D se podrá notar que en la primera se tiene 20% de material retenido en la malla 100(0.006") y en la curva Tipo D se tiene para las mismas condiciones 80%.

Lo anterior indica que la muestra No. 3 analizada corresponde de acuerdo a la clasificación MIT a arcilla y limos.

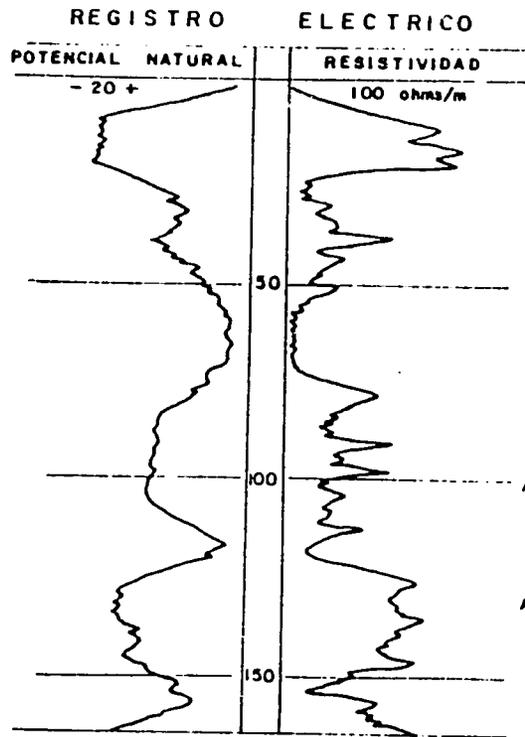
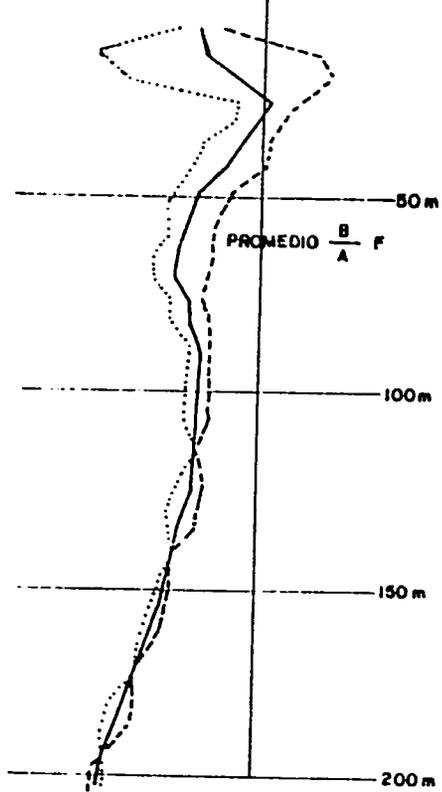
Para determinar el filtro de grava adecuado se selecciona de las formaciones posibles productoras la que presente material más fino, siendo ésta la correspondiente a la muestra No. 2. Observando la Curva Tipo D se tiene un análisis granulométrico de una formación constituida por arena y grava fina, para la cual se requiere un filtro de grava de 12.7 mm (1/2") a 19.05 mm (3/4") y una abertura de ranura de 6.3 mm (1/4").

6.2.- CORRELACION DE ESTUDIOS.- Con el objeto de estar en condiciones de correlacionar los estudios efectuados se elaboró la Fig. 4, en la cual se podrá observar el sondeo geoelectrico, registro eléctrico y corte litológico.

De la comparación de los mismos, se podrá observar lo siguiente:

CORRELACION DE ESTUDIOS

SONDEO GEOELECTRICO RCP
 Q2, Q4, Q6, Q8, Q10, Q12, Q14



DISEÑO DE CONSTRUCCION

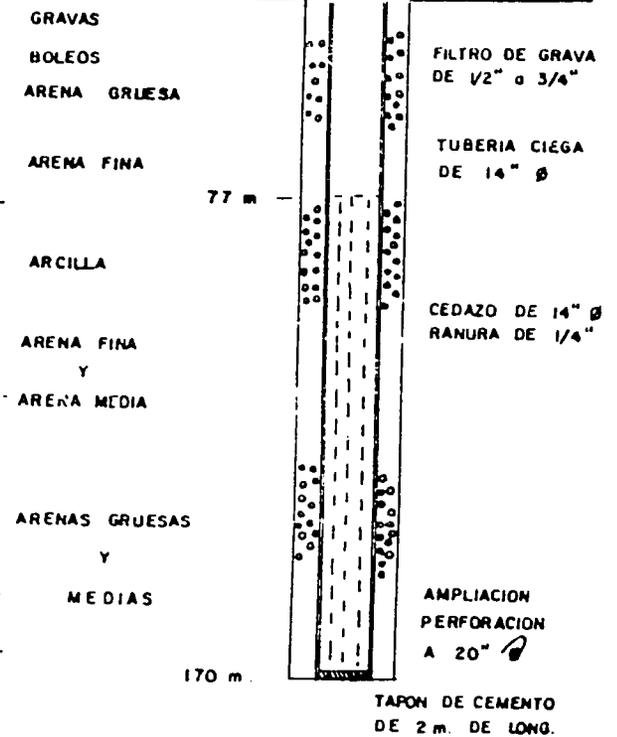


FIG. 4

TRAMO

- 0 25 m En el sondeo geoelectrico se presenta un comportamiento anisotropico de las curvas, producido por una diferencia de las características geoelectricas originadas de acuerdo al registro electrico y el corte litologico de una formacion no homogenea compuesta de gravas, arenas, boleos, etc.
- 25 80 m En el sondeo geoelectrico se observa que la - - anisotropia original tiende a desaparecer. La curva de el registro electrico y el corte litologico indican una formacion que tiende a ser homogenea. El tramo de arcilla comprendido de los 65 a los 73 m por su poco espesor no se encuentra definida en la curva del sondeo pero si el registro electrico y corte litologico.
- 80 - 125 m El sondeo nos indica un cuerpo homogeneo que se confirma por el registro electrico y el corte litologico las arenas de grano fino a medio - integran una formacion uniforme.
- 125 - 160 m El registro electrico y el corte litologico indican una formacion de arenas medias a gruesas con pequenas intercalaciones de arena fina y ar

cilla. Por su mayor permeabilidad es probablemente el acuífero de mayor potencia.

Tomando en consideración que el reconocimiento geohidrológico de la zona indica niveles estáticos del orden de los 30 m y niveles de bombeo de los 63 m aproximadamente, al correlacionar los estudios, se ve la conveniencia de colocar tubería lisa hasta después de la formación arcillosa, con el objeto de proteger el pozo de infiltraciones de éste material al interior del pozo. Así mismo se puede observar que las zonas productoras quedarán comprendidas de los 80 a 160 m y con menor aportación las comprendidas de los 30 a los 65 m por la separación de la capa arcillosa.

Al recomendar el registro eléctrico profundizar el pozo, por la presencia de material granular grueso en el fondo, y confirmar éste material el análisis granulométrico de la última formación analizada, se continuó la perforación hasta los 170 m, profundidad en la que se detectó una capa arcillosa.

DIAMETRO DEL ADEME.- De acuerdo a los pozos existentes en la zona, el gasto que se pretende obtener está comprendido entre 60 y 80 lps. Por lo que el diámetro del ademe recomendado será de 356 mm (14").

DIAMETRO DE LA PERFORACION.- Para alojar un ademe de 356 mm (14") con un filtro de grava de un espesor de 76 mm (3") se requiere un diámetro de perforación de 508 mm (20").

AREA DE INFILTRACION

$$Q = V A_T \quad A_T = \frac{Q}{V} = \frac{80\,000 \text{ cm}^3/\text{seg.}}{3 \text{ cm}/\text{seg.}}$$

$$A_T = 26\,666.66 \text{ cm}^2$$

Determinación del espesor total posible productor.

Profundidad del pozo 170.00 m

Nivel de Bombeo probable 65.00 m

Formación arcillosa de 68 a 73 m 8.00 m

Longitud ademe liso para evitar infiltración
material fino 4.00 m

Log. Acuífero = Prof. pozo - Zonas no Produc. = 170 - 77.00 = 93.0m

$$A = \frac{A_T}{L.A.} = \frac{26\,666.66 \text{ cm}^2}{93 \text{ m}} = 287 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Area de infiltración = 287 cm²/m

DISTRIBUCION TUBERIA DE ADEME. - La distribución de la tubería

de ademe quedará en la forma siguiente:

0.00 m	a	77.00 m	=	77.00	Tubería lisa
77.00 m	a	170.00 m	=	93.00	Tubería ranurada
168.00 m	a	170.00 m	=		Colocar tapón de fondo

Especificación Tubería Ranurada:

Ancho de abertura = 6.3 mm (1/4")

Area de infiltración = 287 cm²

Longitud total = 93 m

6.3.- TERMINACION DEL POZO.- Comprende las operaciones necesarios para la terminación de un pozo en base a un diseño previamente elaborado.

Entre las etapas más importantes en la terminación de un pozo, se encuentra la correcta colocación de la tubería de ademe, el tapón de fondo, el filtro de grava y el lavado primario y agitación mecánica del mismo.

6.4.- TAPON DE FONDO.- Para evitar los arenamientos originados por la turbulencia del bombeo por el extremo inferior del ademe y forzar la entrada de los finos por las ranuras del cedazo durante el desarrollo, se coloca lo que se denomina Tapón de Fondo. En la porción inferior del ademe, se deposita una lechada agua-cemento cuyo volumen ocupará de 1.00 a 1.50 ml. de dicha tubería; el colado se realiza en la superficie preferentemente, pero puede efectuarse dentro del pozo una vez colocada la tubería de ademe. En ningún caso se deberá soldar placas de acero o cortar gajos en el extremo de la tubería en lugar del tapón de cemento, en virtud que el empleo de esta técnica, impide la profundización del pozo, en caso de ser necesario; mientras que el tapón de cemento es fácilmente perforable.

6.5.- FILTRO DE GRAVA.- Si los acuíferos explotables proceden de formaciones aluviales, en las que son frecuentes las intercalaciones de arcillas, arenas y gravas de diferentes tamaños, al realizar el diseño del pozo deberá programarse un espacio anular entre la tubería de ademe y las paredes del agujero, capaz de permitir la formación de un filtro de grava -

cuya función es impedir que los materiales finos de la formación, sean - -
arrastrados al interior del pozo durante el bombeo.

