



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

28
49

PERFORACION Y REHABILITACION DE POZOS PARA AGUA

T E S I S

Que para obtener el Título de

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

P r e s e n t a

CELERINO CRUZ GARCIA

México, D. F.

Mayo 1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

PAGINA

I	INTRODUCCION.....	1
II	ORIGEN Y CUANTIFICACION DEL AGUA SUBTERRANEA	4
	2.1 CICLO HIDROLOGICO.....	4
	2.2 ORIGEN DEL AGUA SUBTERRANEA.....	5
	2.3 DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA.....	10
	2.4 ZONA DE AIREACION Y SATURACION.....	12
	2.5 FORMACIONES GEOLOGICAS.....	15
	2.6 CLASIFICACION DE LAS ROCAS.....	16
III	HIDRAULICA DE POZOS.....	22
	3.1 MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA.....	26
	3.2 PRUEBAS DE BOMBEO EN REGIMEN ESTABLECI DO.....	33
	3.3 PRUEBAS DE BOMBEO EN REGIMEN NO ESTA BLECIDO.....	38
	3.4 FORMULA MODIFICADA PARA PRUEBAS DE -- BOMBEO CON REGIMEN NO ESTABLECIDO O -- TRANSITORIO.....	43
	3.5 OTROS SISTEMAS DE FLUJO.....	47
IV	PERFORACION DE POZOS.....	61
	4.1 SELECCION DE METODOS PARA LA PERFORA CION DE POZOS.....	62
	4.2 METODO DE CONSTRUCCION.....	64
	4.3 FACTORES QUE INTERVIENEN ANTES DE LA -- PERFORACION DEL POZO.....	64
	4.4 DISEÑO DE POZOS.....	73
	4.5 CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DE PER FORACION.....	80
	4.6 SECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES MAS IMPOR TANTES EN LA CONSTRUCCION DE UN POZO..	99
	4.7 SELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO.....	113
V	REHABILITACION DE POZOS.....	132
	5.1 FACTORES QUE AFECTAN EL BUEN FUNCIONA MIENTO DEL POZO.....	132
	5.2 REHABILITACION DEL POZO.....	135
VI	PRESUPUESTOS Y ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	159
	6.1 CAUSAS QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE LA PERFORACION DE POZOS.....	159
VII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	171

BIBLIOGRAFIA.

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

El principal objetivo de esta Tesis es exponer en forma sencilla los pormenores de la perforación de pozos. Está dirigido básicamente a los estudiantes que tengan alguna inquietud en ésta rama de la Ingeniería.

Desde que el hombre se hizo sedentario buscó el agua de Ríos, Lagos y Lagunas para formar sus congregaciones y garantizar así su subsistencia, sin embargo con el correr del tiempo y al desarrollo de los medios de producción, lo dispersan a lugares que ya no requieren como condición, la existencia inmediata de una fuente de agua, porque ya es capaz de transportarla. La Ingeniería ha dejado a lo largo de la Historia, testimonios elocuentes de su creatividad, sobre todo en los acueductos algunos de los cuales hoy en día todavía asombran por su belleza y grandiosidad.

La dinámica del desarrollo, el crecimiento de la población y sus diferentes actividades, hacen que habiten zonas carentes de agua superficial y es así como el hombre debido a sus necesidades se ingenia para desentrañarla de la profundidad de la tierra.

Por tal motivo, el agua subterránea viene desempeñando un papel fundamental en el bienestar de la población. Como el caso de la Ciudad de México, que por su ubicación tan particu

lar, siendo una cuenca cerrada a una altura de 2,240 metros so
bre el nivel del mar, además de un crecimiento explosivo de la
población, sirven de ejemplo para definir la problemática del
abastecimiento de agua.

En efecto, las limitaciones en la disponibilidad del agua
del propio Valle de México, ante un incremento constante de la
demanda para la población y la industria, se ha tenido la nece
sidad de traer agua de otras cuencas, y a sobre-explotar los
Acuíferos: las fuentes principales para el abastecimiento de
la Ciudad son: Los Acuíferos de Lerma, Del Valle de México (Xo
chimilco, Chalco y Chiconautla) incluyendo los pozos municipal
es que se encuentran dentro de la Ciudad y el Sistema Cutzamal
la.

La recarga de los Acuíferos se realiza por procesos natul
es , es decir, parte del agua de lluvia que se precipita en
la cuenca se infiltra en ella, esto no ocurre así en el Valle
de México donde el 90% de la superficie esta pavimentada, for
mando así una capa impermeable, de tal manera que el agua al
no infiltrarse escurre hacia las coladeras del drenaje, donde
se mezcla con las aguas negras, perdiéndose así la posibilidad
de recargar los Acuíferos.

Por lo expuesto anteriormente, se cree que se deberá te
ner mucho cuidado con la explotación de los Acuíferos, se re
quiere una rigurosa vigilancia para que esto se lleve a cabo
en forma racional, para asegurar su existencia permanente y

preservar su calidad, pues hay que reconocer que en algunas zonas la sobre-explotación ha sobrepasado las posibilidades del Acuífero, dando origen a descensos sistemáticos que afectan su cuantía y alteran sus características, creando así problemas de orden social y económico en la población.

Los efectos derivados de la sobre-explotación de los Acuíferos son de todos conocidos, el hundimiento de la Ciudad que ha alcanzado velocidades del orden de hasta 80 centímetros al año en algunas zonas, y recientemente de 5 a 10 centímetros anuales, los problemas que origina en las redes de drenaje, teniendo inundaciones en algunas zonas de la Ciudad, asentamientos diferenciales y daños a las estructuras, no es difícil suponer que por el abatimiento de los niveles dinámicos en los Acuíferos, que en promedio se estima de un metro por año, se llegue a extraer agua de mala calidad para el consumo de la población, por la misma causa o sea la del hundimiento, hace que los pozos pierdan su verticalidad o sufran rotura del ademe.

Por tal razón es importante la rehabilitación de pozos. El promedio de vida útil de un pozo se estima de veinticinco años, actualmente esta en marcha la rehabilitación de pozos en la zona de Lerma y del Valle de México, estos trabajos se están desarrollando en forma tal, que los pozos que operaban ineficientemente, después de rehabilitarlos lo hagan en forma adecuada. Hablar de agua es hablar de progreso es un elemento esencial, sin el cual se cancela el desarrollo social. Esto obliga a trabajar más y mejor cada día.

C A P I T U L O II

ORIGEN Y CUANTIFICACION DEL AGUA SUBTERRANEA.

ORIGEN Y DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA.

El conocimiento de los procesos y factores que afectan el origen y la distribución del agua en el subsuelo, es esencial para el ingeniero encargado de la localización y captación del agua subterránea

2.1 CICLO HIDROLOGICO.

Es el nombre que se le asigna a la circulación de agua en estado líquido, vapor ó sólido desde el mar al aire, y del aire a la tierra, sobre ó bajo la superficie de ésta y de nuevo al mar. La evaporación que se realiza en la superficie del agua de mar, de los lagos y ríos, da como resultado la transferencia de vapor de agua a la atmósfera, en ciertas condiciones, este vapor se condensa para formar nubes, las cuales liberan su humedad como precipitación en forma de lluvia, granizo ó nieve. La precipitación puede ocurrir sobre el mar ó directamente sobre la superficie terrestre, parte de la lluvia que cae en la tierra se evapora retornando inmediatamente la humedad a la atmósfera. Del resto, una parte moja completamente la superficie del suelo y fluye formando corrientes superficiales, que desembocan finalmente en el mar. Mientras que otra parte del agua

de lluvia se filtra en el suelo, a esto se le conoce como agua subterránea, esta agua igual que la corriente superficial su destino final es el mar. La evaporación regresa parte del agua de la superficie de la tierra mojada, a la atmósfera, mientras que las plantas extraen algo de esta porción en el suelo, mediante sus raíces y en virtud del proceso conocido como de transpiración la devuelven a la atmósfera a través de sus hojas.

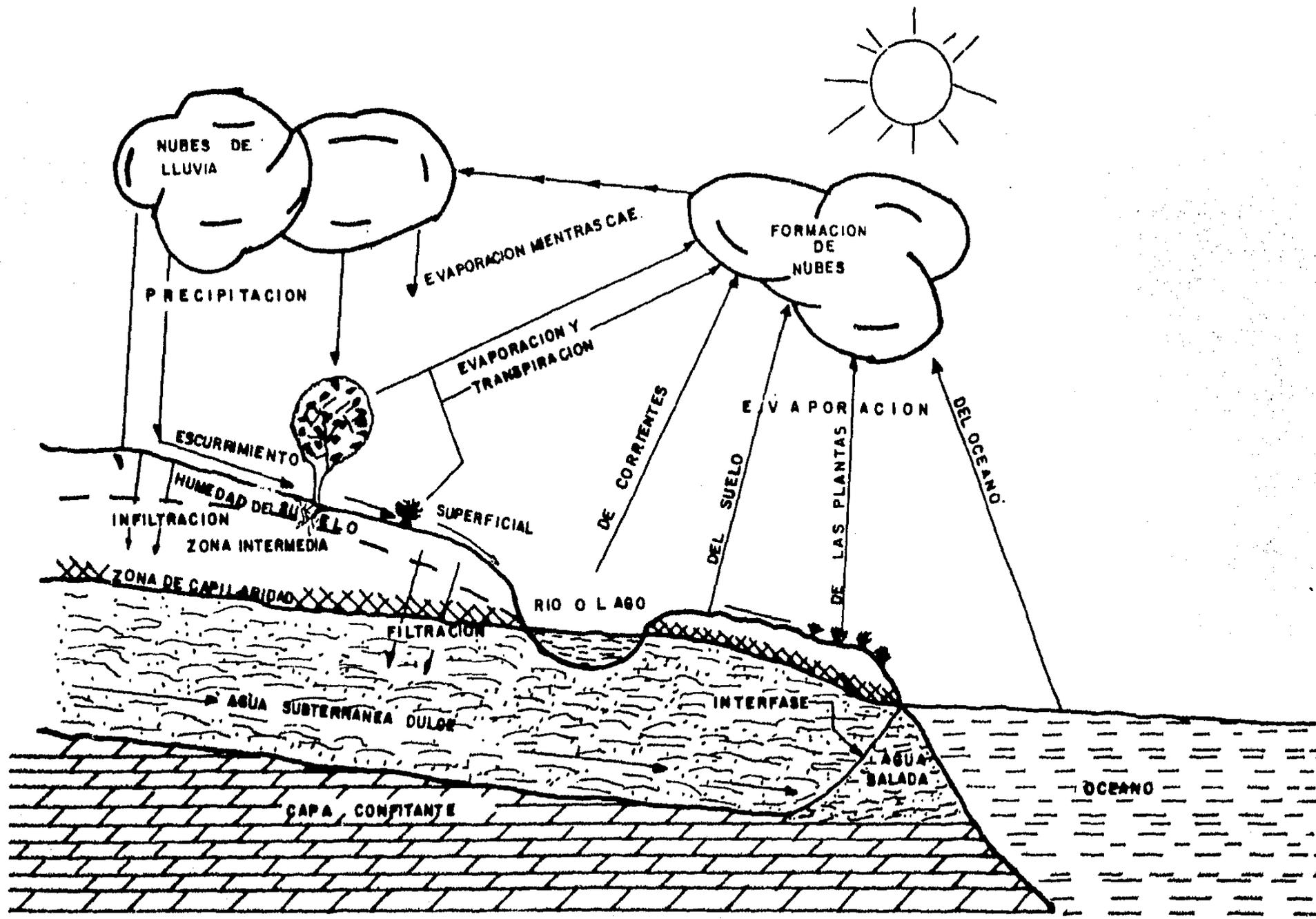
Todo lo anteriormente expuesto puede verse en la figura No. 1 .

2.2. ORIGEN DEL AGUA SUBTERRANEA.

El agua subterránea procede principalmente como se vió en lo del Ciclo Hidrológico, de la infiltración de la lluvia, y además de la nieve en las montañas, así como, aunque en menor escala, por la filtración de ríos, lagos, lagunas, canales y otros depósitos de agua.

El agua subterránea como puede verse, no es químicamente pura, sino que va acompañada de soluciones de sustancias diversas, las cuales pueden variar desde contenidos muy débiles hasta concentraciones muy altas, así también puede contener aire y otros gases, disueltos en ella ó bajo formas de pequeñas burbujas, generalmente microscópicas.

El agua subterránea contendrá las propiedades que las rocas le proporcionan a través de su recorrido. Es por



EL CICLO HIDROLOGICO

ello que los hidrogeólogos les interesa el estudio de las rocas que puedan contener agua en sus poros.

Esto los restringe a la parte más superficial del manto superior de la tierra, cuyo espesor máximo es de unos pocos de kilómetros comparado a el radio de más de 6,000 Km. de espesor.