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

Las gravas destinadas para el filtro estarán lavadas, ser arredon-
deadas y del calibre que especifique el análisis granulométrico o de las - -
aberturas del cedazo; en este caso, se procederá en la siguiente forma: Pa
ra bancos con granulometría uniforme, se podrá utilizar el material que -
pasando por la criba de 19.05 mm (3/4") quede retenido en la de 4.76 mm
(3/16"). Cuando en los bancos de agregados predominen los tamaños gran-
des, el filtro quedará compuesto por el 40% de materiales que pasen por -
la criba de 10.05 mm (3/4") y sean retenidos en la de 9.53 mm (3/8") y el
60% del material que pase por la criba de 9.53 mm (3/8") y sea retenido -
en la de 4.76 mm (3/16").

Los materiales seleccionados para el filtro deberán revolverse pre-
viamente a su colocación en el espacio anular, y para vaciarlos deberán -
utilizarse palas manejadas a mano. Su volumen será equivalente al teóri-
co calculado más el 20% aproximadamente.

Cuando la perforación se ejecute con equipo rotatorio, después de -
la colocación de la tubería de ademe y antes de iniciar el engravado, se -

introducirá la tubería de perforación hasta el fondo del pozo y a través de ella se circulará agua limpia al mismo tiempo que se van depositando las gravas. A medida que éstas vayan bajando, la tubería de perforación se irá elevando por tramos, de tal manera que su descarga quede siempre entre 1 y 3 m. abajo del nivel del filtro.

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

Una vez que el espacio anular ha sido totalmente ocupado, para eliminar "puentes" y formar correctamente el filtro, es indispensable agitar el pozo. Esto puede ejecutarse mediante el empleo de un pistón o aire comprimido. En el primer caso, deberá pistonearse el pozo de abajo hacia arriba empezando por el fondo, en tramos aproximados de 10 m. y en períodos de una hora, hasta alcanzar el nivel estático o el nivel inferior de la tubería lisa.

Cuando se emplee aire comprimido la operación se realizará utilizando dos tuberías; una de inyección y otra de descarga, debiendo tener ambas aproximadamente la misma longitud y como única condición, que al encontrarse sumergidas dentro del agua del pozo, la capacidad de la fuente de aire comprimido sea lo suficientemente capáz para que al ser inyectado se obtenga en la descarga una emulsión de agua-aire que provoque el arrastre de los materiales que se encuentran en el interior del pozo. Iniciada la

operación, las tuberías se harán ascender del fondo del pozo a la superficie a medida que el agua expulsada vaya saliendo limpia y libre de sólidos en suspensión; continuándose así hasta llegar al contacto de la tubería ranurada con la tubería lisa.

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

6.6.- LAVADO PRIMARIO Y AGITACION MECANICA DE POZO.

Terminadas la perforación, ademe, engravado y cementación, si la hubiera, se deberá limpiar perfectamente el interior del pozo, extrayendo todos los materiales que hayan quedado como producto de estos trabajos. A esta labor se le llama "lavado primario" y para desarrollarla, si el equipo utilizado es rotatorio, se continuará circulando agua hasta que salga limpia a la superficie; es decir, exenta de sólidos y coloides depositados y en suspensión.

Reciben el nombre de agitación mecánica, las labores necesarias para producir una acción dinámica en el interior del pozo y formaciones circunvecinas, necesarias para extraer todos los sedimentos y sólidos depositados durante los trabajos de perforación y los producidos por la misma agitación mecánica, la cual será ejercida por medio de un pistón formado con dos o tres empaques de hule o cuero de 6.35 mm (1/4") a 12.70 mm (1/2") menores que el diámetro interior del ademe y con el que con un movimiento recíprocante se provocará una acción dinámica, que originará un-

desarrollo en las formaciones circunvecinas al pozo, propiciando la construcción del filtro.

Estos trabajos deberán efectuarse en tramos no mayores de 10 m., - iniciándose en el fondo del pozo y terminándolos a la altura del nivel estático o del extremo inferior de la tubería lisa. Entre tramo y tramo deberán retirarse los sedimentos acumulados por medio de una bomba de arena o cucharas del tipo apropiado.

DESARROLLO Y AFORO.

7.- DESARROLLO.- Una de las etapas finales en la construcción de los pozos profundos es la que recibe el nombre de "desarrollo". Su principal objeto es reducir la tensión superficial de las arcillas del enjarre y del filtrado, lograr el reacomodo de las partículas del acuífero aumentando su porosidad y permeabilidad. Este trabajo es de suma importancia ya que de él depende la estabilidad y vida del pozo.

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

En muchas ocasiones es necesario combinar los tratamientos para lograr un buen desarrollo.

7.1.- TRATAMIENTO QUIMICO.- Consiste esencialmente en la aplicación de productos químicos, tales como dispersores de arcillas en la proporción y forma recomendadas por cada fabricante; los que se pueden combinar con el tratamiento mecánico utilizando un pistón, con cargas de hielo seco ó inyectado de ácido clorhídrico.

DISPERSOR DE ARCILLAS.- Cuando se perforan materiales de origen aluvial utilizando equipos de perforación del tipo de percusión o rotatorio, se emplean lodos de perforación, generalmente a base de bentonitas y/o

arcillas naturales con el objeto de producir un enjarre en las paredes del agujero y evitar que éstas se derrumben.

Durante el proceso de perforación los lodos se infiltran en las formaciones constituídas por arenas, gravillas, gravas y boleas, las que en algunas ocasiones se encuentran empacadas con arcillas y limos. Con el objeto de limpiar las paredes del pozo, desprender el enjarre formado por los lodos de perforación y eliminar las arcillas de los conductos (permeabilidad) de las formaciones productoras, se hace necesario aplicar un dispersor de arcillas, el cual reduce la tensión superficial, permitiéndole el paso de las aguas del acuífero a través de las paredes del pozo incrementando la permeabilidad.

La aplicación del dispersor de arcillas, es concerniente efectuarla combinándola con un sistema mecánico (pistón) y dejar el producto dentro del pozo, por el tiempo que recomiende el fabricante.

HIELO SECO. - El gas carbónico (CO_2) en estado sólido, al ser depositado al interior de un pozo, rápidamente se sublima, pasando al estado gaseoso y aumentando en unos cuantos minutos su volumen en función del cambio de temperatura que sufre (900 veces, aproximadamente).

El enorme volumen de gas sublimado no puede salir del interior del pozo en la misma proporción de su aumento de volumen, aparte de que la carga hidrostática del fondo del pozo en donde se supone que se realiza el cambio de estado (cuando menos de la mayor parte del hielo seco arroja-

do) retarda notablemente su salida, por lo que el gas penetra en las formaciones circunvecinas del pozo, en virtud de la fuerte presión que se origina en la cámara gaseosa confinada por la columna de agua de éste; en su avance hacia los acuíferos, el gas impulsa fuertemente grandes cantidades de emulsión agua-gas, ejerciéndose así una intensa acción dinámica en los espacios intergranulares del filtro de grava y formaciones vecinas. Esta primera etapa del fenómeno generalmente termina cuando casi toda la columna de agua que existía en el pozo ha descendido, penetrando en los acuíferos en forma de emulsión, y al culminar esta etapa toda la masa desplazada hacia los acuíferos origina un poderoso gradiente hidráulico hacia el pozo, invirtiéndose entonces la dirección del flujo. Lógicamente se llega a un estado de equilibrio instantáneo entre la presión ejercida por el gas y el gradiente hidráulico establecido en los acuíferos, a partir del cual se establece un flujo, cuya velocidad es constantemente acelerada. y en el curso de unos cuantos minutos no sólo se llena el pozo con la emulsión que regresa de los acuíferos, sino que incluso gran cantidad de emulsión agua-gas es arrojada a gran altura sobre el brocal del pozo, arrastrando consigo todos los sólidos de pequeña granulometría, arcillas, arenas, etc., que han sido removidos del filtro del pozo y del acuífero circunvecino. Cuando es arrojada una fuerte carga de hielo seco, este fenómeno se repite varias veces, con intervalos de unos cuantos minutos, a menos que se haya obturado el brocal del pozo por medio de una válvula, en cuyo caso, se puede regular -

la presión hasta la magnitud deseada, abriéndose la válvula en el momento conveniente para dar salida a la corriente ascendente que se inicia en el momento del cambio súbito de presión.

ACIDO CLORHIDRICO. - Para incrementar la permeabilidad de las formaciones calizas se emplea el ácido clorhídrico al 15%, depositando el volumen necesario en el interior del pozo, provocando su agitación mediante el empleo de un pistón o una cuchara de tipo común extrayendo el producto con la misma cuchara o por medio de una bomba turbina. Si el pozo está entubado, para evitar la reacción del ácido sobre el ademe se agregarán inhibidores de corrosión. Este tratamiento puede combinarse con cargas de hielo seco, controlando la presión con una válvula macho. El ácido puede aplicarse a presión mediante el inyectado de nitrógeno en un volumen necesario para equilibrar la presión de la formación y posteriormente una mezcla de ácido-nitrógeno se desplaza a la formación, con el fluido mencionado.

Cuando se abre la válvula de la cabeza de descarga del pozo, el nitrógeno en forma gaseosa arrastra los fluidos utilizados en el tratamiento.

Las ventajas de este procedimiento son principalmente:

- 1).- Mayor penetración del ácido en las calizas y consecuentemente mayor incremento en la porosidad y permeabilidad de la formación.
- 2).- Expulsión de los fluidos empleados en el tratamiento a velocidades mayores de las normales, produciendo una mejor estimulación del pozo.

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

La capacidad del compresor y los diámetros de las tuberías de inyección y descarga, estarán supeditados a los diámetros y profundidades de los pozos por tratar. Generalmente el equipo recomendable por emplear para el desarrollo de pozos con profundidades aproximadas de 200 m. y diámetro de ademe de 355 mm (14") será un compresor con capacidad de 500 pies³/min., tubería de inyección con diámetro de 38.1 mm (1½") y tubería de descarga de 101.6 mm (4"). Ocasionalmente se puede adicionar al equipo un tanque para almacenamiento de aire con capacidad tal que permita una inyección constante.

7.3.- TRATAMIENTO MECANICO.- Se puede realizar utilizando un pistón, apegándose a lo descrito en la "agitación mecánica" o por medio de un equipo de bombeo compuesto de una bomba turbina para pozo profundo accionada por un motor de combustión interna, con capacidad del 50% mayor que la necesaria para el bombeo del caudal de explotación estimado.