Sin embargo también es de interés las capas interiores que constituyen el globo, ya que de tiempo en tiempo suceden fenómenos cuya fuente proviene desde grandes profundidades, como emanaciones volcánicas y manantiales, influyendo en la ocurrencia y calidad de las fuentes de agua subterránea, siendo necesario entenderlos para poder evaluarlos.

Además en muchas áreas en donde las rocas cristalinas y metamórficas son abundantes, es importante conocer los procesos que produjeron la estructura y formaron las diferentes rocas a fin de comprender mejor las posibilidades de existencia del agua subterránea. De las observaciones sísmicas, se deduce que la tierra esta construída de capas que difieren una de otra en sus propiedades químicas y físicas.

La capa superior o exterior del manto es de aproximadamente de 20 a 35 Km. de espesor y está compuesta de dos capas, el sial (SI-AL) con una composición similar al granito, mientras que la inferior se denomina sima (SI-MG) similar al basalto. Las dos capas están cubier

tas en parte por una capa delgada con 10 Km. aproximadamente de rocas sedimentarias.

La capa que se encuentra por abajo de los 2900 Km. también está constituida por unas cuantas capas secundarias, cuyas capas superiores tienen espesores de 30 a 400 Km. presentando un estado de plasticidad cercano al fluido. Esta capa y su estado es un factor muy importante en los diferentes fenómenos tectónicos observados en la superficie.

La parte más interna, el centro nífel (NI-FE) es muy denso y forma alrededor del 32% de la masa total de la tierra.

Como se ha visto, las rocas que se encuentran o extraen de perforaciones, son producto de diferentes procesos que ocurren en la parte superior de la corteza terrestre.

Se puede clasificar en dos tipos de procesos, endogénicos o tectónicos y exogénicos, los endogénicos tienden a formar el relieve de la tierra, y los exogénicos se encargan de destruir este relieve.

Se tratará de analizar el proceso exogénico y su influencia en la formación de diferentes tipos de rocas.

Se puede mencionar tres tipos de factores importantes del proceso exogénico, como son:

- a) - Intemperismo
- b) - Erosión

c) - Depositación

El intemperismo es la destrucción de la roca primaria por varios agentes, pudiendo hablarse de intemperismo físico ó desintegración de la roca, e intemperismo químico como proceso que toma lugar en presencia del agua. La descomposición química de las rocas es producida principalmente de la influencia del agua, debido a fenómenos de disolución e hidratación. La resistencia de los minerales a la desintegración química depende de su naturaleza química y mineralógica. El mineral más resistente es el cuarzo y es la razón por la que las arenas cuarzosas son las más abundantes.

La erósión es el fenómeno de desintegración de la roca, en el que intervienen varios agentes como pueden ser: Los cambio de temperatura, el viento, el agua, el mar e inclusive el hombre.

La depositación es el acumulamiento del material producto de los fenómenos de intemperismo y erosión y dependiendo de los constituyentes químicos de las rocas originales y el ambiente, explican la cementación de las rocas.

Un conocimiento de las diversas formas que estos procesos dejen, ayudarán a comprender las condiciones climáticas que prevalecen en ciertas áreas.

La fuente de material, el agente del transporte y la forma de depositación, decidirá la naturaleza de las rocas y permite hacer una clasificación de ellas, aún

cuando las rocas sedimentarias constituyen solo el 5% de la corteza terrestre, el 90% de los acuíferos se encuentran en ellas.

2.3. DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA.

El agua del subsuelo que se encuentra en los intersticios ó poros de las rocas se puede dividir en dos zonas principales, estas son las zonas de Aireación y la de Saturación.

Además del interés en la distribución y cambios en la localización del agua del subsuelo, también es muy importante tomar en cuenta la calidad química, física y bacteriológica del agua, si se requiere ésta para agua potable.

La distribución del agua a través de las formaciones geológicas del subsuelo depende de los siguientes factores:

- a) Clima actual, reciente ó pasado.
- b) Naturaleza de las rocas que conforman la región.
- c) Estratigrafía o sea la secuencia y distribución de los diferentes tipos de rocas.
- d) Estructura geológica o sea la ubicación especial de las diferentes unidades estratigráficas.
- e) Topografía o morfología de la superficie en la región.

Para los geólogos, su principal interés esta en el material que constituye a las rocas, en tanto que a los hi-

drólogos su atención se centra en los espacios vacíos que existan o no entre las partículas que componen la roca. El tamaño, la interconexión y distribución de los espacios vacíos está determinado en forma primaria por la naturaleza del material rocoso.

El tamaño de los espacios entre las partículas de roca puede considerarse desde dos puntos de vista.

- a) El total de espacios vacíos que existen dentro de un volumen de roca, ó en otras palabras, la proporción volumétrica entre material de roca y aire ó agua en un cierto volumen de roca, tal proporción puede definirse en porcentaje y se llama Porosidad de la roca.
- b) La magnitud de los espacios abiertos toma en consideración que no todos los espacios abiertos en la roca pueden transmitir agua, ya que también las pequeñas aberturas atraen las partículas de agua mediante fuerza intra-moleculares. La magnitud de las aberturas puede variar considerablemente siendo difícil, si no imposible representarla numéricamente, por lo que los hidrólogos enuncian esta magnitud como la facultad de una cierta área de roca capaz de transmitir agua.

Cuando el enunciado anterior se define en términos de una cantidad de agua que pasa por una unidad de área, bajo un gradiente hidráulico unitario, se conoce como la Permeabilidad de la roca y se define en términos de la cantidad de agua que pasa por una

sección de ancho unitario, y todo el espesor saturado de un auífero, se conoce como la transmisibilidad de la roca.

La relación física entre el agua en los espacios abiertos puede definirse de acuerdo al tipo de energía por medio de la cual es posible extraer el agua.

La energía que se considera en aquella relacionada con el campo de gravedad de la tierra y rangos más altos de energía (centrífuga), de acuerdo a esto, el volúmen de agua con relación al volúmen de roca, el cual puede extraerse por fuerzas gravitacionales, puede definirse como la porosidad efectiva de la roca.

2.4 ZONA DE AIREACION Y SATURACION

La zona de aireación se extiende de la superficie de la tierra al nivel al cual todos los poros ó espacios abiertos, se encuentran completamente llenos o saturados de agua. Una mezcla de aire y agua se encuentra en los poros de esta zona, y de allí su nombre.

Se puede subdividir en tres capas esta zona que son las siguientes:

- a) Capa de agua del suelo.
- b) Capa intermedia.
- c) Borde capilar ó capa freática.

La capa de agua del suelo se encuentra inmediatamente debajo de la superficie, y ésta es la región de la que

las plantas extraen, por medio de sus raíces, la humedad necesaria para su desarrollo. El espesor de la capa tiene una gran variación, y depende del tipo de suelo y vegetación, variando de unos 20-50 cm. en las tierras compactas y las áreas de cultivo, hasta dos ó tres metros en los bosques y tierras que soportan plantas de raíces muy profundas.

La capa intermedia como su nombre lo indica, está entre la capa de agua del suelo y el borde capilar. La mayor parte de su agua llega por gravedad a través de la capa del agua del suelo. El agua de esta capa también se le conoce como agua vadosa.

Cuando hay exceso de lluvia hace que los suelos no sean capaces de retener suspendida esta agua, y desciende de lentamente hasta alcanzar la superficie freática.

Borde capilar o capa freática: su nombre procede del hecho de que el agua, en esta capa, está suspendida por fuerzas capilares, similares a las que causan que el agua se eleve en un tubo estrecho o capilar, por encima del nivel del agua contenida en un recipiente mayor que aloja verticalmente al tubo ó mientras más estrecho sea el tubo ó los poros, más se elevará el agua.

Por tal motivo, el espesor de la capa depende de la textura de la roca ó el suelo y puede ser prácticamente cero cuando los poros sean grandes.

Como se vió anteriormente, los suelos situados por encima del nivel freático, poseen una capacidad de suc-

ción que produce el denominado movimiento capilar del agua, en los suelos de grano grueso, la humedad capilar se desplaza solo unos cuantos centímetros por encima del nivel freático, pero lo hace en cambio con gran rapidez en arcillas, en donde el agua puede elevarse hasta alturas de 10 a 15 M.

El agua capilar puede correrse también de una masa de suelo saturado por completo, en la que todos los poros están llenos de agua, si la masa de suelo ofrece una cara expuesta a la intemperie de modo tal que su contenido de agua pueda evaporarse, como es el caso de los pantanos, en los que el agua capilar se desplaza continuamente a través de suelos saturados, para reemplazar a la que se pierde por evaporación superficial.

MOVIMIENTO CAPILAR.

Llámase movimiento capilar a la humedad que se desplaza en general de los suelos húmedos a los suelos secos, cuando ambos materiales están en contacto.

El movimiento capilar dentro del suelo o en su estado natural, comienza a partir de una superficie de aguas libres, generalmente su movimiento de desplazamiento es en sentido vertical ascendente, aunque pueden moverse en dirección cualquiera.

ZONA DE SATURACION.

Esta zona se caracteriza por tener todos los poros completamente llenos o saturados de agua. El agua de la zo

na de saturación se le conoce como agua del subsuelo y es la única forma de agua que puede fluir fácilmente hacia un pozo. Por tal motivo el objeto en la construcción de un pozo, es penetrar en esta zona.

NIVEL FREÁTICO.

El nivel de aguas freáticas no es horizontal, ni en sentido longitudinal, es decir en la dirección del flujo, ni en dirección transversal, sino que sigue la conformación de la superficie del terreno. Está en movimiento constante, excepto en algunos puntos aislados.

FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO.

La evaluación ó descenso del nivel freático en una cuenca, depende de varios factores, tales como los que a continuación se mencionan.

- a) De la intensidad de la lluvia en la cuenca.
- b) De la pendiente de la cuenca.
- c) Del caudal de extracción.
- d) Del tipo de suelo.

En época de lluvia, generalmente el nivel freático de una cuenca, dependiendo de sus características, tiende a subir de nivel, pero en la época de sequía este nivel sufre un descenso variable, algunas cuencas nuevamente en la época de lluvia, recuperan su nivel freático, otras lo hacen en grado menor, pero hay alguna que no lo recuperan nunca.

2.5.

FORMACIONES GEOLOGICAS.

Por conveniencia, se describirá a todos los materiales que forman la tierra como rocas, las rocas pueden ser del tipo consolidado, esto es, firmemente mantenidos y unidos por procesos de compactación, cementación y otros, un ejemplo de este tipo pueden ser el granito, arenisca y la caliza. También pueden ser del tipo de roca no consolidadas o sea materiales sueltos, tales como grava y arena, Las formaciones acuíferas pueden estar compuestas de rocas consolidadas y no consolidadas, los componentes rocosos deben ser suficientemente porosos y ser suficientemente permeables, es decir, las aberturas deben de estar interconectadas para permitir el paso del agua a través de ellas.

2.6

CLASIFICACION DE LAS ROCAS.

Las rocas pueden clasificarse por su origen en tres categorías principales, igneas, metamórficas y sedimentarias.

ROCAS IGNEAS.

Las rocas igneas son las que resultan del enfriamiento y solidificación de los materiales calientes, fundidos, llamados magma que se originan a grandes profundidades dentro de la tierra. Cuando la solidificación tiene lugar a una profundidad considerable, las rocas se conocen como intrusivas o plutónicas, mientras que las que se solidifican en la superficie del suelo o cerca de ella se llaman extrusivas o volcánicas.

Las rocas plutónicas, tales como el granito, usualmente son de textura gruesa y no porosa y no se conside-

ran como capas acuíferas. Sin embargo, ocasionalmente se ha encontrado agua en grietas y fracturas de las porciones superiores, atacadas por los cambios climatológicos en tales rocas.

Las rocas volcánicas, a causa del enfriamiento relativamente rápido que tiene lugar en la superficie, usualmente son de textura fina y de apariencia cristalizada. El basalto es una de las principales rocas de este tipo, puede ser altamente poroso y permeable como resultado de aberturas comunicantes, formadas por el desarrollo de burbujas de gas cuando la lava se enfría. Las capas acuíferas basálticas también pueden contener agua en las grietas y en las brechas o roturas de los extremos y fondos de las capas sucesivas.

Los materiales de fragmentación descargados por los volcanes, tales como cenizas y escoria, se conocen como formadores de capas acuíferas excelentes donde las partículas son de tamaño suficientemente grande. Sus capacidades para producir agua varían considerablemente, dependiendo de la complejidad de la estratificación, el grado del tamaño y la forma de las partículas, un ejemplo son los pozos de la zona sur en la cuenca del Alto Lerma, en la porción de San Pedro Techuchulco a Almoloya del Río, donde el agua es de un color negro característico de las cenizas volcánicas, aún cuando son excelentes estos pozos ya que en promedio aportan un gasto de 70 lps.

y su abatimiento es de escasos 8.00 m. su color lo hace muy desagradable a la vista.