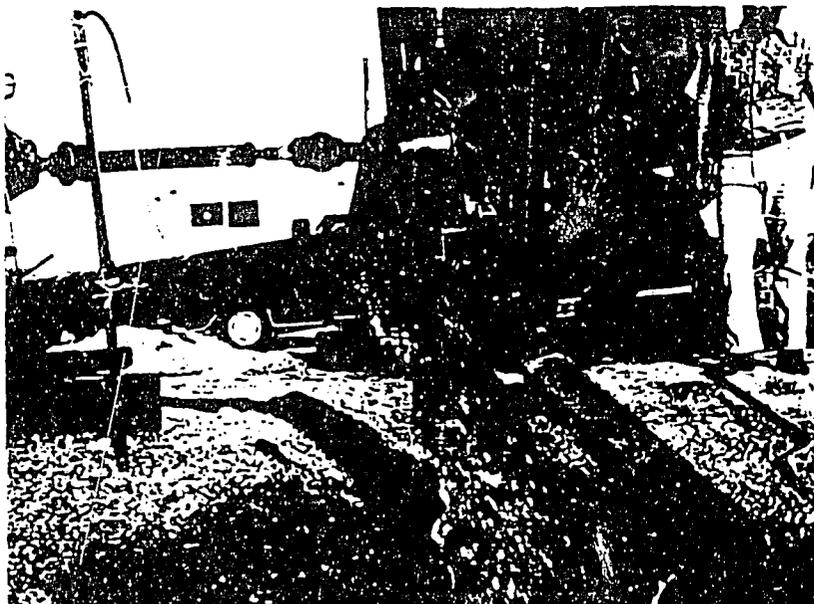
El equipo requerido para la realización de esta forma de desarrollo,

comprende además del de bombeo ya mencionado, un orificio calibrado --- provisto de su respectivo piezómetro y escala de medición, así como una sonda eléctrica o neumática; ésta última formada por una tubería hermética de cobre, aluminio o plástico de pared gruesa, con longitud igual a la de la columna de bombeo, a la que se acoplará durante su instalación un manómetro con carátula graduada en Kg/cm^2 , una válvula de admisión y una bomba de mano para el inyectado del aire.

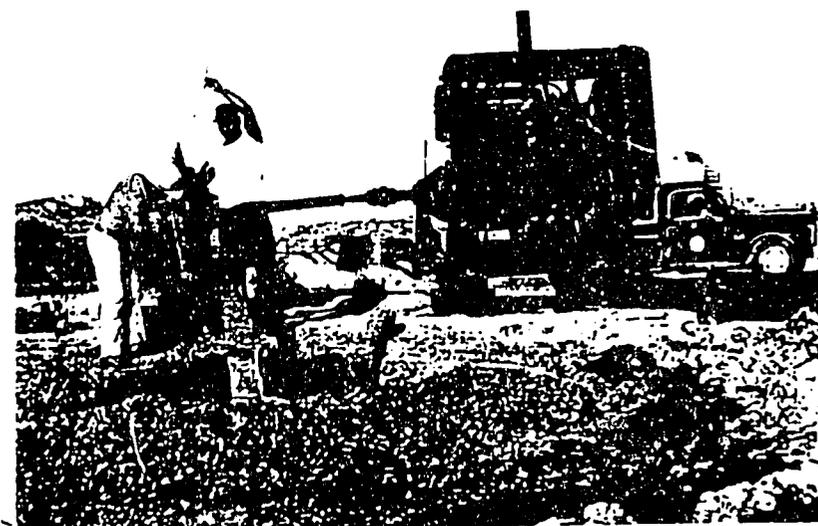
Una vez instalado el equipo de bombeo, se anotarán en las "formas" impresas para el caso, los datos generales del pozo y equipo; el nivel estático del agua del pozo y la hora de iniciación de las labores.

Este trabajo cuya duración estimada es de 72 horas puede prolongarse por el tiempo necesario hasta lograr un buen desarrollo, el cual se iniciará con el gasto menor de que sea capaz el equipo utilizado, incrementándolo por etapas con la duración necesaria hasta que se vaya obteniendo agua limpia libre de sólidos en suspensión. Los incrementos de velocidad serán de 50 en 50 rpm., o de 100 en 100 rpm., de acuerdo con el comportamiento del pozo, hasta llegar al máximo caudal posible; el que una vez alcanzado se irá disminuyendo utilizando los mismos rangos de velocidad.

Al instalar el equipo de aforo, se conectarán a nipples previamente atornillados al cabezal de descarga, mangueras flexibles generalmente de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro, para lubricar el filtro alojado en el espacio anular y permitir que las gravas del mismo, desciendan hasta el sitio que



Desarrollo y aforo de
Pozos.



Best Available Document

les corresponde.

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

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

6.4.- AFORO.- Para seleccionar el equipo de bombeo adecuado para operar permanentemente a su máxima eficiencia, se hace necesario efectuar una prueba de bombeo y conocer sus gastos y niveles de bombeo máximos y determinar los de explotación.

El comportamiento defectuoso de un equipo de bombeo y el alto costo de su operación, han sido erróneamente atribuídos al pozo, siendo que un aforo preciso antes de la adquisición del equipo definitivo, hubiera pagado por sí mismo el costo inicial del equipo y el de operación.

Hay varios métodos para medir la producción de un pozo, y se em-

plean de acuerdo con la capacidad del acuífero. Cuando se trate de acuíferos pobres cuya producción estimada sea igual o menor a 2 l.p.s., el gasto podrá medirse utilizando previa calibración, una cuchara de las comúnmente utilizadas en los trabajos de perforación. Si el pozo fué construido con equipo neumático, y el gasto estimado es del orden mencionado, podrá utilizarse el mismo equipo para efectuar el aforo del pozo. En cambio -- cuando los acuíferos productores sobrepasan dichos caudales, es esencial efectuar esta prueba en forma precisa empleando los métodos estándar de medición.

A continuación se describen los principales términos empleados en el aforo de pozos.

NIVEL ESTÁTICO. - Es la distancia vertical medida en metros, -- desde el brocal del pozo hasta el nivel libre del agua cuando no está siendo bombeado; es decir, es el nivel en el cual se estabiliza el agua dentro del pozo.

NIVEL DINAMICO O DE BOMBEO. - Es la distancia vertical medida en metros, desde el brocal del pozo hasta el nivel al cual se mantiene el agua cuando es bombeado a cualquier velocidad. Este nivel es variable y cambia de acuerdo al gasto que está siendo extraído.

ABATIMIENTO. - Es la diferencia en metros entre el nivel estático y nivel de bombeo; o sea la distancia vertical medida en metros que desciende el nivel estático de un pozo bajo la influencia del bombeo.

Best Available Document

GASTO O CAUDAL. - Es el volumen de agua que produce un pozo en la unidad de tiempo; se expresa en litros por segundo (l.p.s.).

NIVEL DE RECUPERACION. - Son las distancias verticales medidas en metros desde el brocal del pozo, hasta los niveles libres del agua a partir del momento en que fué suspendido el bombeo y alcance su estabilización.

RECUPERACION. - Es el lapso medido en la unidad de tiempo, que tarda en estabilizarse el Nivel de Recuperación.

CAPACIDAD ESPECIFICA. - Es la relación que existe entre la producción del pozo, medida en litros por segundo y su correspondiente abatimiento por metro (l.p.s./m.).

Al describir los trabajos de desarrollo se especificó que el equipo de bombeo tuviera una capacidad del 50% mayor que la requerida para bombear el gasto estimado; de haberse seguido esas instrucciones y empleado el equipo en la forma indicada, se habrá logrado obtener un buen trabajo de desarrollo, la estabilidad del pozo y el gasto máximo factible de explotación. Por lo tanto, con el mismo equipo descrito se procederá a efectuar el aforo, es decir a medir el gasto que es capaz de producir el pozo y determinar el económicamente explotable. Para realizarlo se sigue la misma secuela que para el desarrollo. Se inicia a la terminación de éste y el motor haya alcanzado su máxima velocidad; se sostendrá en ésta por un lapso de una hora y a su término, se tomarán las lecturas del

nivel de bombeo. del piezómetro, revoluciones por minuto del motor, fecha y hora de iniciación.

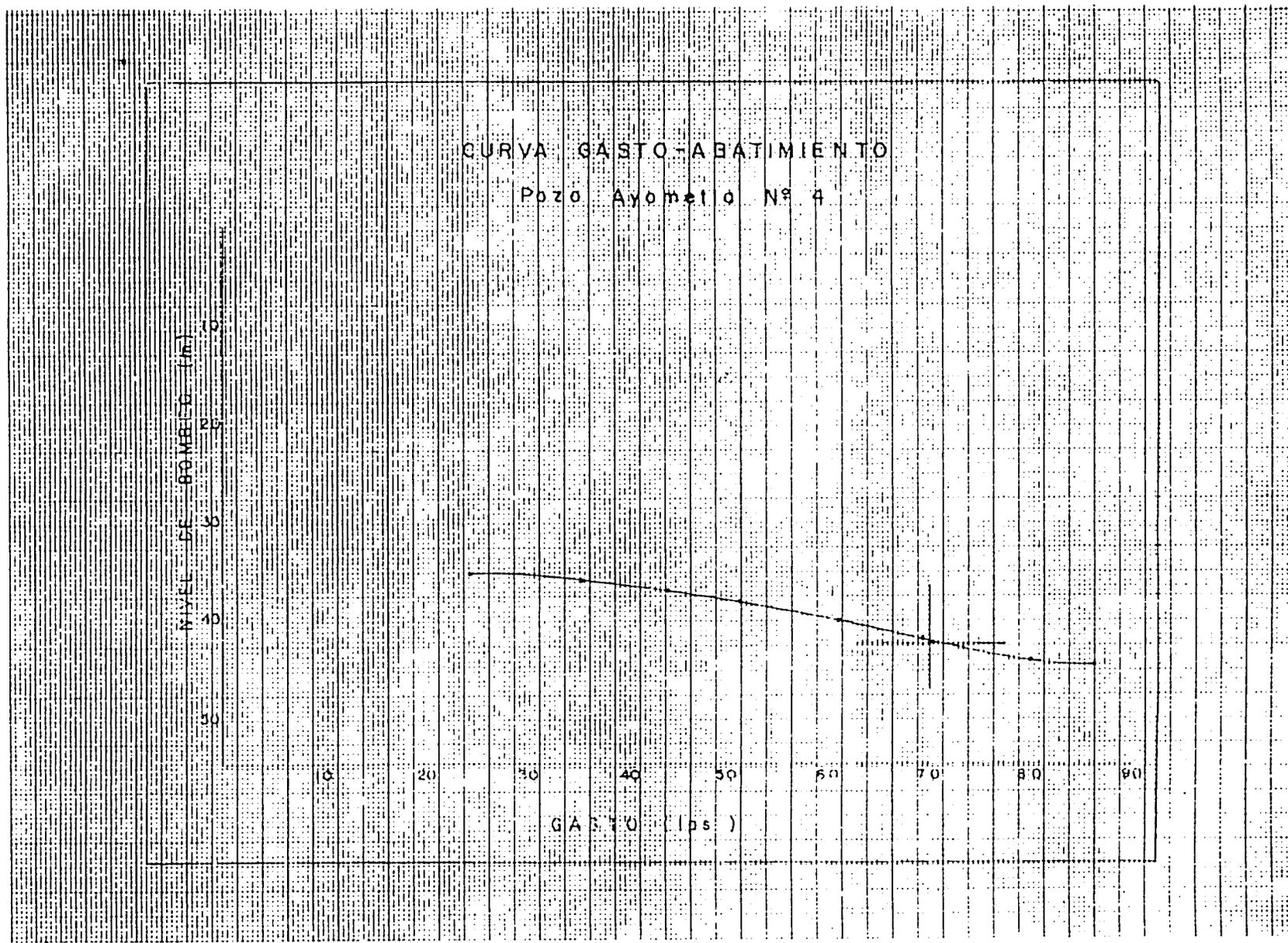
Posteriormente, se disminuirán en 100 las revoluciones por minuto del motor y una vez estabilizado el flujo se repetirá la operación anterior, continuándose así hasta que el motor trabaje a su mínima velocidad o hasta que el piezómetro no registre ningún dato. En este momento se -- iniciará el aforo con la mínima velocidad del motor; ésta se irá incrementando de 100 en 100 r.p.m. hasta alcanzar la máxima, tomando las lecturas nuevamente.

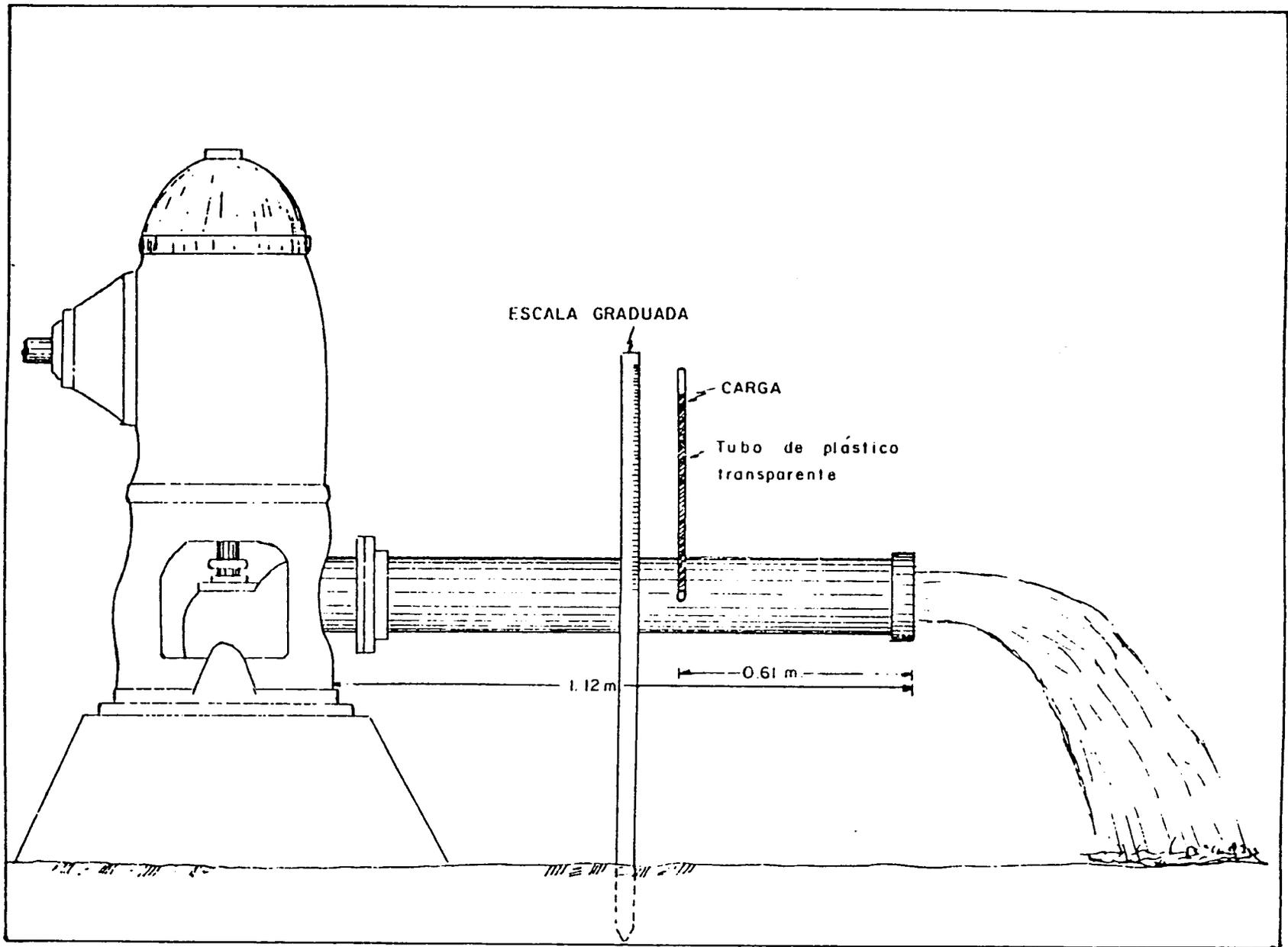
Concluída esta etapa. se empezarán a medir los niveles de recuperación. Los intervalos entre lecturas, serán fijados por el Ingeniero Residente; estos pueden ser, después de suspendido el bombeo, a los: 15 -- seg., 30 seg., 1 min. 2 min. 5 min. 10 min. 15 min. 30 min. 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas, 16 horas etc., de acuerdo con el comportamiento del acuífero; pudiendo acortarse o prolongarse por el tiempo necesario.

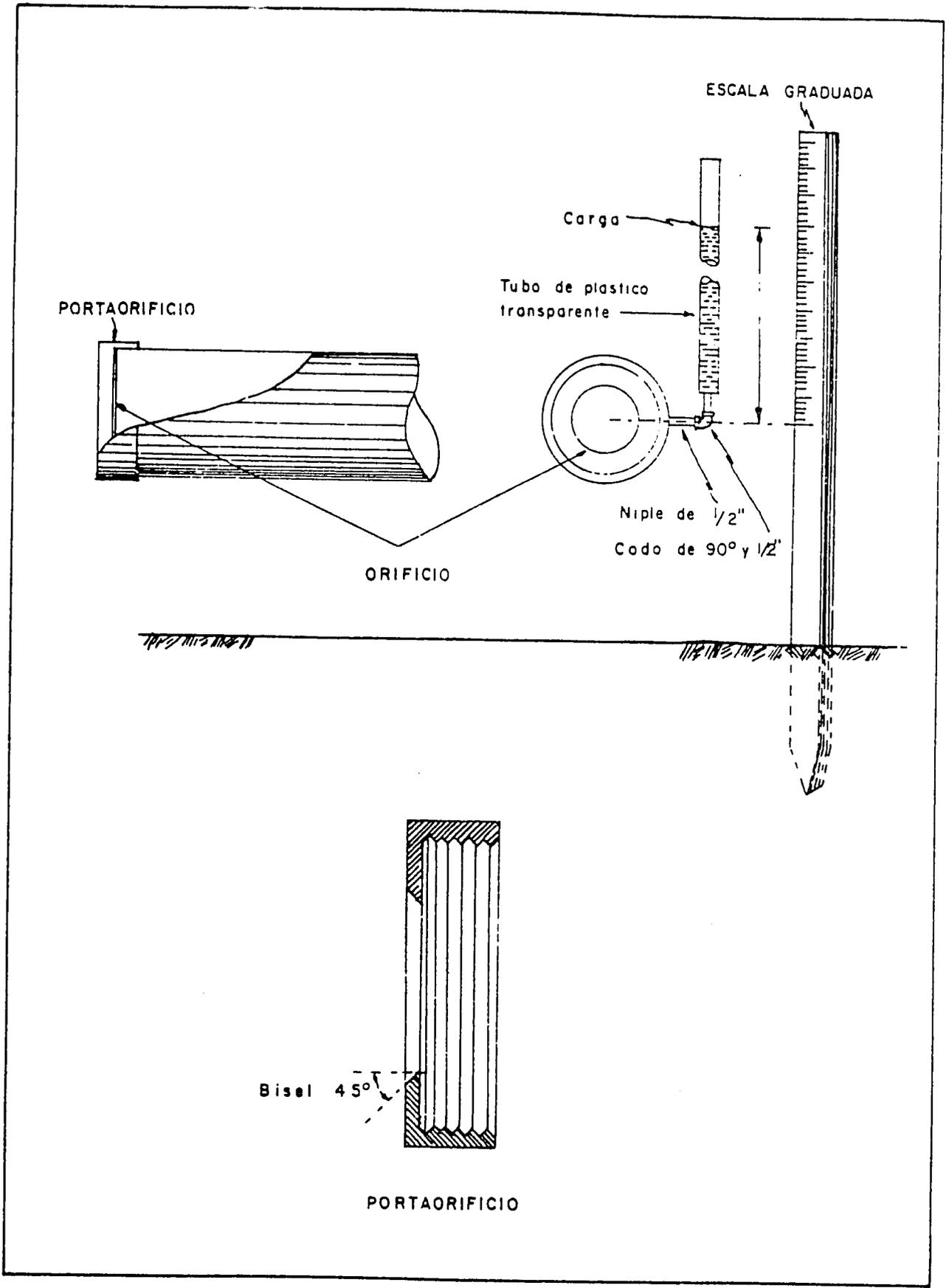
Con los datos tomados en el campo se trazará la curva Gasto Abatimiento; sobre la cual se marcará el punto óptimo de explotación.

Best Available Document

Best Available Document







CALCULO Y SELECCION EQUIPO DE BOMBEO

8. - CALCULO DE UN EQUIPO DE BOMBEO VERTICAL TIPO TUR

BINA. - El cálculo y selección de un equipo de bombeo consiste en la determinación de las características de las partes que lo componen, con el objeto de integrar el equipo más adecuado para que opere a las condiciones hidráulicas fijadas. Para el efecto, se han elaborado dos "Formas" y siete "Tablas".

La Forma No. 1. - Se ocupa de la determinación de todos los aspectos inherentes al equipo de bombeo en todo su conjunto, tales como las diferentes pérdidas de energía que ocurren, las dimensiones y características de las diversas partes del equipo, así como la selección de la unidad motriz que lo accionará.