ROCAS METAMORFICAS.

Roca metamórfica, es el nombre que se da a las rocas de todos los tipos, ígneas o sedimentarias, que se han alterado por calor y presión. Ejemplos de éstas son la cuarzita o arenisca metamorfoseada, los esquistos de pizarra y mica, de arcilla y gneiss del granito. Generalmente, éstas forman capas acuíferas pobres con agua obtenida solamente de las grietas y facturas. El mármol, una caliza metamorfoseada, puede ser una buena capa acuífera cuando se fractura y contine canales de disolución.

ROCAS DESIMENTARIAS.

Las rocas sedimentarias son los depósitos de material derivado de la acción del clima y la erosión por otras rocas. Aunque constituyen, aproximadamente el 5 % de la corteza de la tierra, contienen un 90% estimado del agua del subsuelo.

Las rocas sedimentarias pueden ser consolidadas o no consolidadas, según cierto número de factores tales como tipo de roca que les da origen, forma de desgaste por la acción del tiempo, medios de transporte, forma de depósito, y el grado de acumulación, compactación, y cementación. Generalmente, las rocas más duras producen sedimentos de textura más gruesa que las blandas. La erosión por desintegración mecánica, por ejemplo, fractura de la

roca debida a las variaciones de temperatura produce sedimentos más gruesos que los que ocurren por descomposición química. El depósito en el agua propicia mejor distribución y acumulación en los materiales, que cuando el depósito se hace directamente en la tierra. Los constituyentes químicos de las rocas originales y el medio ambiente explican la cementación de las rocas no consolidadas para transformarlas en consolidadas duras. Estos factores, también, incluyen en la capacidad de contener agua de las rocas sedimentarias. Los sedimentos desintegrados de arcilla son, usualmente, de grano fino y constituyen estratos acuíferos pobres, mientras que los sedimentos derivados de granito u otras rocas cristalinas, generalmente, forman buenas capas acuíferas de arena y grava, particularmente cuando la circulación considerable en el agua ha producido partículas bien redondeadas y distribuidas.

La arena, la grava y las mezclas de estos materiales, se encuentran entre las rocas sedimentarias no consolidadas que forman estratos acuíferos. Granulares y no consolidadas, varían en tamaño de partícula y en grano de distribución y redondez de éstas. Consecuentemente, sus capacidades para suministrar agua varían considerablemente.

Sin embargo, constituyen las mejores formaciones que contienen agua.

Otras capas acuíferas sedimentarias no consolidadas son depósitos marinos, aluviales o de corrientes, incluyen-

do depósitos deltaicos y abanicos aluviales, los depósitos por acarreo glacial y por efectos del viento, tales como dunas de arena y tierra amarilla, los depósitos fangos muy finos también se pueden esperar grandes variaciones en las capacidades de producción de agua de estas formaciones. Por ejemplo, el rendimiento de los pozos en dunas y de arena y tierra amarilla puede limitarse tanto por la finura del material como por la reducida extensión y el espesor de los depósitos.

La caliza, esencialmente carbonato de calcio, y la dolomita o carbonato de calcio y magnesio son ejemplos de las rocas sedimentarias consolidadas conocidas por su función como estratos acuíferos. Las fracturas y las grietas causadas por movimientos de la tierra, y más tarde agrandadas hasta formar canales de disolución por efecto del flujo del agua del suelo a través de ellas, forman las aberturas comunicantes por las que circula el líquido. El flujo puede ser considerable cuando se han formado canales de disolución .

La arenisca, usualmente formada por la compactación de la depositada por los ríos cerca de las playas existentes, es otra forma de roca sedimentaria consolidada que se comporta como capa acuífera. Los agentes cementantes son causa de la amplia variedad de colores que se observan en las areniscas. Las capacidades de producción de las areniscas varían según los grados de cementación y

y fracturación.

Las arcillas y otros barros similares compactos y cementados, tales como el esquisto de barro y el acarreo fluvial, usualmente no se consideran como capas acuíferas, pero se sabe que proporcionan cantidades pequeñas de agua a los pozos en áreas localizadas donde los movimientos de tierra han fracturado substancialmente tales formaciones.

Un ejemplo característico de roca sedimentaria lo forma la parte de la zona centro y norte de la cuenca del Alto Lerma, comprendida desde Jocotitlán hasta Amomolulco, donde se encuentran localizados 260 pozos entre pozos de riego y los que abastecen de agua potable a la Ciudad de México, sin contar los pozos privados que deben ser una cantidad considerable, tomando en cuenta el auge industrial que esta tomando esta área del Estado de México, pues ya se habla del corredor industrial que corre de la Ciudad de Toluca a Atlacomulco.

C A P I T U L O III

HIDRAULICA DE POZOS.

La Hidráulica de pozos proporciona las bases teóricas para interpretar y/o prever las fluctuaciones de los niveles freáticos provocados por la extracción de agua en un acuífero, mediante la determinación de sus características hidráulicas como la permeabilidad, transmisibilidad, almacenamiento y la identificación del sistema de flujo de que se trata como puede ser confinado, semi-confinado, con frontera impermeable o de alimentación.

ACUIFERO.— Un acuífero puede definirse como una formación geológica que puede almacenar gran cantidad de agua, actuando como depósito y reserva de agua subterránea, además de contar con una permeabilidad tal que pueda ser explotado económicamente. Los acuíferos pueden clasificarse en la siguiente forma:

ACUIFEROS LIBRES O NO CONFINADOS.

ACUIFEROS CONFINADOS.

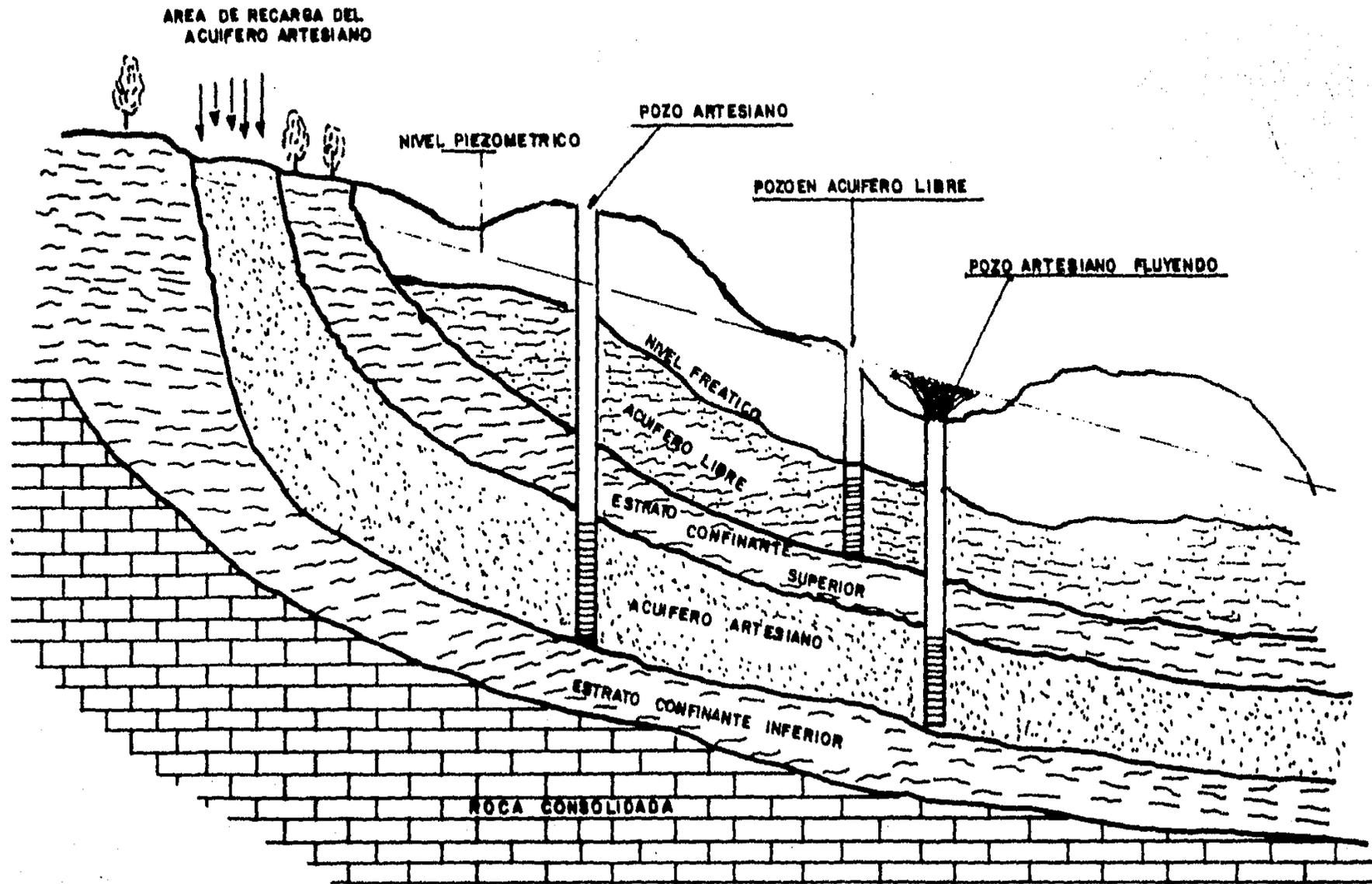
ACUIFEROS SEMICONFINADOS.

Acuífero libre es aquel en que el nivel de agua dentro del pozo coincide con el del acuífero en ese punto.

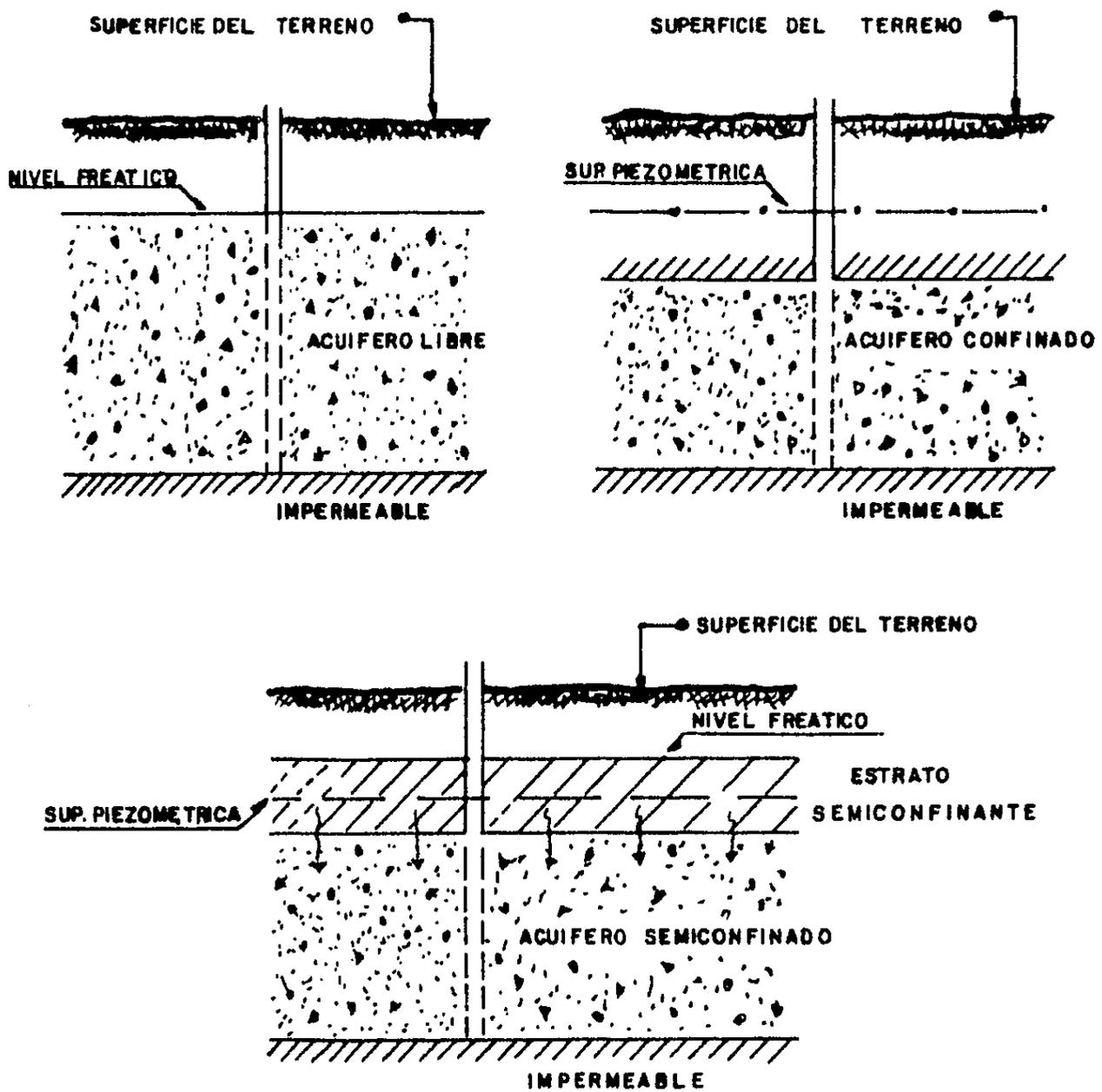
Acuífero confinado se le conoce como artesiano y se encuentra confinado bajo una presión mayor que la atmosférica, al construir un pozo que penetre en un acuífero de este tipo, el nivel del agua dentro del pozo se elevará sobre el lecho confinado, originando un pozo artesiano o surgente, un acuífero confinado se transforma en un acuífero libre cuando la superficie piezométrica cae por debajo de la superficie superior del lecho confinado.