La Forma No. 2. - Resume todos los datos que son de utilidad conocer, calculados con la Forma No. 1; además los necesarios para elaborar -- correctamente el presupuesto; tales como características de bombeo, partes de equipo incluyendo especificaciones, motor y los accesorios que amerite - el equipo seleccionado.

DESCRIPCION Y USO DE LA FORMA No. 1.

Los datos necesarios para el empleo de esta Forma son:

1. - Nombre del pozo, Estado y Municipio.
2. - Gasto (Q) y Nivel Dinámico (Nd).
3. - Velocidad de operación (N).
4. - Tablas de Cálculo de la No. 1 a la No. 7

Best Available Document

5. - Manuales de Fabricantes de Bombas (Curvas de Tazones).

Con estos elementos, la secuela para llenar la Forma No. 1, es la siguiente:

1 - Se anotan en primer lugar, los nombres de la Entidad Federativa, del pozo y el Municipio a que pertenece, el lugar donde se instalará el equipo.

2. - Se anotan los valores de Gasto (Q), Nivel Dinámico (Nd) y velocidad de operación de la bomba (N) en los espacios indicados.

3. - Se divide el Nivel Dinámico (Nd) entre 3.05 m (10') que es la longitud de fabricación estandar de cada tramo de columna de bombeo, y se obtiene el número de tramos necesarios. Si el resultado es fraccionario, se tomará el inmediato superior.

4. - En virtud de las fluctuaciones de los niveles de bombeo, como medida de seguridad se incrementará la columna en uno o más tramos, dependiendo de la magnitud de las fluctuaciones.

5. - En la Tabla No. 1, se determinan:

a) Diámetro de la columna de bombeo.

b) Diámetro de la Camisa o cubre flecha.

c) Diámetro de la flecha.

d) Espacio anular entre columna y camisa (Area de Flujo) y

e) Pérdida por fricción por metro lineal de columna.

Dirección de Obras de Riego para el Desarrollo Rural
Departamento de Perforación de Pozos.

Cálculo de un Equipo de Bombeo para el Estado de: _____
Pozo: _____ Municipio: _____

$Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ips.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ gpm}$ $N_d = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$ $N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ rpm}$
 $T = \frac{N_d}{3.05} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ Tramos de 3.05 m (10') = $\underline{\hspace{2cm}}$ m

Columna = $T + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ Tramos de 3.05 m (10')
Longitud Columna = $\underline{\hspace{2cm}}$ m = $\underline{\hspace{2cm}}$ pies
Diámetro Columna = $\underline{\hspace{2cm}}$ mm = $\underline{\hspace{2cm}}$ pulg
Diámetro Camisa = $\underline{\hspace{2cm}}$ mm = $\underline{\hspace{2cm}}$ pulg TABLA No. 1
Diámetro Flecha = $\underline{\hspace{2cm}}$ mm = $\underline{\hspace{2cm}}$ pulg
 $a = \text{Espacio anular entre columna y camisa} \quad \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$

$V = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{seg.)}}{a \text{ (m}^2)} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/seg.}$

$H_v = \text{Pérdidas por velocidad en la columna} = \frac{V^2}{2g} = \frac{(\underline{\hspace{2cm}})^2}{19.62} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$

TABLA No. 1

$H_c = \text{Pérdidas por fricción en la columna} = \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$

TABLA No. 2

$H_d = \text{Pérdidas por fricción en la descarga} = \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$

$H = \text{Altura nivel dinámico} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$

$H_{ad} = \text{Carga adicional en la descarga} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$

$H_t = \text{Carga dinámica total} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$

$H_t = \underline{\hspace{2cm}} \text{ pies; No. de tazones} = \frac{H_t \text{ (pies)}}{\text{carga x tazón}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$\text{Carga real por tazón} = \frac{H_t \text{ (pies)}}{\text{No. Taz.}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ pies; E} = \underline{\hspace{2cm}} \%$

TABLA No. 3

$H_f = \text{Pérdidas mecánicas en la flecha} = \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP}$

$P_t = \text{Potencia en los tazones} = \frac{Q \text{ (lps)} \times H_t \text{ (m)}}{76 \times E \text{ (\%)}} = \frac{\underline{\hspace{2cm}}}{76 \times 0.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP}$

$P_r = \text{Potencia requerida} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP}$

$P_e = \text{Potencia motor eléctrico} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP}$

$C_a = \text{Corrección para motores diesel}$

$\text{Potencia motor diesel} = 1.25 \times P_r = 1.25 \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP}$

6. - En la Tabla No. 2, con los valores del gasto y diámetro de la columna de bombeo se obtienen las pérdidas por fricción por metro lineal en la descarga de la bomba, las que multiplicadas por la longitud de la descarga, proporciona el valor total de las pérdidas por fricción.

7. - Para obtener la carga dinámica total (H_t) se procede a la suma de las pérdidas de carga por: velocidad (H_v), fricción en la columna (H_c), fricción en la descarga (H_d), cuando esta exista.

8. - En las Gráficas de los Manuales elaborados por los fabricantes de bombas, se elige el tazón más conveniente, en función del gasto (g. p. m.) que se pretenda bombear y las r. p. m. a que trabajará la bomba. En el margen izquierdo de la gráfica, se lee la carga dinámica por tazón y dividiendo entre ésta la carga dinámica total en pies (H_t); se obtiene el número de tazones. Si el cociente resulta fraccionario, se toma el número de tazones inmediato superior.

Nuevamente se divide la carga dinámica total (H_t) entre el número de tazones y así se obtiene la carga real por tazón (en pies). Con este valor y el del gasto (g. p. m.) se lee en la gráfica la Eficiencia (E) de la bomba.

9. -En la Tabla No. 3, se determinan las pérdidas mecánicas de la flecha (H_f), para lo cual, con el valor del diámetro de la flecha seleccionada, se intersecta la línea correspondiente a las r. p. m. a que trabajará la bomba, leyéndose en cualquiera de sus margenes el valor de las pérdidas

por fricción en BHP por metro lineal. Multiplicando este valor por la longitud de la flecha que es la misma que la de la columna, se obtiene el total de las pérdidas mecánicas en la flecha.

10. - Se calcula la potencia necesaria en los tazonos (P_t) aplicando la fórmula $\frac{Q \times H_t}{76 \times E} = \text{HP}$, en la que Q, es el gasto en litros por segundo; H_t , la carga dinámica total en metros; 76, una constante y E, la eficiencia de los tazonos; sumándose a este resultado las pérdidas mecánicas en la flecha (H_f), se obtiene la potencia requerida (P_r) y se anota en el espacio correspondiente.

11. - La potencia nominal del motor eléctrico (P_e) que se seleccione deberá ser mayor o igual a la potencia requerida (P_r).

12. - Cuando se utilice como unidad motriz un motor diesel, la potencia requerida (P_r) se corregirá adicionándole un 25 % a su valor; de los cuales el 15 % será por los conceptos de ventilador, temperatura, mala calidad del combustible y transmisión del cabezal de engranes y el 10 % por altitud y un coeficiente de seguridad.

DESCRIPCION Y USO DE LA FORMA No. 2. -

Tiene por objeto vaciar en ella, todas las características hidráulicas mecánicas y eléctricas necesarias para solicitar el equipo de bombeo calculado de acuerdo a la Forma No. 1.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
Dirección de Obras de Riego para el Desarrollo Rural
Departamento de Perforación de Pozos

Características de un Equipo de Bombeo para el Estado de: _____

Pozo: _____ Municipio: _____

D A T O S G E N E R A L E S

Nivel Estático _____ m = _____ pies

Nivel Dinámico _____ m = _____ pies

Gasto _____ lps = _____ g.p.m.

Carga dinámica total _____ m = _____ pies

Bomba _____ Lubricación por _____

_____ Tramos de Columna _____ m _____ pies

Núm. de Tazones _____ Modelo _____ Tipo _____

Eficiencia _____ %

Potencia en los tazones $\frac{Q \times Ht}{76 \times E (\%)}$ = _____ H.P.

Potencia efectiva en el Motor _____ H.P.

Motor Eléctrico de _____ H.P.

1 Interruptor Termomagnético de _____ Amps.

1 Compensador de Voltaje para Motor de _____ H.P.

Suministro e Instalación de un Banco de Transformación.

Tipo Rural de _____ KVA

Motor Diesel de _____ H.P. A _____ rpm.

Cabezal de Engranés Marca _____ Relación _____

Flecha Watson Modelo WL. _____

Forma No. (2)

DESCRIPCION Y USO DE LA FORMA No. 3.

Ha sido elaborada con el objeto de poder calcular el presupuesto --
del equipo de bombeo, contando con las características del mismo para --
lo cual es necesario conocer el precio unitario actualizado de cada una -
de las partes componentes del equipo seleccionado.

Best Available Document

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 Dirección de Obras de Riego para el Desarrollo Rural
 Departamento de Perforación de Pozos.

Presupuesto de un Equipo de Bombeo para el Estado de _____
 Nivel Estático _____ m. Nivel Dinámico _____ m. Gasto _____ lps.
 Bomba Lubricada por: _____

Can- tidad	C O N C E P T O	Precio Unitario.	Importe
1	Motor _____ de _____ H.P.	\$ _____	\$ _____
1	Cabezal de Engranés _____ Rel: _____	\$ _____	\$ _____
1	Flecha Cardánica Watson Spicer Modelo WL. _____ con bridas maquinadas.	\$ _____	\$ _____
1	Cabezal Descarga _____ x _____ pulg. _____ x _____ mm	\$ _____	\$ _____
_____	Tramos Columna _____ x _____ x _____ pulg. _____ x _____ x _____ mm.	\$ _____	\$ _____
_____	Tazones Mod. _____ Tipo: _____	\$ _____	\$ _____
1	Tramo Tubo Succión _____ x _____ pulg. _____ x _____ mm.	\$ _____	\$ _____
_____	Tramo Tubo Descarga _____ x _____ pulg. _____ x _____ mm.	\$ _____	\$ _____
	Colador Cónico Galvanizado de _____ pulg. ϕ _____ mm ϕ	\$ _____	\$ _____
	Interruptor termomagnético de _____ Amprs.	\$ _____	\$ _____
	Compensador de voltaje para _____ H.P.	\$ _____	\$ _____
	Banco Transf. tipo Rural _____ KVA	\$ _____	\$ _____
	Instalación del Equipo de Bombeo.	\$ _____	\$ _____
	TOTAL	\$ _____	\$ _____

Forma No. (3)

DESCRIPCION Y EMPLEO DE LAS TABLAS PARA EL CALCULO
Y SELECCION DE EQUIPOS DE BOMBEO TIPO VERTICAL.

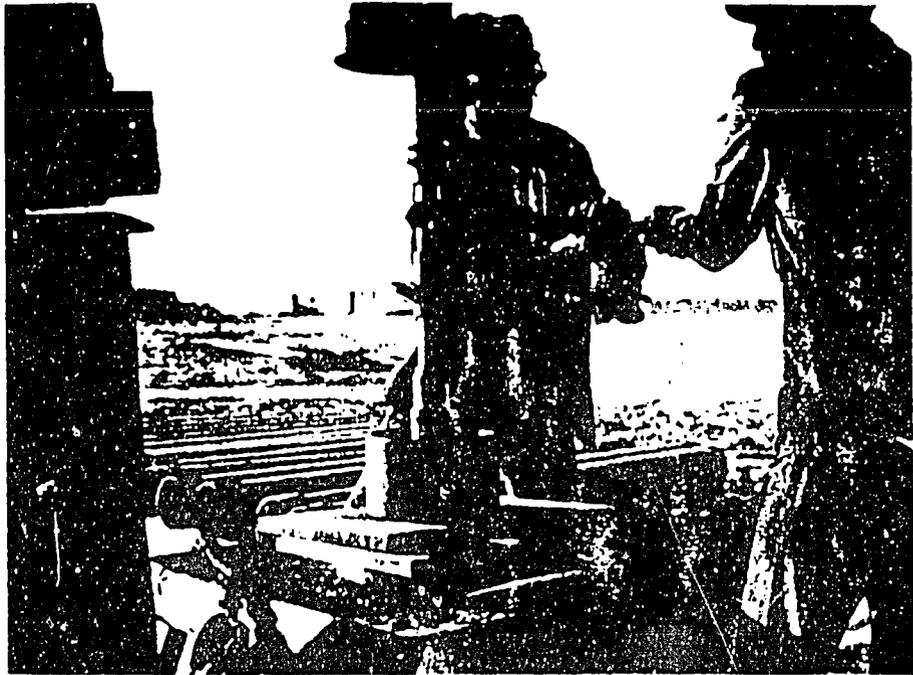
TABLA. - No. 1. - En ella están tabuladas en función de diámetros y gastos, las pérdidas por fricción de las columnas de bombeo de fabricación estándar.

En su extremo izquierdo, aparecen las características de las columnas de bombeo lubricadas por aceite; columna, cubre flecha y flecha, así como el espacio anular entre la columna de bombeo y la cubre flecha (Área de flujo del agua).

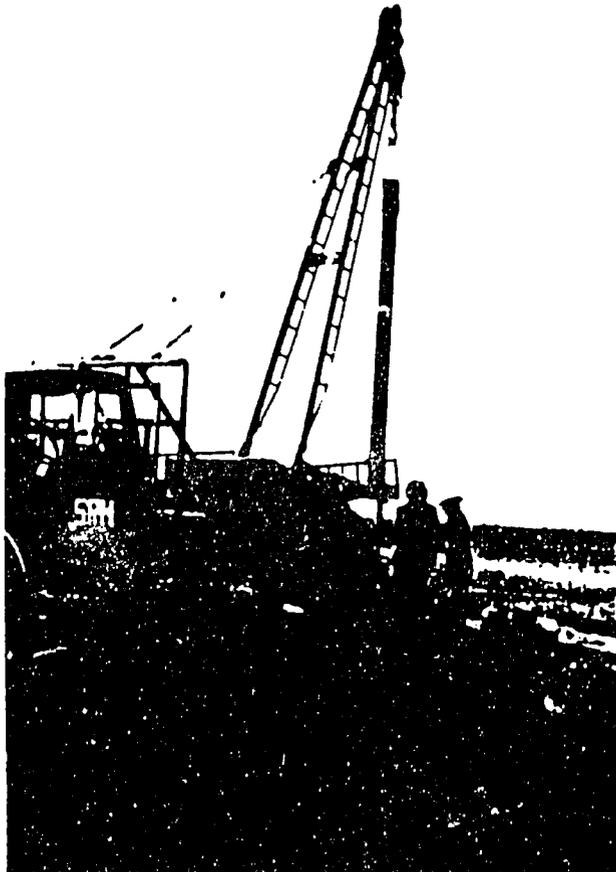
En la parte superior, se anotaron diferentes gastos en galones por minuto y sus equivalentes en litros por segundo.

Para el uso de la Tabla se requiere conocer el gasto por explotar y su correspondiente nivel de bombeo. Con el primero se entra en forma vertical y descendente hasta encontrar valores de pérdidas por fricción correspondientes a uno o más diámetros de columnas de bombeo. Para seleccionar la más conveniente, se tomará en consideración que el gasto por extraer es aproximadamente igual al cuadrado del diámetro de la columna. Como cada diámetro de la columna está ligado con diferentes diámetros de camisas y flechas, la elección de éstas estará en función de los niveles de bombeo y las menores pérdidas por fricción tabuladas.

TABLA No. 2. - Proporciona valores de pérdidas por fricción por metro -



INSTALACION DE UN EQUIPO DE BOMBEO



lineal en tuberías de fierro.

Para su aplicación deberán conocerse los valores del gasto y diámetro de la descarga. Las pérdidas por fricción por m.l. se obtienen directamente al unir en la tabla los valores de gasto y diámetro.

TABLA No. 3. - Proporciona valores de pérdidas en HP en la flecha de la bomba.

Para su aplicación se requiere conocer la velocidad a la que trabajará la bomba y el diámetro de la flecha.

Se encuentran tabuladas velocidades comprendidas entre 390 y 3,500 r.p.m., y diámetros de flechas en cm. y pulg. entre 1.9 cm. (3/4") y 7.46 cm. (2 15/16").

Como podrá observarse, para un mismo diámetro de flecha, el incremento de las pérdidas es mayor al aumentar la velocidad.

TABLA No. 4. - Se utiliza para seleccionar los cabezales de descarga cuando se emplean motores eléctricos. En el margen izquierdo aparecen las potencias comerciales de los motores US o IEM que son los más usuales y a continuación las medidas en milímetros y pulgadas de las bases y descargas correspondientes.

Para seleccionar el cabezal de descarga cuando la bomba será accionada por motor eléctrico, se deberá cuidar que las bases del mo-

Best Available Document

tor y cabezal coincidan, logrando un acoplamiento correcto.

TABLA No. 5. - Se emplea para comprobar el diámetro de la flecha de la bomba en función de la velocidad de ésta y la potencia del motor.

En la columna de la izquierda se anotaron las diferentes velocidades de operación de la bomba y en las siguientes de la derecha, los diámetros de las flechas en pulgadas y milímetros.

Tabulados verticalmente, se encuentran diversos valores de potencias de motores, los que al correlacionarse con las velocidades de la bomba proporcionarán el diámetro mínimo de la flecha.

TABLA No. 6. - Tiene como función facilitar la selección del cabezal de engranes cuando se emplea como unidad motriz un motor diesel. Se han colocado en forma tabular cuatro columnas principales, las que enumeradas de izquierda a derecha son: potencia del motor diesel en HP; modelo del cabezal de descarga; modelo del cabezal de engranes y relación de engranes en función de las r.p.m. del motor y la bomba.

Para su empleo se requiere conocer la potencia seleccionada del motor diesel, la que al proyectarse en forma horizontal proporciona el modelo de los cabezales de descarga, de engranes y la relación motor bomba para operar ésta última a la velocidad conveniente.

TABLA No. 7. - Se utiliza para seleccionar la flecha cardán que transmite la potencia del motor diesel a la bomba a través del cabezal de engranes. La Tabla está constituida por dos ejes coordinados en los que se en-

cuentran marcados: la velocidad del motor en r.p.m. en el de las abci--
sas y en el de las ordenadas su potencia en HP. Cortando a dichos valo--
res se encuentran diagonalmente los correspondientes a los modelos y --
potencias principales de las flechas cardánicas.

Para su utilización contándose con los datos de la potencia del mo--
tor y su velocidad de operación, se selecciona el modelo de flecha corres--
pondiente; siendo el más adecuado el más próximo al punto de intersec--
ción.

Best Available Document

PERDIDAS POR FRICCION EN COLUMNA DE BOMBEO
POR METRO LINEAL

Columna		6"			8"			12"			Columna	
Cubierta		1½"	2"	2½"	1½"	2"	2½"	2"	2½"	3½"	Cubierta	
Flecha		1"	1 3/16"	1½"	1"	1 3/16"	1½"	1 3/16"	1½"	2 3/16"	Flecha	
lps	Gpm										lps	Gpm
20	317	.017	.023	.032								
25	396	.025	.033	.040								
30	475	.034	.045	.062				.017	.019	.025	150 2258	
35	555	.044	.058		.006	.011	.013	.016	.018	.023	145 2239	
40	634				.008	.015	.018	.015	.017	.021	140 2240	
45	713				.009	.017	.020	.014	.016	.020	135 2140	
50	793				.013	.022	.026	.013	.015	.019	130 2060	
55	872				.015	.026	.031	.012	.014	.018	125 1981	
60	951				.017	.029	.035	.011	.012	.016	120 1902	
65	1030				.021	.035	.042	.010	.011	.015	115 1823	
					.024	.027	.042	.010	.011	.014	110 1743	
					.023	.026	.038	.009	.010	.013	105 1664	
					.020	.023	.034	.008	.009	.012	100 1585	
					.018	.020	.030				95 1506	
					.017	.019	.029				90 1426	
					.015	.017	.025				85 1347	
					.013	.015	.022				80 1268	
					.012	.014	.020				75 1129	
					.010	.012	.017				70 1110	
					.009	.011	.016				65 1030	
					.008	.009	.014				60 951	
Flecha		1"	1 3/16"	1½"	1 3/16"	1½"	2 3/16"	1 3/16"	1½"	2 3/16"	Flecha	
Cubierta		1½"	2"	2½"	2"	2½"	3½"	2"	2½"	3½"	Cubierta	
Columna		6"			10"			12"			Columna	

TABLA No. 1

GASTO. l p. s	GASTO. g. p. m	PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIAS DE AGUA. POR CADA METRO LINEAL.				
		127 mm. 5'	152 mm. 6'	203 mm. 8'	254 mm. 10'	305 mm. 12'
19.00	300	0.03142	0.01241	0.00320		
22.00	350	0.04143	0.01751	0.00440		
25.20	400	0.05404	0.02211	0.00540		
28.35	450	0.06704	0.02652	0.00630	0.00210	
29.61	470	0.07235	0.02902	0.00750	0.00240	
29.92	475	0.07425	0.02952	0.00760	0.00250	
31.50	500	0.08125	0.03302	0.00821	0.00250	0.00110
34.65	550	0.09606	0.03933	0.00971	0.00330	0.00140
37.30	600	0.11370	0.04703	0.01141	0.00390	0.00150
40.95	650	0.13209	0.05404	0.01341	0.00460	0.00190
44.10	700	0.15410	0.06204	0.01541	0.00520	0.00220
47.25	750	0.17211	0.07005	0.01741	0.00590	0.00240
50.40	800		0.08005	0.01971	0.00670	0.00270
53.55	850		0.08956	0.02281	0.00750	0.00310
56.70	900		0.10117	0.02462	0.00831	0.00340
59.85	950		0.10807	0.02372	0.00911	0.00380
63.00	1000		0.12048	0.03022	0.01011	0.00410
66.15	1050		0.13309	0.03212	0.01091	0.00440
69.30	1100		0.14319	0.03512	0.01201	0.00490
72.45	1150		0.15610	0.03843	0.01341	0.00530
75.60	1200		0.16701	0.04153	0.01461	0.00570
78.75	1250		0.18512	0.04453	0.01511	0.00620
81.90	1300			0.04813	0.01613	0.00670
85.05	1350			0.05183	0.01741	0.00710
88.20	1400			0.05544	0.01861	0.00801
91.35	1450			0.05904	0.01971	0.00851
94.50	1500			0.06274	0.02091	0.00851
100.30	1600			0.07165	0.02402	0.00971
107.10	1700			0.08055	0.02416	0.01081
113.40	1800			0.08936	0.03032	0.01201
119.70	1900			0.09826	0.03342	0.01311
126.00	2000			0.10717	0.03652	0.01431

TABLA No. 2

CALCULO DE BOMBAS.