Acuífero semiconfinado se caracteriza por tener una superficie semiconfinante, es este tipo de acuífero el que mayor se encuentra en la Naturaleza. Todo lo antes expuesto puede apreciarse en las figuras No. 3-1 y 3-2

El flujo del agua subterránea en la naturaleza es, hasta cierto punto tridimensional, esto significa que si fuera posible medir la velocidad de una partícula fluyendo a través del suelo, se tendría que el vector velocidad en cualquier punto, tendría componentes a lo largo de los ejes X, Y, Z, el flujo del agua subterránea, puede evaluarse cuantitativamente, conociendo la velocidad, presión, densidad, temperatura y viscosidad del agua infiltrada a través de una formación geológica. Estas características constituyen generalmente las incógnitas del problema y pueden variar en cada punto de la formación y con el tiempo, si las incógnitas dependen únicamente de las variables X y Z el movimiento se presenta en régimen establecido, si las incógnitas son también función del tiempo, el régimen es no establecido o transitorio.



CORTE ESQUEMATICO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACUIFEROS



REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACUIFEROS

El flujo con régimen establecido, se puede considerar como un caso particular del flujo con régimen no establecido o transitorio, cuando el tiempo tiende a infinito.

3.1 MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA.

El movimiento del agua subterránea está gobernada por principios hidráulicos ya establecidos.

En 1856, Henry D'Arcy estableció la ley que lleva su nombre, la cual dice que la velocidad de flujo a través de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud de recorrido del flujo, esta ley es expresada en forma matemática de la siguiente forma:

$$V = K \frac{h}{L} \quad (1)$$

en donde:

- V = velocidad en m/seg.
- K = constante de proporcionalidad, llamada permeabilidad.
- h = pérdida de carga en m.
- L = distancia recorrida por el flujo en m.

En forma general, la ecuación anterior se puede expresar como: $V = K \frac{dh}{dL}$ (2)

donde $\frac{dh}{dL}$ es el gradiente hidráulico.

De acuerdo con esta ley, el gradiente hidráulico varía directamente con la velocidad, esto significa que a medida que el agua se acerca al pozo el gradiente hidráulico aumenta, lo cual es causa de que la superficie del agua tenga una pendiente descendente continua hacia el pozo, dando origen

al llamado cono de abatimiento en los pozos bombeados. El pozo construido en un acuífero libre se manifiesta por un descenso de nivel en el pozo, que origina un gradiente y el agua de las zonas próximas va escurriendo hacia el pozo, luego la influencia del bombeo se extiende hacia áreas más alejadas formándose el cono de abatimiento.

El bombeo de un pozo construido en un acuífero confinado presenta un fenómeno análogo al caso anterior, con la diferencia que el cono de abatimiento no es una superficie física real sino una imaginaria, sin embargo la forma de los conos en ambos casos es similar.

Para el análisis del comportamiento hidráulico de los pozos es necesario definir los siguientes términos de uso común

- a) NIVEL ESTÁTICO
- b) DESCENSO
- c) RADIO DE INFLUENCIA
- d) CAPACIDAD ESPECÍFICA
- e) POROSIDAD
- f) COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
- g) COEFICIENTE DE TRANSMISIBILIDAD
- h) COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

NIVEL ESTÁTICO.- Es el nivel que toma el agua dentro del pozo cuando éste no es bombeado o bien no es afectado por el bombeo de otros pozos.

DESCENSO.- El descenso en un pozo es la distancia entre el nivel estático del agua y el nivel de ésta durante el bombeo.

RADIO DE INFLUENCIA.- Se define al radio de influencia como la distancia que hay desde el centro del pozo hasta el límite del cono de abatimiento.

CAPACIDAD ESPECIFICA.- (También conocido como rendimiento específico). Es la relación entre el caudal extraído del pozo y su descenso, sirve para medir la eficiencia de un pozo e indicar las características de transmisibilidad de la formación, en la mayoría de los pozos la capacidad específica decrece a medida que se prolonga el tiempo de bombeo. Generalmente se expresa en m^3/h por metro ó lps. por metro ($m^3/h.m$ ó lps.m).

POROSIDAD.- La porosidad de un terreno se define como la relación de huecos al volúmen total de terreno que los contiene, la porosidad depende de un gran número de factores, tales como la naturaleza físico^o, química del suelo, de la granulometría de sus componentes, del grado de compactación y fisuramiento en un terreno será el producto del volúmen del suelo saturado por su porosidad. Sin embargo, si se drenara este terreno se ^Verá que el volúmen de agua que puede extraerse es inferior al del total del agua almacenada. El resto queda retenido en forma de películas adheridas por atracción molecular a las partículas del terreno, como se ve este remanente de agua no es aprovechable mediante la captación de pozos.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K).- El coeficiente de permeabilidad es una medida de la capacidad del terreno para permitir el paso del agua, se le define como el caudal

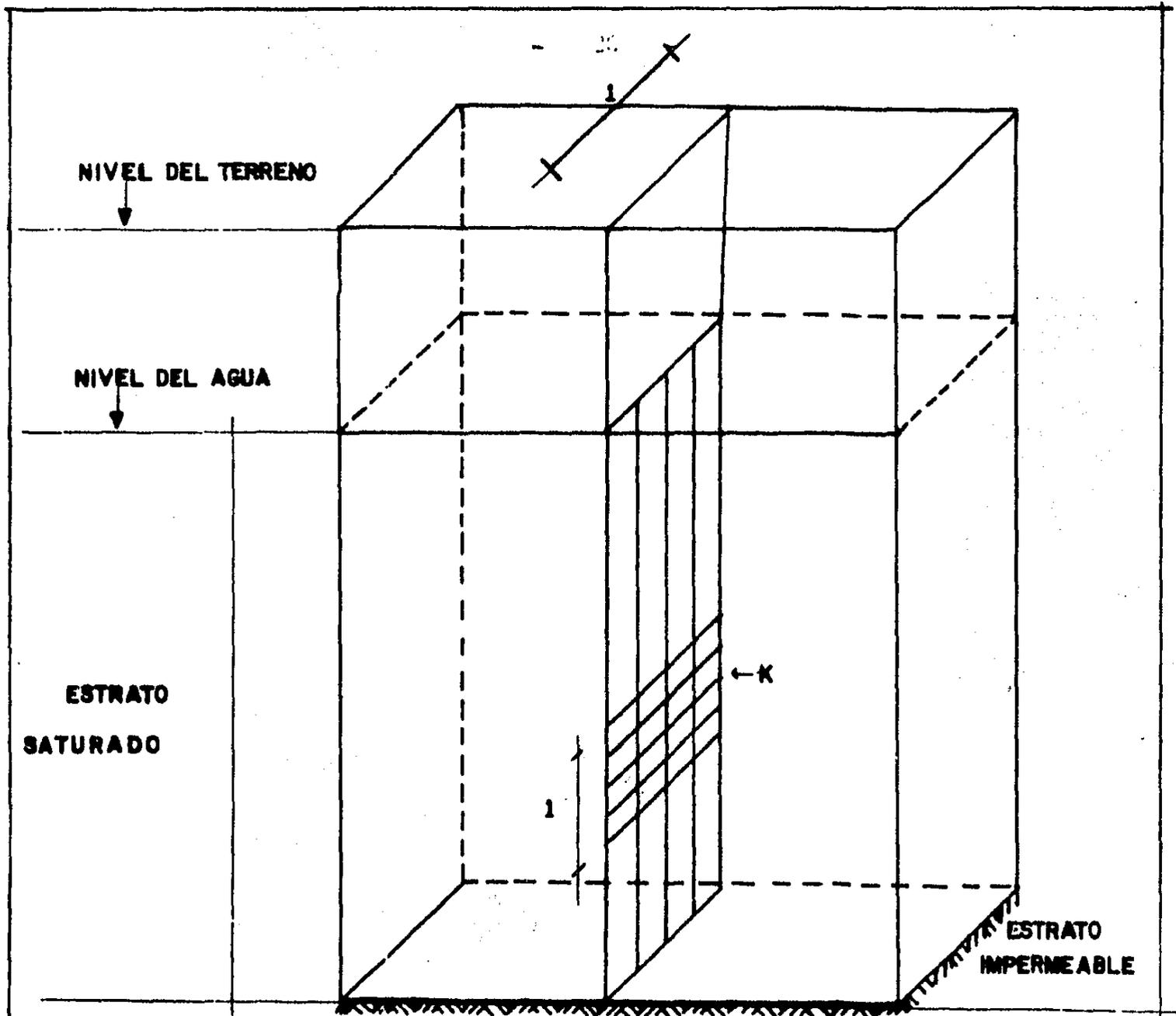
que se filtra a través de una sección unitaria de terreno bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario, estando el agua a una temperatura fija determinada, fijando unidades se puede decir que la permeabilidad es la cantidad en m^3 /día de agua que pasa por $1m^2$ de terreno a $10^\circ C$, bajo un gradiente hidráulico de $1m \times 1m$ que puede expresarse así: $(m^3/día.m^2)$

COEFICIENTE DE TRANSMISIBILIDAD (T).- Se define como el caudal que se filtra a través de una faja vertical de terreno, de ancho unitario, a una temperatura fija determinada, formando unidades se tendrá que la transmisibilidad será la cantidad de m^3 /día que pasa a través de una sección de ancho igual a $1m$ y altura b (espesor del acuífero), a una temperatura de $10^\circ C$ bajo un gradiente hidráulico de $1m \times 1m$ que puede expresarse de la siguiente manera $(m^3/día.m)$.

Por lo antes descrito se puede escribir, que la transmisibilidad es igual al producto de la permeabilidad por el espesor del acuífero:

$$T = Kb$$

Para dos acuíferos que tengan igual permeabilidad la transmisibilidad será mayor en aquel que tenga mayor espesor(b) en la figura 3-1-1 se puede apreciar la diferencia entre el concepto de permeabilidad y el de transmisibilidad, la primera se refiere al caudal que pasa a través del área cuadrículada y la segunda a través del área rayada, los valores de transmisibilidad que se encuentran en los distin-



DIFERENCIA ENTRE LA PERMEABILIDAD Y LA TRANSMISIBILIDAD

FIG. 3-1-1

tos terrenos pueden variar entre límites muy amplios, comprendidos entre $10\text{m}^3/\text{m.día}$ hasta valores superiores a 10 mil $\text{m}^3/\text{m.día}$, las formaciones con valores de transmisibilidad menores que el límite inferior anteriormente expresado no son productivas. Las formaciones con transmisibilidades superiores a $100\text{m}^3/\text{día}$ son un índice de acuíferos buenos para la explotación de agua por medio de pozos profundos.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.— El coeficiente de almacenamiento que se indica con la letra (S) es un número adimensional y se define como una medida de la cantidad de agua que la formación producirá (o tomará) del almacenamiento bajo la acción de un cambio dado de la altura piezométrica. En un acuífero libre el coeficiente de almacenamiento es igual a la porosidad eficaz, entendiéndose por porosidad eficaz a la relación del volúmen de agua de un terreno drenable por gravedad al volúmen total de éste. En acuíferos confinados el coeficiente de almacenamiento es igual al agua obtenida del almacenamiento por la compresión de una columna vertical de la formación y de la consiguiente expansión del agua contenida en la misma, la altura de la columna es igual al espesor del acuífero y su base un área unitaria. En la mayoría de los acuíferos el coeficiente de almacenamiento queda comprendido entre la gama de los valores siguientes: $0.00005 \leq S \leq 0.005$, indicando que grandes cambios de presión se requieren para producir substanciales caudales de agua.

Por lo anteriormente expuesto se llega a la conclusión que los coeficientes de transmisibilidad y de almacenamiento son dos elementos muy importantes para definir las características hidráulicas de una formación acuífera, el de transmisibilidad indica la cantidad de agua que se mueve a través de la formación, y el de almacenamiento, la cantidad de agua almacenada que puede ser removida por bombeo, estos dos coeficientes pueden determinarse en cualquier formación por medio de pruebas de bombeo.