Best Available Document

PERDIDAS DE HP EN FLECHA DE BOMBA
VERTICAL

DIAMETRO DE FLECHA											
RPM	cms	1.9	2.54	3.01	3.81	4.28	4.92	5.5	6.19	6.82	7.46
	PULG.	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{3}{16}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{11}{16}$	$2\frac{15}{16}$	$2\frac{3}{16}$	$2\frac{7}{16}$	$2\frac{11}{16}$	$2\frac{15}{16}$
3500		.0062	.011	.0145	.022	.028					
2900		.0052	.0088	.0130	.018	.023					
1760		.0032	.0053	.0072	.0125	.014	.0190	.030	.0290	.0340	.0420
1460		.0026	.0044	.0061	.0096	.012	.0160	.0200	.0140	.0290	.0350
1160		.0021	.0035	.0048	.0075	.0094	.0120	.0150	.0190	.0230	.0270
970			.0029	.0040	.0061	.0077	.0100	.0130	.0160	.0190	.0230
870			.0026	.0036	.0056	.0069	.0092	.0120	.0140	.0170	.0210
730			.0022	.0031	.0048	.0058	.0077	.0100	.0120	.0140	.0170
690			.0021	.0027	.0045	.0055	.0074	.0092	.0113	.0132	.0161
575			.0017	.0024	.0038	.0046	.0061	.0077	.0095	.0110	.0134
490			.0015	.0021	.0032	.0039	.0052	.0065	.0081	.0094	.0114
430			.0013	.0018	.0028	.0034	.0046	.0057	.0071	.0082	.0100
390			.0012	.0017	.0026	.0031	.0042	.0052	.0064	.0075	.0091

TABLA No.

Best Available Document

SELECCION CABEZAL DE DESCARGA
EMPLEANDO MOTOR ELECTRICO

POTENCIA Motor eléctrico H. P.	C A B E Z A L D E D E S C A R G A											
	Base Mot. U.S.		Descarga		Base Mot. iem.		Descarga.					
	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.				
7.5	254	10	102	4								
10			152	6					152	6		
15	305	12	152	6	419	16½	203	8				
20			203	8			254	10				
25			152	6			305	12				
30	419	16½	203	8								
40			254	10					203	8		
50			305	12					508	20	254	10
60			305	12							305	12
75												
100									254	10		
125											305	12
150									622	24½		
200	305	12										
250												

Tabla No. 4.

Best Available Document

" TABLA PARA SELECCION DE LA FLECHA "

229

Diámetro mínimo de la flecha en función de su longitud, Potencia del motor y R. P. M. de la bomba.

R. P. M. DE LA BOMBA.	D I A M E T R O D E L A F L E C H A .							
	3/4"	1"	1 3/16"	1 7/16"	1 11/16"	1 15/16"	2 3/16"	2 7/16"
	19.03mm	25.40mm	30.16mm	36.51mm	42.86mm	49.21mm	55.56mm	61.91mm
3500	38 H. P.	96 H. P.	163 H. P.					
2900	31 H. P.	79 H. P.	135 H. P.					
1760	19 H. P.	48 H. P.	81 H. P.	145 H. P.	265 H. P.	365 H. P.	545 H. P.	730 H. P.
1460	16 H. P.	39 H. P.	67 H. P.	121 H. P.	220 H. P.	305 H. P.	455 H. P.	645 H. P.
1160	12 H. P.	32 H. P.	53 H. P.	96 H. P.	175 H. P.	242 H. P.	360 H. P.	515 H. P.
960	10 H. P.	26 H. P.	44 H. P.	80 H. P.	144 H. P.	202 H. P.	300 H. P.	430 H. P.
860	9 H. P.	23 H. P.	40 H. P.	72 H. P.	130 H. P.	181 H. P.	270 H. P.	385 H. P.

Best Available Document

Tabla No. 5.

229

SELECCION CABEZAL DE ENGRANES

H. P. MOTOR DIESEL	MODELO CABEZAL DESCARGA	MODELO CABEZAL DESCARGA	RELACION DE ENGRANES							
			1:1	3:4	2:3	1:2	1:3	10:11	5:6	4:5
			REVOLUCIONES POR MINUTO							
20	10	JRL	1760	1320	1173	880	587			
30	16 1/2	OL	1760	1320	1173	880	587		1467	
40	16 1/2	OL	1760	1320	1173	880	587		1467	
50	16 1/2	1-BL	1760	1320	1173	880	587	1584	1467	1408
70	16 1/2	2-BL	1760	1320	1173	880		1584	1467	1408
100	20	3-BL	1760	1320	1173	880	587	1590	1458	1408
120	20	3-BL	1760	1320	1173	880	587	1590	1458	1408
150	20	4-BL	1760	1320	1173	880		1590	1458	1408
170	24 1/2	5-BL	1760	1320	1173	862	587	1605	1522	1408
200	24 1/2	5-BL	1760	1320	1173	862	587	1605	1522	1408

TABLA No. 6

Best Available Document

SELECCION FLECHA CARDAN

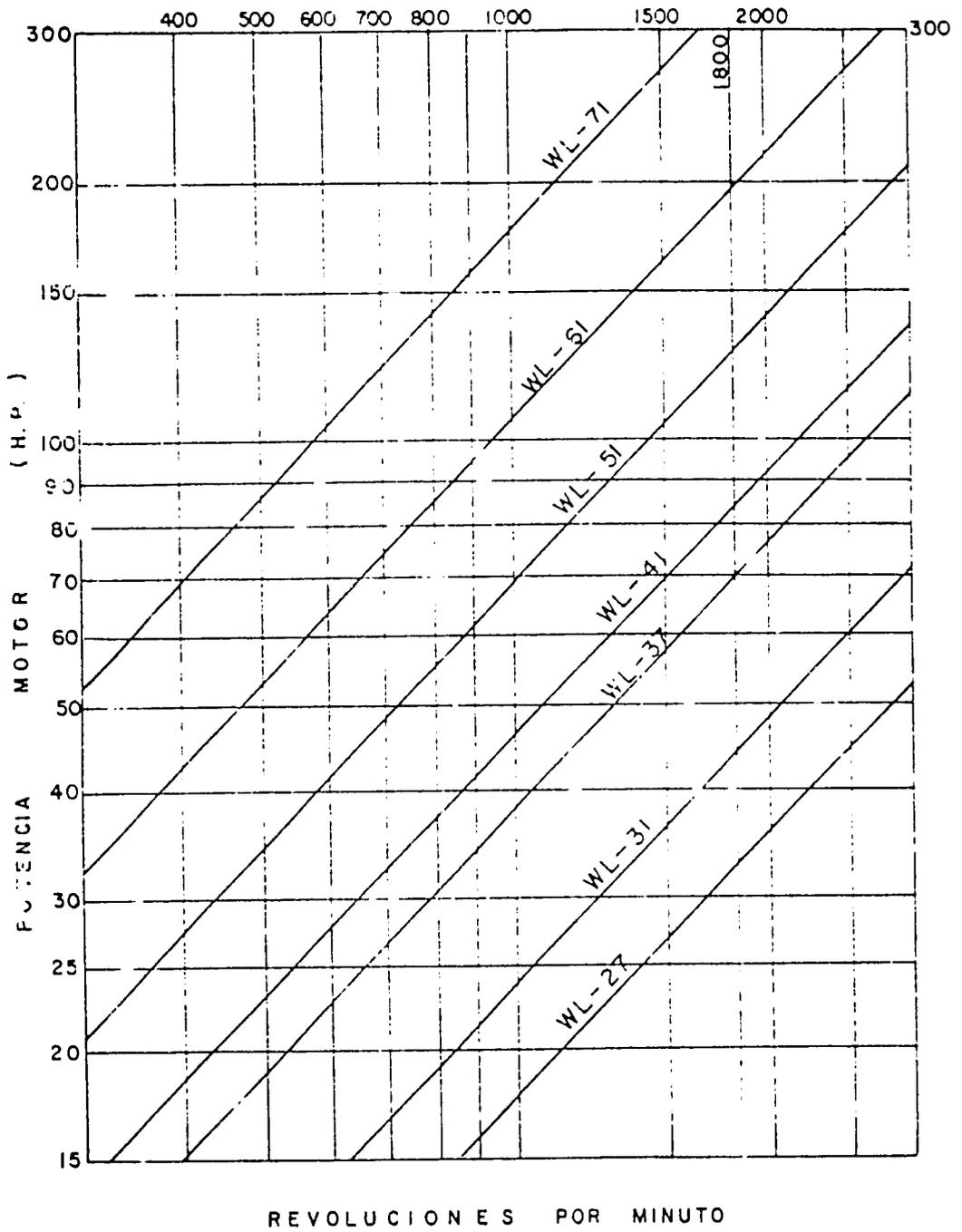


TABLA No. 7

Forma No. 1
EJEMPLO:

8.1.- Cálculo de un Equipo de Bombeo para el Estado de Tlaxcala
Pozo Ayometla No. 4, Municipio Zacatelco

$$Q = 60.00 \text{ lps} = 951 \text{ gpm} \quad N_d = 42.00 \text{ m} \quad N = 1800 \text{ rpm}$$

$$T = \frac{N_d}{3.05} = \frac{42.00}{3.05} = 13.8 \approx 14 \quad \text{Tramos de } 3.05 \text{ m (10')} = 42.70 \text{ m}$$

Columna = T + 1 = 15	Tramos de 3.05 m (10')	} TABLA No.
Longitud Columna = 45.75 m	= 150 pies	
Diámetro Columna = 203.00 mm	= 8 pulg.	
Diámetro de Camisa = 38.10 mm	= 1 1/2 pulg.	
Diámetro Flecha = 25.40 mm	= 1 pulg.	

$$a = \text{Espacio anular entre columna y camisa} = 0.0312 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/seg.)}}{a \text{ (m}^2\text{)}} = \frac{0.060}{0.0312} = 1.92 \text{ m/seg.}$$

$$H_v = \text{Pérdidas por velocidad en la columna} = \frac{V^2}{2g} = \frac{(1.92)^2}{19.62} = 0.188 \text{ m}$$

TABLA No. 1

$$H_c = \text{Pérdidas por fricción en la columna} = 0.017 \times 45.75 = 0.777 \text{ m}$$

TABLA No. 2

$$H_d = \text{Pérdidas por fricción en la descarga} = 0.0287 \times 3.05 = 0.087 \text{ m}$$

$$H = \text{Altura nivel dinámico} = 42.000 \text{ m}$$

$$H_{ad} = \text{Carga adicional en la descarga} = 2.000 \text{ m}$$

$$H = \text{Carga dinámica total} = 45.052 \text{ m}$$

$$H_t = 147.77 \text{ pies; No. de tazones} = \frac{H_t \text{ (pies)}}{\text{carga} \times \text{tazón}} = \frac{147.77}{58} = 2.55(12\text{-CC})$$

$$\text{Carga real por tazón} = \frac{H_t \text{ (pies)}}{\text{No. Taz.}} = \frac{147.7}{3} = 49.25 \text{ pies; } E = 83.00 \%$$

TABLA No. 3

$$H_f = \text{Pérdida mecánica en la Flecha} = 0.0053 \times 45.75 = 0.242 \text{ HP}$$

$$P_t = \text{Potencia en los tazones} = \frac{Q \text{ (lps)} \times H_t \text{ (m)}}{76 \times E \text{ (\%)}} = \frac{60 \times 45.05}{76 \times 0.83} = 42.85 \text{ HP}$$

$$P_t = \text{Potencia requerida} = 43.09 \text{ HP}$$

$$P_e = \text{Potencia motor eléctrico} = 50.00 \text{ HP}$$

$$C_a = \text{Corrección para motores diesel}$$

$$\text{Potencia motor diesel} = 1.25 \times P_r = 1.25 \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Best Available Document

Características de un Equipo de Bombeo para el Estado de Tlaxcala
Pozo Ayometla No. 4, Municipio Zacatelco

Nivel Estático	14.85	m	=	48.70	pies
Nivel Dinámico	42.00	m	=	137.76	pies
Gasto	60.00	lps	=	951.00	g.p.m.
Carga dinámica total	45.05	m	=	147.77	pies
Bomba	VERTICAL			Lubricación por	ACEITE
15	Tramos de Columna	45.75	m	150.00	pies
Núm. de Tazones	3	Modelo	12-CC	Tipo	CERIF
Eficiencia 83%					
Potencia en los tazones	$\frac{Q \times H_t}{76 \times E(\%)}$		=	42.85	H.P.
Potencia efectiva en el Motor				43.09	H.P.
Motor Eléctrico de	50.00		H.P.		
1	Interruptor Termomagnético de	125	Amps.		
1	Compensador de Voltaje para Motor de	50	H.P.		
Suministro e Instalación de un Banco de Transformación.					
Tipo Rural de	45.00	KVA			
Motor Diesel de	_____	H.P.	A	_____	r.p.m.
Cabezal de Engranés Marca	_____	Relación	_____		
Flecha Watson Modelo WL.	_____				

Forma No. 3
EJEMPLO:

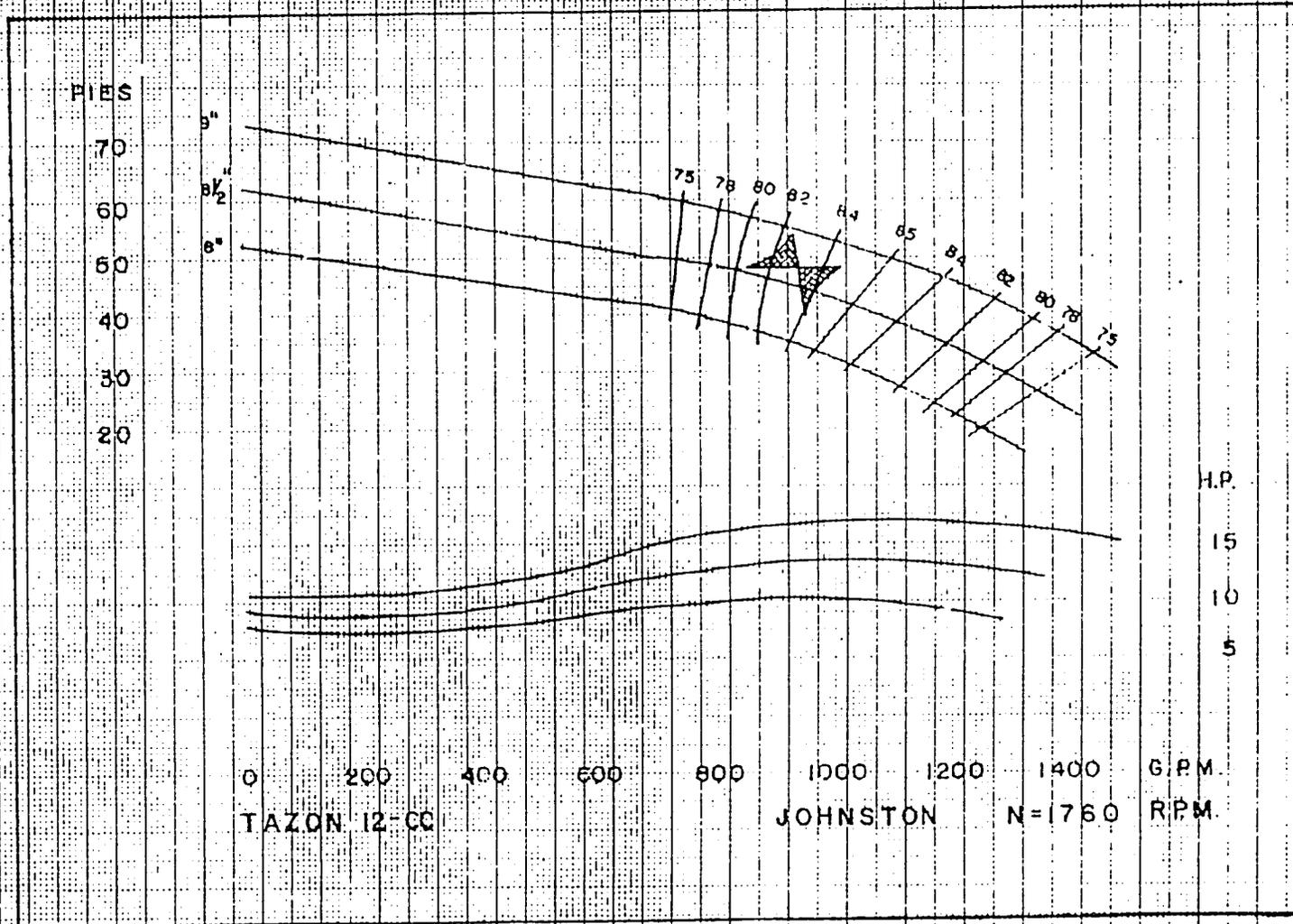
IMPORTE EQUIPO BOMBEO POZO: AYOMETLA No. 4

Presupuesto de un Equipo de Bombeo para el Estado de Tlaxcala
Nivel Estático: 14.85 m; Nivel Dinámico: 42.00 m; Gasto: 60.00 lps.
Bomba Lubricación por: ACEITE.

Can - tidad	C O N C E P T O	Precio Unitario	Importe
1	Motor eléctrico de 50 H.P.	\$ 59,000.00	\$ 59,000.00
1	Cabezal de Engranés _____ Rel: _____	\$	\$
1	Flecha Cardánica Watson Spicer Modelo- WL _____ con bridas maquinadas.	\$	\$
1	Cabezal Descarga 419 mm x 203 mm. (16 1/2" x 8").	\$ 9,700.00	\$ 9,700.00
15	Tramos Columna 203 x 63.5 x 38.1 mm. (8" x 1 1/2" x 1")	\$ 4,300.00	\$ 64,500.00
3	Tazones Mod. 12-CC Tipo: CERRADO.	\$	\$ 15,100.00
1	Tramo Tubo Succión 3050 mm x 203 mm (10' x 8").	\$ 2,800.00	\$ 2,800.00
1	Tramo Tubo Descarga 3050mm x 203mm (10' x 8").	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00
1	Colador Cónico Galvanizado de 203 mm Ø (8") Ø.	\$ 500.00	\$ 500.00
1	Interruptor termomagnético de 125 Amps	\$ 4,500.00	\$ 4,500.00
1	Compensador de voltaje para 50 H.P.	\$ 16,000.00	\$ 16,000.00
	Banco de Transformación Tipo Rural de 75 KVA.	\$ 61,000.00	\$ 61,000.00
	Instalación del Equipo de Bombeo.	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00
	TOTAL :		\$ 260,500.00

Best Available Document

Best Available Document



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

- HIDROLOGIA PARA INGENIEROS.- R.K. Linsley, M.A. Kohler y JL. - Paulhus.
- GROUND WATER HIDROLOGY.- D.K. Tood.
- GROUND WATER AND WELLS.- Edward E. Johnson.
- WATER WELL DRILLING WITH CABLE.- R.W. Gordon.
- GEOFISICA ELECTRICA.- A. de la O. Carreño.
- TESIS PROFESIONAL.- A. Jiménez V.
- MANUAL DE LA AGRICULTURA N° 60.-Departamento de Agricultura de E. U. A.
- CURSO INTENSIVO DE AGUAS SUBTERRANEAS U.N.A.M. 1965.- Gerald F, Briggs.
- STANDARDS OF THE NATIONAL ASSOCIATION OF VERTICAL TURBINE PUMPS MANUFACTURERS.
- III.- SEMINARIO LATINO-AMERICANO DE IRRIGACION S. R. H.
- MEMORANDUM TECNICO No. 113 DE LA S. R. H.

Best Available Document