PRUEBAS DE BOMBEO.

La realización de las pruebas de bombeo, lleva como finalidad determinar las características hidráulicas de los acuíferos, y consisten en observar los abatimientos provocados por bombeo en los niveles de un acuífero. Los abatimientos pueden ser observados en el mismo pozo de bombeo, ó bien, en pozos de observación próximos a él.

Al iniciarse el bombeo en un pozo, el nivel del agua en las cercanías sufre un abatimiento, que resulta mayor en el mismo pozo y decrece a medida que la distancia al pozo aumenta, hasta que se llega a un punto en que bombeo no afecta a dicho nivel, la fuerza que induce al agua a que se mueva hacia el pozo, es la carga hidráulica representada por la diferencia entre el nivel del agua dentro del pozo y el existente en cualquier lugar fuera de él. Cuando se bombea agua mediante un pozo, ésta se deriva del almacenamiento del acuífero, y en tanto no exista una recarga vertical, el

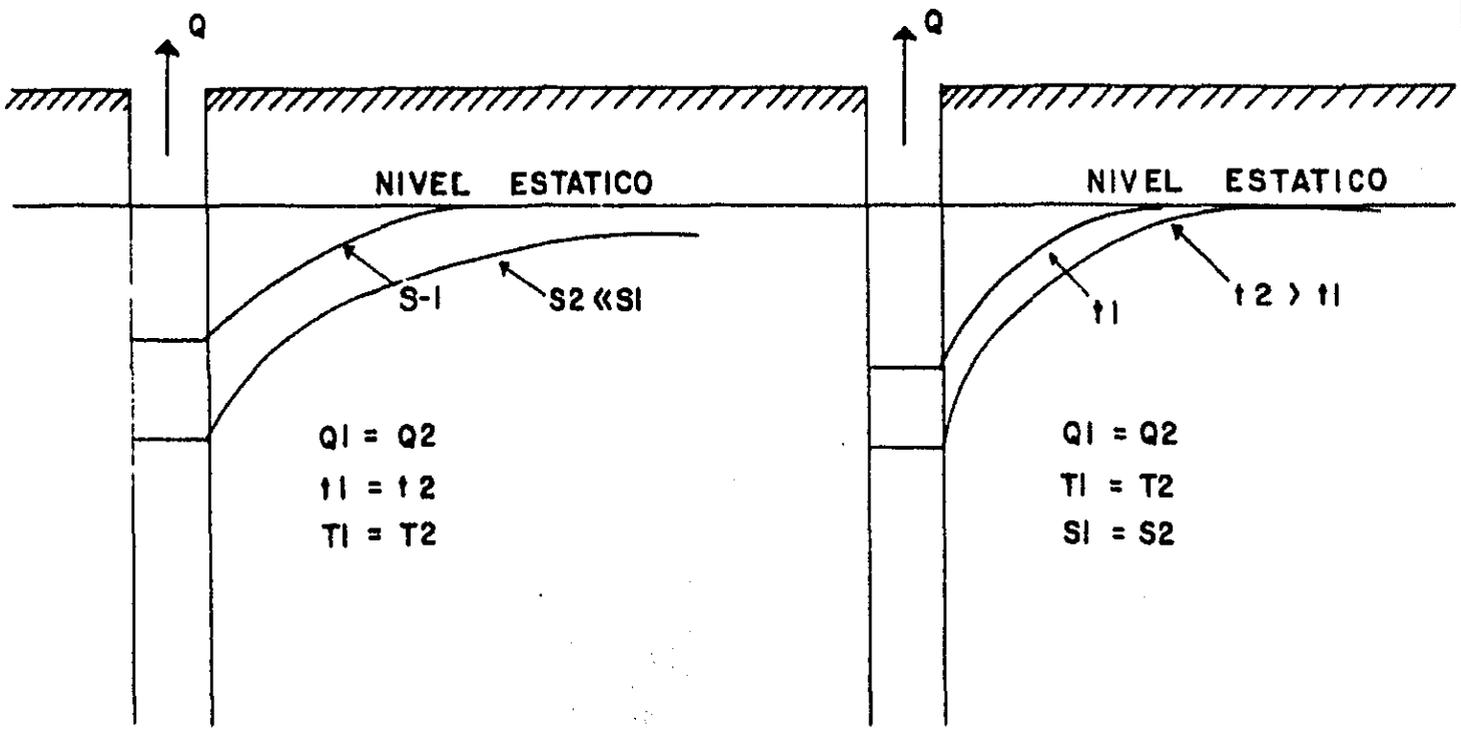
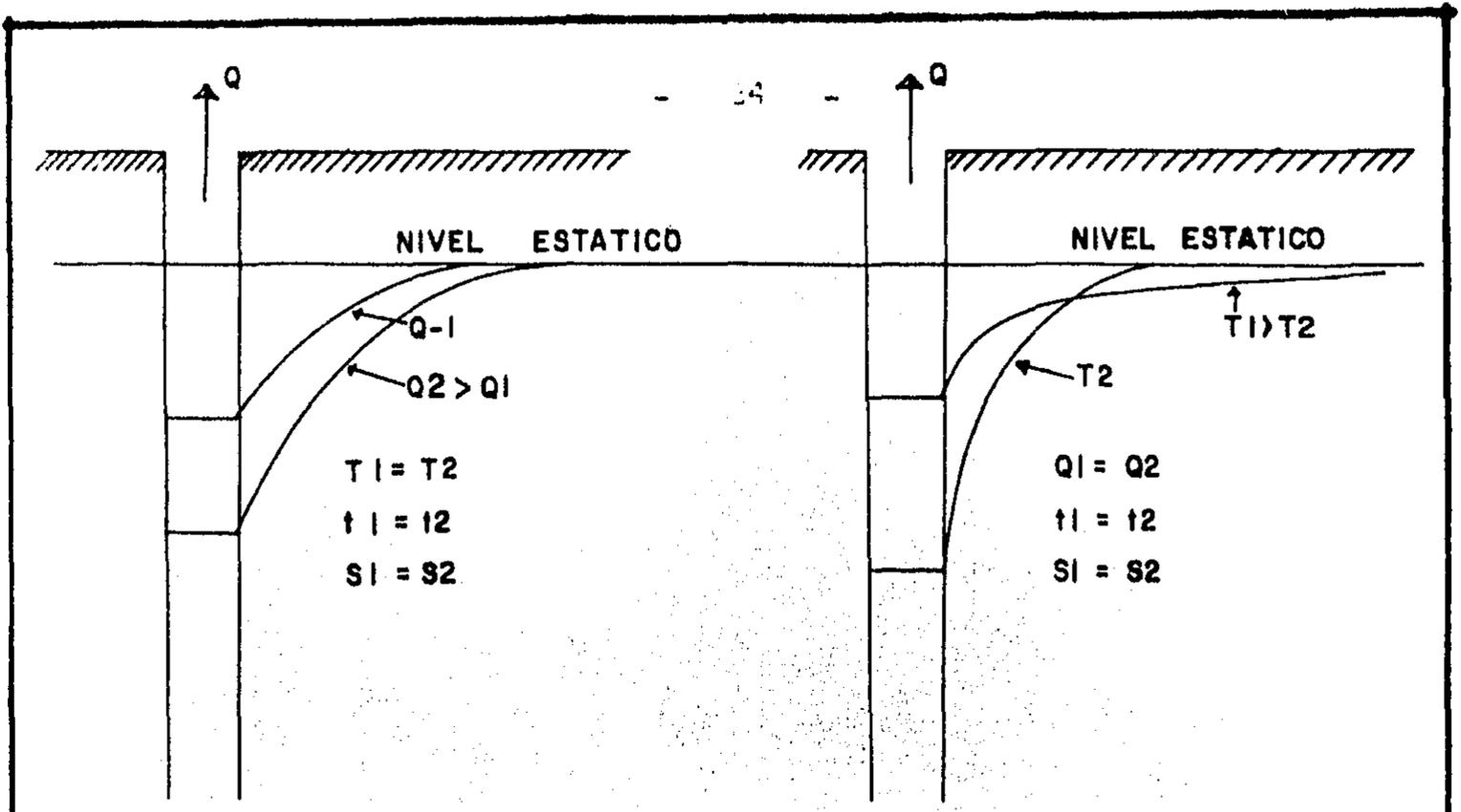
cono de abatimiento se va extendiendo más y más, decreciendo la magnitud de los abatimientos a medida que el área afectada sea mayor, hasta que la superficie piezométrica se estabiliza en las proximidades del pozo y se llega a una condición de flujo, el cono de abatimiento depende de varios factores como son los siguientes:

tiempo de bombeo, recarga dentro del área de influencia del pozo, pendiente del nivel freático, coeficiente de transmisibilidad y de almacenamiento, como puede apreciarse en la figura 3-1-2

3.2 PRUEBAS DE BOMBEO EN REGIMEN ESTABLECIDO.

Las ecuaciones que gobiernan la extracción de un pozo descargado bajo condiciones de flujo establecido, son conocidas como ecuaciones de equilibrio o de Thiem, y se basan en las siguientes hipótesis:

- a) El acuífero es homogéneo e isótropo en el área afectada por el bombeo.
- b) El espesor saturado inicial del acuífero libre, es constante.
- c) Para el acuífero confinado, el espesor es constante.
- d) El pozo penetra totalmente al acuífero.
- e) La superficie piezométrica o freática según el caso es horizontal, antes de iniciarse el bombeo.
- f) El abatimiento y el radio de influencia



FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMA Y DIMENSION DEL CONO DE ABATIMIENTO

encia no varían con el tiempo.

g) El flujo es laminar.

ACUIFERO LIBRE.- Enseguida se deduce la ecuación de extracción de un pozo en un acuífero libre, con las ecuaciones:

$$Q = AV \quad ; \quad V = K \frac{dh}{dL} \quad (1)$$

y de la figura 3-2-1 se tiene:

$$Q = AK \frac{dh}{dr} \quad (2)$$

$$Q = 2\pi r h K \frac{dh}{dr} \quad (3)$$

Separando variables y aplicando el signo de integración definida entre los límites P_1 y P_2 nos queda:

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi K \int_{h_1}^{h_2} h dh \quad (4)$$

Integrando y sustituyendo límites queda:

$$QL \frac{r_2}{r_1} = 2\pi K \frac{h_2^2 - h_1^2}{2} \quad (5)$$

$$Q = \pi K (h_2^2 - h_1^2) / L \frac{r_2}{r_1} \quad (6)$$

ACUIFERO CONFINADO.- El planteo es similar al caso anterior y de acuerdo a la figura 3-2-1 se tiene que:

$$A = 2\pi r b \quad \text{y} \quad V = K \frac{dh}{dr} \quad Q = AV$$

$$Q = 2\pi r b K \frac{dh}{dr} \quad (7)$$

Ordenando e integrando entre dos secciones a distancias r_1 y r_2 y con carga h_1 y h_2 se obtiene:

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi b K \int_{h_1}^{h_2} dh \quad (8)$$

$$QL \frac{r_2}{r_1} = 2\pi K b (h_2 - h_1) \quad (9) \quad Q = 2\pi K b (h_2 - h_1) / L \frac{r_2}{r_1} \quad (10)$$

A esta ecuación se puede expresar en función de los abatimientos (a) en vez de las cargas (h) de la figura 3-2-1 se tiene que: $h_2 - h_1 = a_1 - a_2$, por lo que la expresión (10) puede expresarse así:

$$Q = \frac{2\pi b K}{L \frac{r_2}{r_1}} (a_1 - a_2) \quad (11)$$

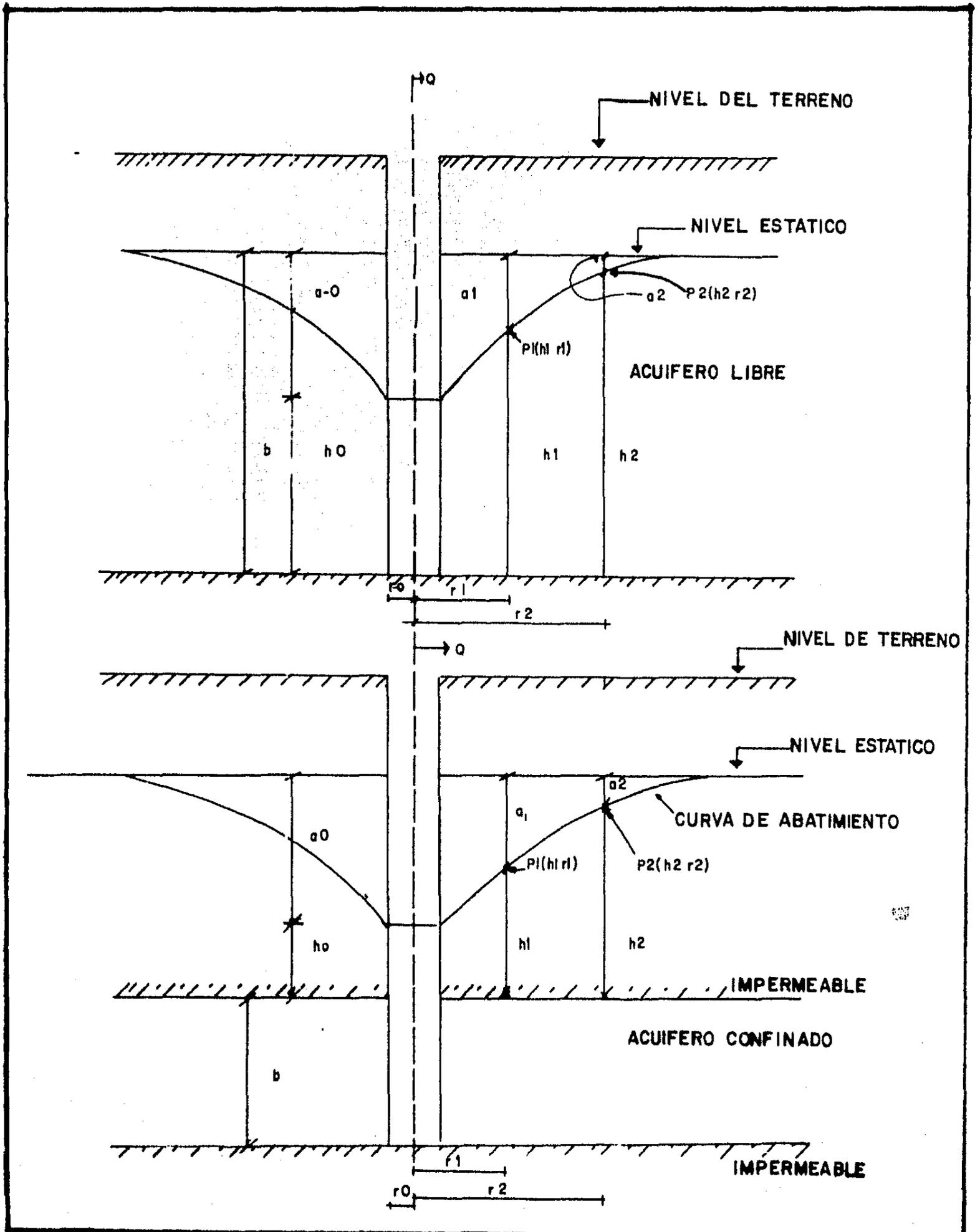


FIG-3- 2 - 1

Los términos de las expresiones anteriores son:

h_1 = altura piezométrica a la distancia r_1
del pozo de bombeo.

h_2 = altura piezométrica a la distancia r_2
del pozo de bombeo.

Q = caudal del pozo.

K = coeficiente de permeabilidad.

L = logaritmo base " e ".

b = espesor del acuífero.

Las hipótesis enumeradas anteriormente parecen limitar seriamente la aplicación de las fórmulas (6) y (10), pero en realidad no es así. La permeabilidad media del acuífero es más o menos constante, aunque la superficie piezométrica no es completamente horizontal en ningún caso, el gradiente hidráulico es generalmente muy pequeño y no afecta la forma de la superficie piezométrica, el flujo es laminar en la mayor parte del área afectada por el bombeo, y solo en la vecindad inmediata del pozo puede llegar a ser turbulento, aunque el flujo no es rigurosamente establecido, después de cierto tiempo de bombeo puede considerarse como tal en un área próxima al pozo de bombeo.

Sin embargo aún cuando las fórmulas (6) y (10) son aplicables a algunos casos prácticos, tienen dos limitaciones principales.

1ra.- No proporcionan ninguna información respecto al coeficiente de almacenamiento del acuífero.

2da.- No permiten calcular la variación de los abatimientos en el tiempo.

Por otra parte, su aplicación requiere de dos pozos, próximos al bombeo, lo cual no siempre es económicamente posible, especialmente cuando el acuífero se encuentra profundo o es de gran espesor.

3.3 PRUEBAS DE BOMBEO EN REGIMEN NO ESTABLECIDO.

Para establecer condiciones de equilibrio se ha visto la necesidad de que el acuífero se recargará continuamente. Si este hecho no se produce, el cono de abatimiento se irá incrementando con el tiempo de duración del bombeo y en consecuencia la depresión no podrá mantenerse independiente del tiempo, sobre esta base Theis desarrolló la fórmula para el régimen no establecido ó transitorio en 1935 en la cual por primera vez se tomó en cuenta el efecto del tiempo de bombeo.

Las siguientes hipótesis deben tenerse en cuenta para aplicar las condiciones de no equilibrio, y son:

a).- El acuífero es homogéneo e isótropo en lo que respecta a su permeabilidad, es decir, que ésta es igual en todas las direcciones.

b).- El acuífero se extiende indefinidamente y es horizontal en cualquier dirección.

c).- El pozo penetra totalmente en el acuífero, captando agua en todo su espesor que se supone de valor constante b.

d).- El bombeo del pozo es a costa del almacenamiento del acuífero.

e).- El agua del acuífero es liberada instantáneamente con el abatimiento.

La ecuación diferencial que se usa para este caso es:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (12)$$

Donde T es el coeficiente de transmisibilidad y t es el tiempo desde que se inicia el bombeo.

Theis obtuvo la solución de la ecuación (12) basado en una analogía entre el flujo de agua subterránea y la conducción del calor. Considerando que $h = h_0$ para $t = 0$ y $h - h_0$ conforme $r \rightarrow \infty$ para $t \geq 0$, se tiene:

$$a = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (13)$$

donde:

A la ecuación (13) se conoce como ecuación de desequilibrio o de Theis, la integral exponencial que aparece en esta ecuación se puede expresar por:

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (14)$$

y se denomina función de pozo, la función no es directamente integrable, pero puede evaluarse por la siguiente serie:

$$W(u) = -0.5772 Lu + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} \dots \quad (15)$$

los valores de W(u) se muestran en la siguiente tabla, la cual está adaptada de una tabla más completa formulada por Wenzel, la fórmula relaciona el descenso con el tiempo se-

rá :

$$a = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (16)$$

la ecuación (16) se puede escribir:

$$a = h_0 - h = \frac{1.91 Q}{T} W(u) \quad (17)$$

donde:

a = abatimiento en m.

Q = gasto de descarga del pozo en $m^3/\text{seg.}$

T = coeficiente de transmisibilidad en $m^3/\text{día/m.}$

$W(u)$ = función de pozo (se anexa tabla)

El argumento u se define como: $u = \frac{150.57 r^2 S}{T t} \quad (18)$

en la cual

r = distancia desde el pozo de descarga hasta el de observación en m.

S = coeficiente de almacenamiento, adimensional.

T = coeficiente de transmisibilidad, en $m^3/\text{día/m.}$

t = tiempo medido desde la iniciación del bombeo, en días, con base en las fórmulas (17) y (18) Theis desarrolló un método gráfico de solución para determinar los coeficientes de transmisibilidad y almacenamiento, siguiendo la siguiente secuela.

a).- trazar la curva tipo $W(u)-U$ en papel con trazado doble logarítmico, figura 3-3-1

b).- construir la gráfica abatimiento-

VALORES DE W (u) PARA VALORES DE u

U	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
X 1	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.0011	0.00036	0.00012	0.000038	0.000012
X 10 ⁻¹	1.82	1.22	0.91	0.70	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
X 10 ⁻²	4.04	3.35	2.96	2.68	2.47	2.30	2.15	2.03	1.92
X 10 ⁻³	6.33	5.64	5.23	4.95	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
X 10 ⁻⁴	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
X 10 ⁻⁵	10.94	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
X 10 ⁻⁶	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
X 10 ⁻⁷	15.54	14.85	14.44	14.15	13.93	13.75	13.60	13.46	13.34
X 10 ⁻⁸	17.84	17.15	16.74	16.46	16.23	16.05	15.90	15.76	15.65
X 10 ⁻⁹	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.20	18.07	17.95
X 10 ⁻¹⁰	22.24	21.76	21.35	21.06	20.84	20.66	20.60	20.37	20.25
X 10 ⁻¹¹	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
X 10 ⁻¹²	27.05	26.36	25.96	25.67	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
X 10 ⁻¹³	29.36	28.26	28.26	27.97	27.75	27.56	27.41	27.28	27.16
X 10 ⁻¹⁴	31.66	30.97	30.56	30.27	30.05	29.87	29.71	29.58	29.46
X 10 ⁻¹⁵	33.96	33.27	32.86	32.58	32.35	32.17	32.02	31.88	31.76

CURVA BASE

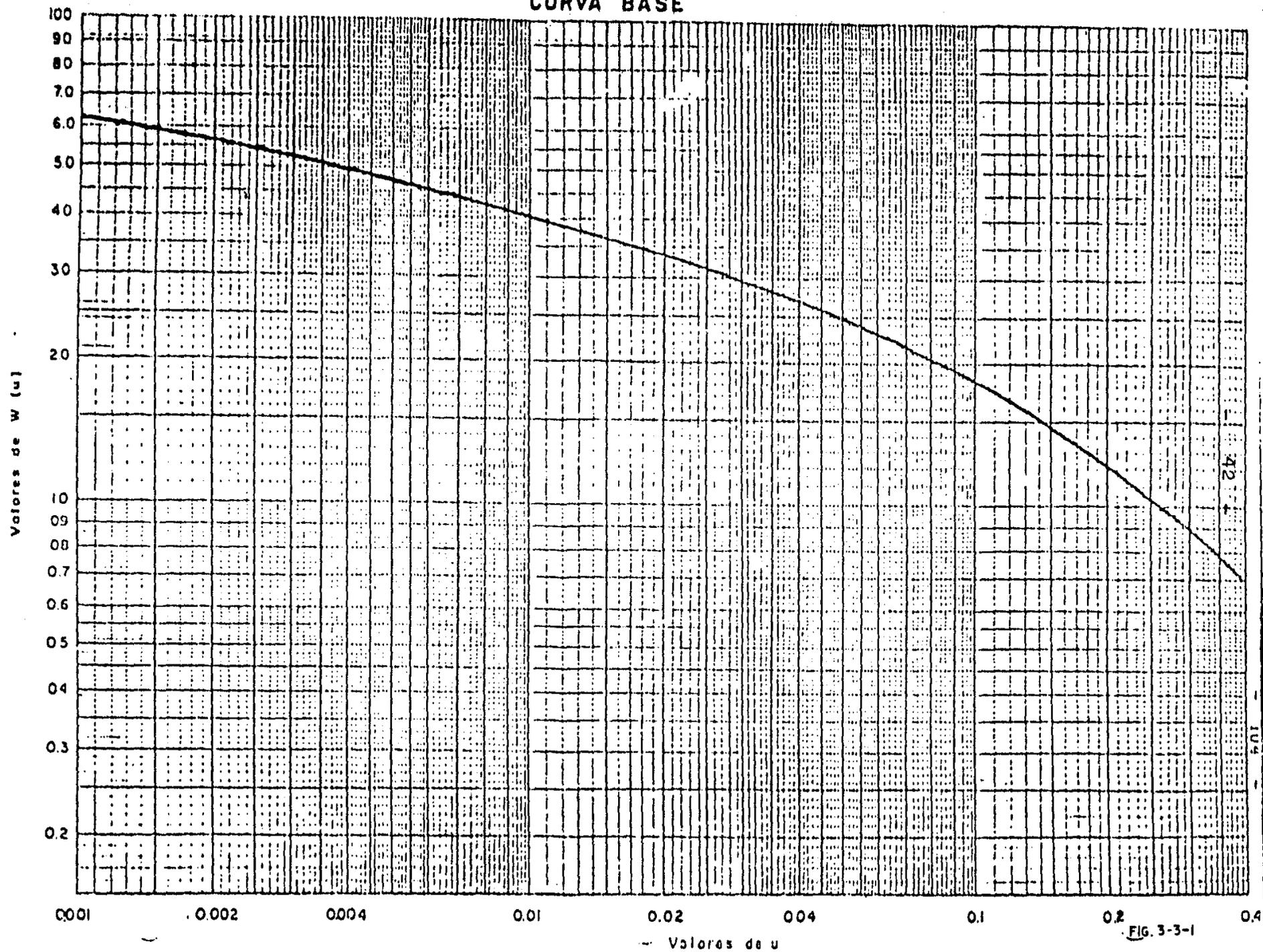


FIG. 3-3-1

tiempo, (cuando se tiene un solo pozo de observación), con los datos obtenidos en el campo.

c). Superponer las gráficas, manteniendo los ejes paralelos y buscar la coincidencia de la curva de campo y la curva tipo.

d).- seleccionar un punto de ajuste, obtener sus coordenadas.

e).- sustituir los valores de las coordenadas en las ecuaciones (17) y (18), y despejar los valores de T y S.

3.4 FORMULA MODIFICADA PARA PRUEBAS DE BOMBEO CON REGIMEN NO ESTABLECIDO O TRANSITORIO.

Trabajando con la fórmula de THEIS, Jacob observó que para pequeños valores de r , $>t$ y $<u$ los términos de la serie convergente son insignificantes después de los dos primeros términos, de esto resulta que la fórmula (16) pueda modificarse sin un error significativo a la forma siguiente:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \left(-0.5772 - \frac{L r^2 S}{4 T t} \right)$$

ordenando se tiene:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \left(L \frac{4 T t}{r^2 S} - 0.5772 \right)$$

finalmente:

$$h_0 - h = \frac{2.30}{4\pi T} \text{Log} \frac{2.25 T t}{r^2 S}$$

ya que: $L 1.78 = 0.5772$

a partir de la fórmula (19) Jacob desarrolló el método grá

fico de interpretación que lleva su nombre, y que consiste en lo siguiente:

a),- construir la gráfica abatimiento (en escala aritmética) contra tiempo (en escala logarítmica).

b).- pasar una recta por los puntos que se alinean, y determinar su pendiente. Los puntos correspondientes a los primeros minutos de la prueba se apartan generalmente de la recta debido a que corresponden a tiempos cortos ($t < 5 r^2 S / T$), para los cuales no es válida la fórmula de Jacob.

c).- si la pendiente de la recta de ajuste es m , la transmisibilidad puede obtenerse de la expresión:

$$T = \frac{0.183 Q}{m}$$

d).- determinar el valor del tiempo t_0 , para el cual la prolongación de la recta de ajuste intercepta la línea de abatimiento nulo.

e).- calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la expresión: $S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$

Este método puede seguirse cuando se conocen los abatimientos en varios pozos de observación para un tiempo dado. En este caso se grafica el abatimiento (en la escala aritmética), contra la distancia (en escala logarítmica), los coeficientes buscados se obtiene mediante las siguientes expresiones:

$$T = \frac{0.366 Q}{m} \quad \text{y} \quad S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

en que r_0 es el valor de r para el cual la prolongación de la recta de ajuste interceptada a la línea de abatimiento nulo.

La forma más general del método se aplica cuando se tienen mediciones en varios pozos de observación para diferentes tiempos. En este caso, se llevan en el eje logarítmico los valores de la relación $T|r^2$ y se sigue la secuela descrita anteriormente, al final de este capítulo se presenta un ejemplo con los métodos descritos anteriormente.

Las condiciones de los acuíferos, en ocasiones se muestran afectadas por los factores que invalidan las hipótesis en que se basan las expresiones matemáticas que reflejan su comportamiento.

Entre estos factores se mencionará los dos siguientes por considerarlos de mayor importancia en la alteración de las hipótesis y son : recarga de un río al acuífero y las fronteras impermeables.

Recarga de un río. La estabilización del cono de abatimiento, alrededor de un pozo de bombeo, puede deberse a la recarga de ríos o lagos, en la gráfica abatimiento tiempo de la figura 3-4-1-, en la primera parte del período del bombeo, el cono de abatimiento no se ha extendido hasta el río y los efectos de la recarga no son evidentes, presentándose una sola pendiente. Al extenderse el cono por abajo del lecho del río, se genera un gradiente hidráulico entre el agua subterránea del acuífero y la de la corriente superficial, filtrándose el agua de

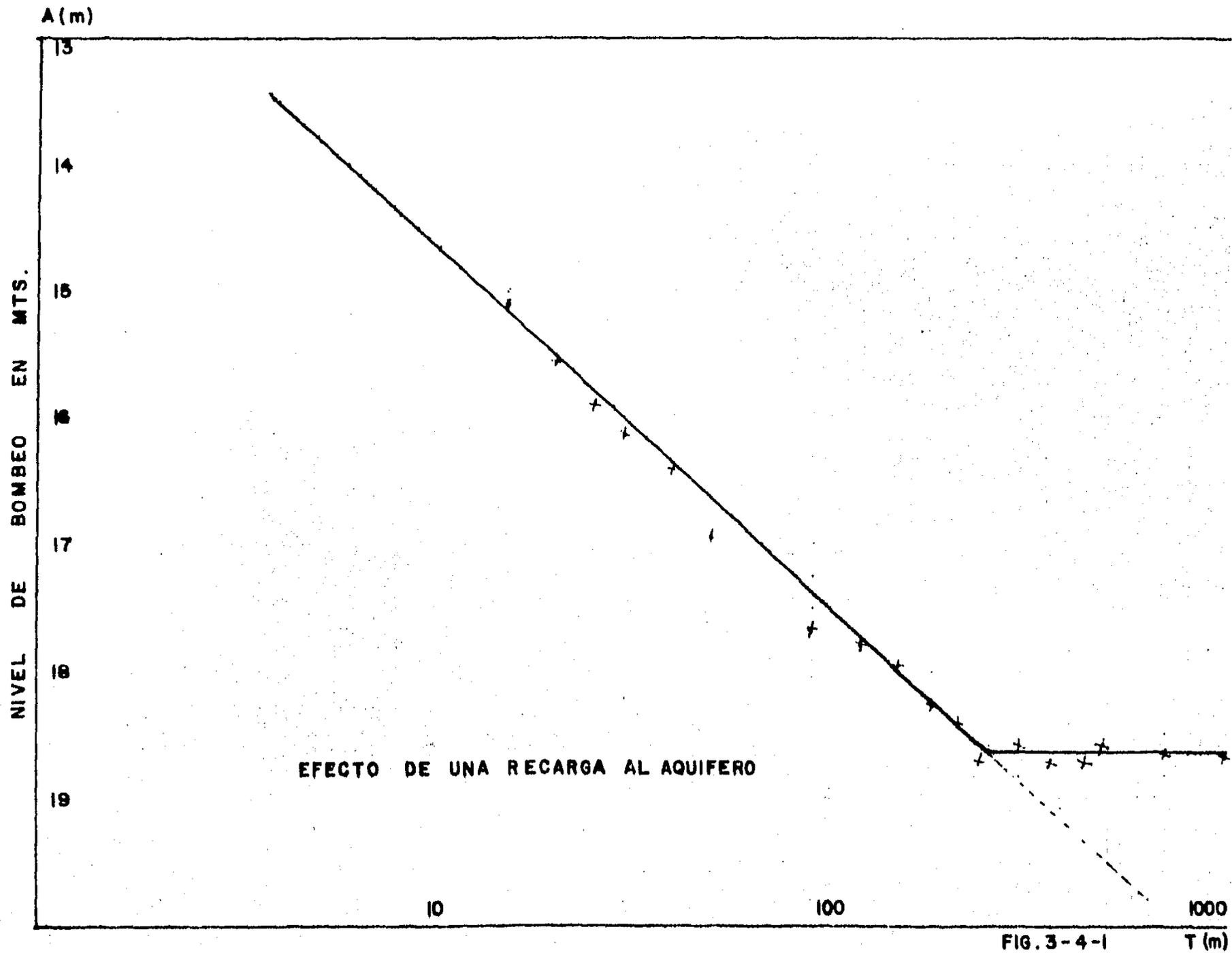


FIG. 3-4-1

ésta a través de su fondo permeable, recargándose de esta manera el acuífero, con un caudal que aumenta a medida que el cono de abatimiento crece.

Fronteras impermeables.- En la realidad pocos acuíferos se apegan a la consideración básica de extensión infinita en todas las direcciones alrededor del pozo de bombeo, ya que por lo general la geología limita a los acuíferos. Los efectos de una frontera impermeable se puede ver en la gráfica abatimiento-tiempo de la figura 3-4-2 en el que la frontera impermeable ocasiona que la pendiente de la gráfica aumente en lugar de disminuir.

3.5 OTROS SISTEMAS DE FLUJO,

Como se vió anteriormente algunas hipótesis consideradas no se cumplen, por lo que algunos autores obtuvieron ecuaciones para otros sistemas de flujo, aquí solo se mencionarán dos acuíferos, el semiconfinado y el de penetración parcial, la solución matemática de estos sistemas resulta complicada, por lo que para la interpretación de una prueba de bombeo realizada en cualquiera de ellos, se utiliza un método gráfico semejante al que se describió anteriormente y en el cual deberá usarse la curva tipo que corresponda al caso que se desea analizar.

Pruebas de bombeo en acuífero semiconfinado.- probablemente el tipo más común en la naturaleza es el del tipo semiconfinado, los rellenos siempre tienen cierta estratificación, alternándose estratos de granulometría variable.

La solución correspondiente a este sistema es la siguiente:

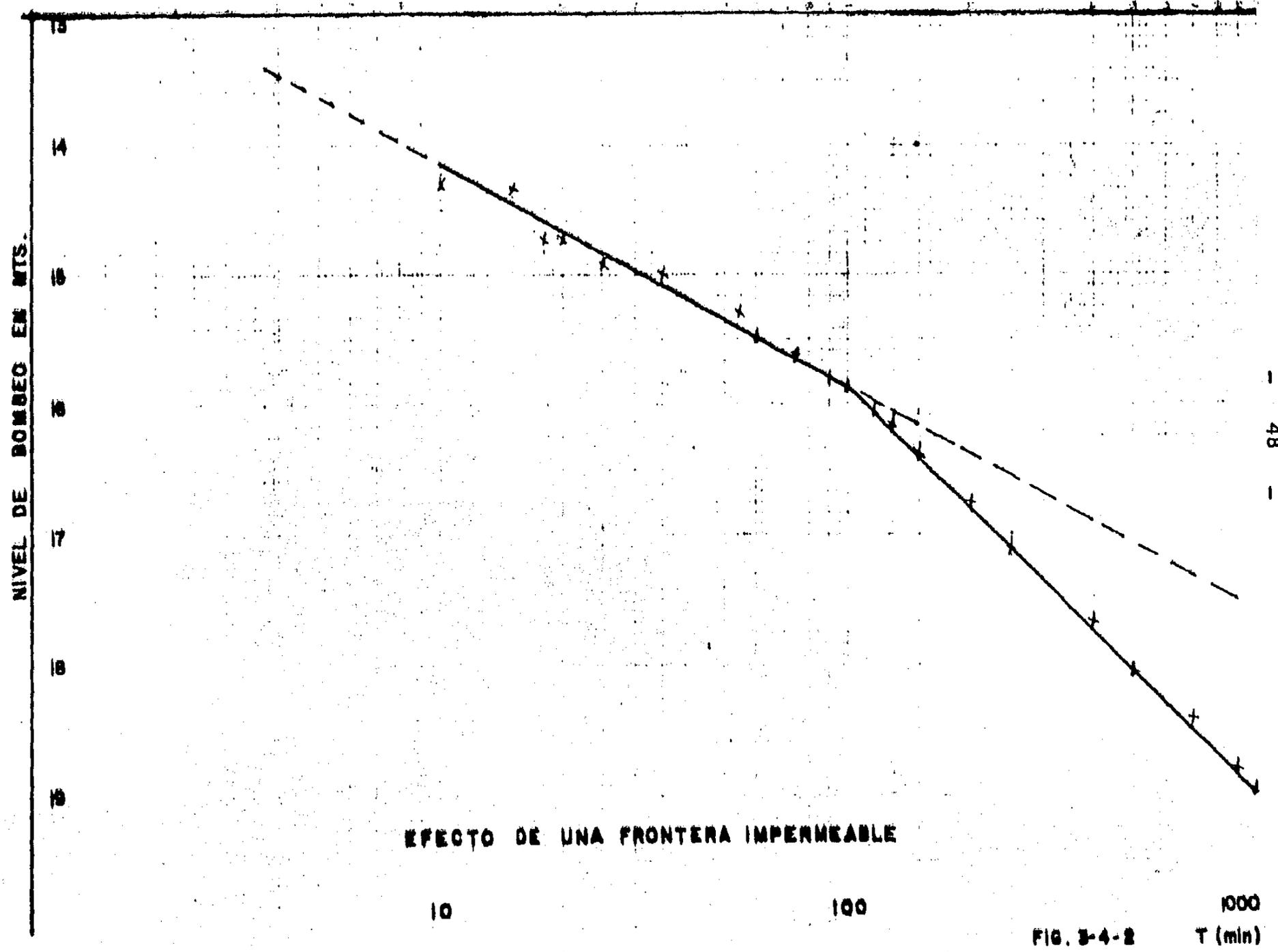


FIG. 3-4-2

$$a = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B)$$

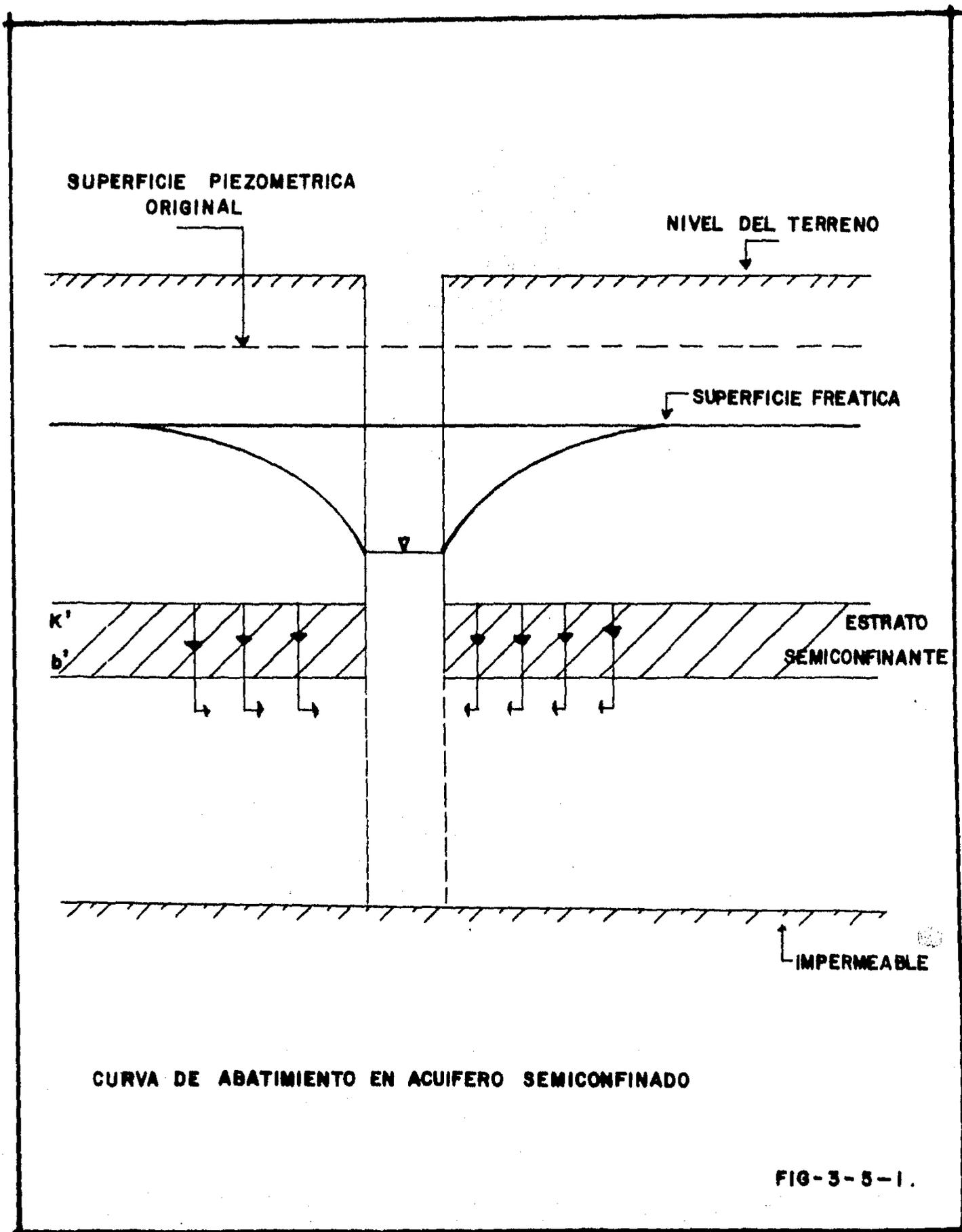
donde:

$$B = \sqrt{\frac{T b^1}{K^1}}$$

siendo b^1 y k^1 el espesor y la permeabilidad del estrato semiconfinante, respectivamente, para mejor comprensión véase figura 3-5-1.

Las curvas tipo correspondientes a esta solución se presentan en la figura 3-5-2-

El procedimiento de interpretación de las pruebas en este caso, es semejante al seguido en el caso de los acuíferos confinados, con la diferencia de que ahora debe buscarse la coincidencia entre la curva de campo y una de las curvas tipo, lograda la coincidencia, se selecciona un punto de ajuste, y se substituyen los valores de sus coordenadas en las ecuaciones correspondientes, para deducir los parámetros buscados.



CURVA DE ABATIMIENTO EN ACUIFERO SEMICONFINADO

FIG-3-5-1.

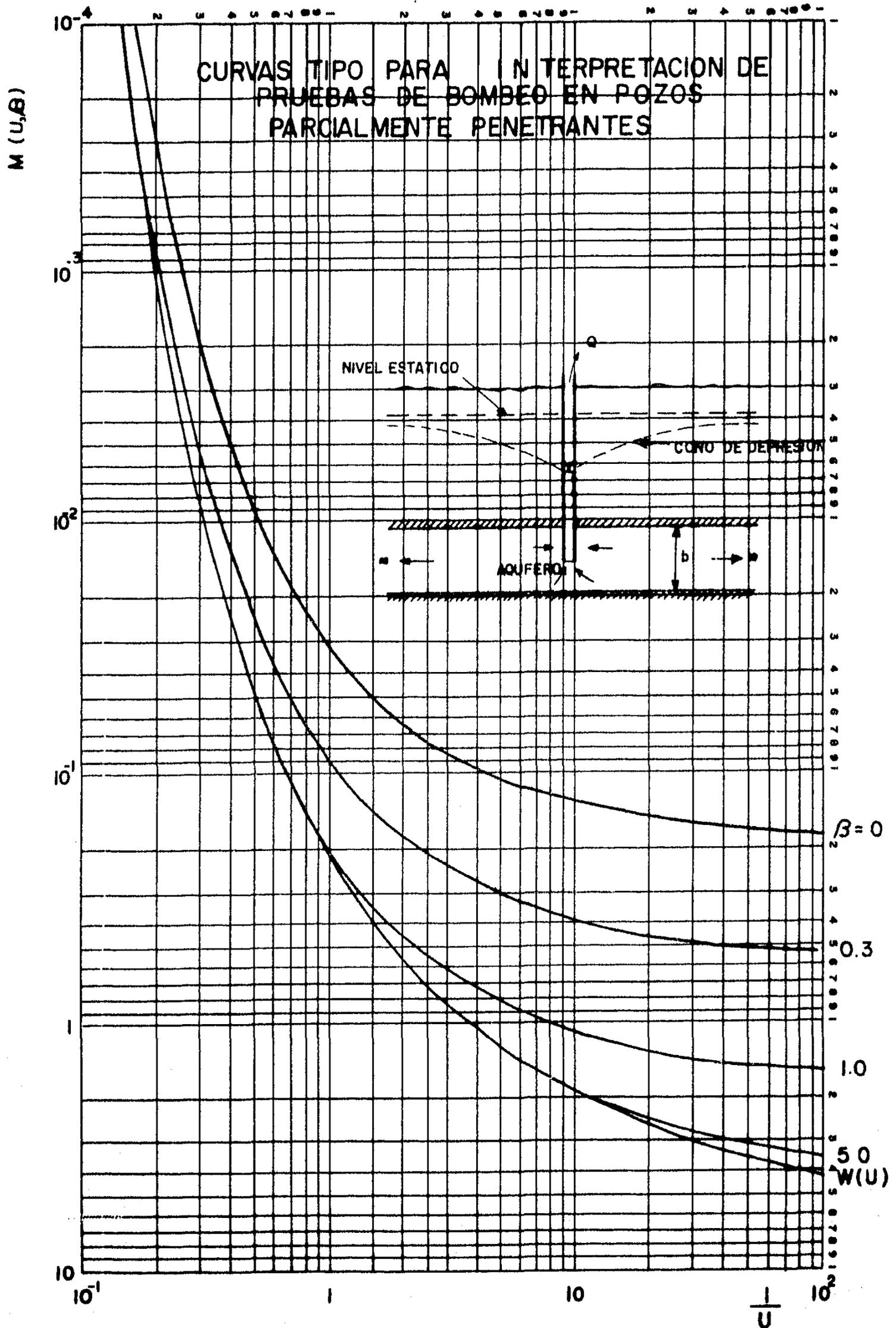


FIG: 3-5-2

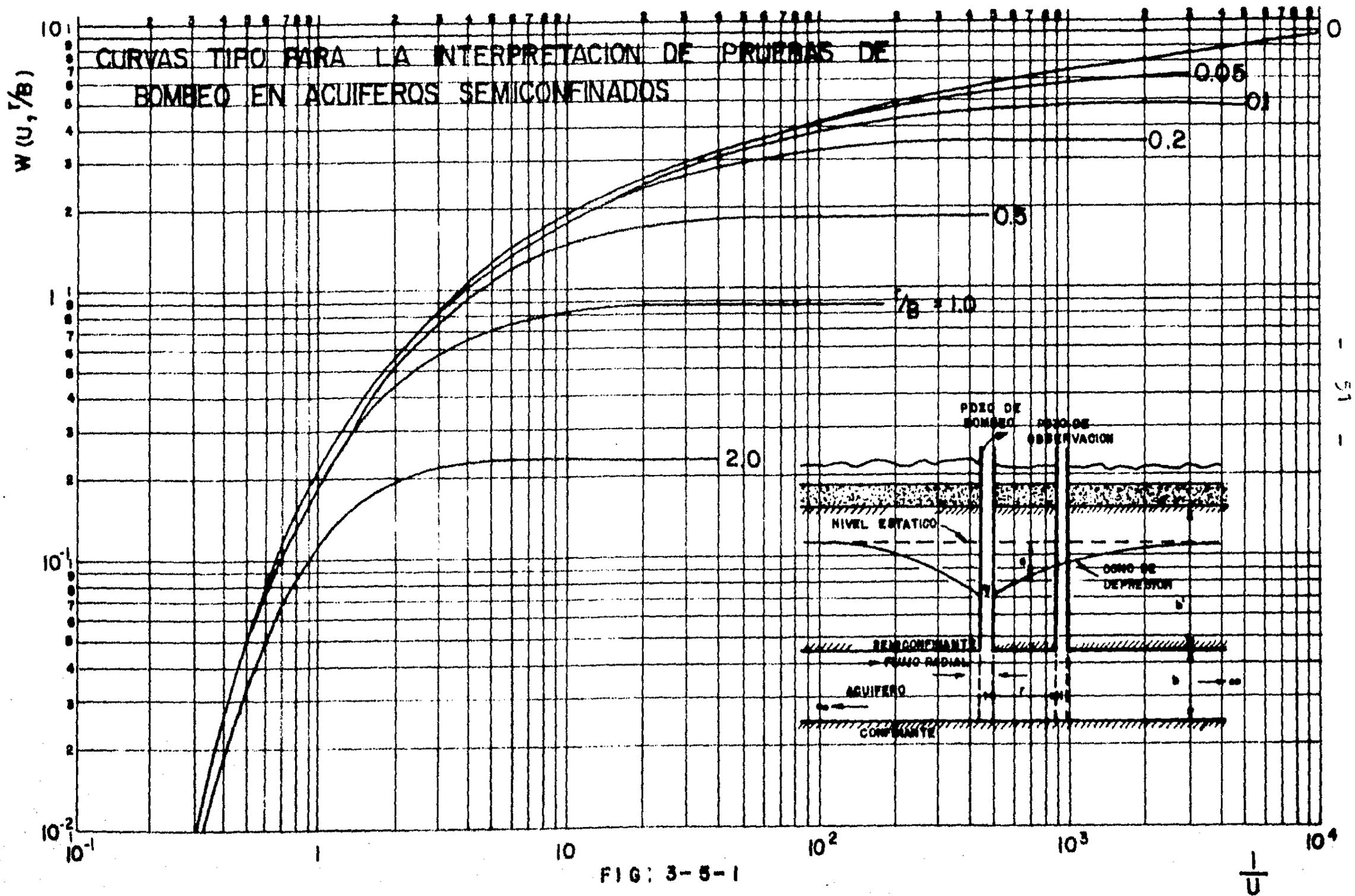


FIG: 3-5-1

APLICACION DEL METODO DE JACOB, CUANDO SE TIENE UN SOLO POZO DE OBSERVACION. CALCULAR T y S, SI SE TIENEN LOS SIGUIENTES DATOS:

a (m)	t (min)
0.09	0.25
0.19	0.50
0.30	0.75
0.32	1
0.49	2
0.73	4
0.97	8
1.19	15
1.42	30
1.55	45
1.65	60
1.70	75
1.77	90
1.82	105
1.86	120
1.99	180
2.05	240
2.15	360
2.21	420
2.23	480
2.27	540
2.30	600
2.34	660
2.37	720
2.40	810

$Q = 90 \text{ lps.} \quad r = 100 \text{ m}$

de la gráfica $t_0 = 0.45$

$t_0 = 27 \text{ seg.}$

$m = 0.75 \text{ m.}$

por lo que

$T = \frac{0.183 Q}{m}$

m

$T = \frac{0.183 (0.090)}{0.75}$

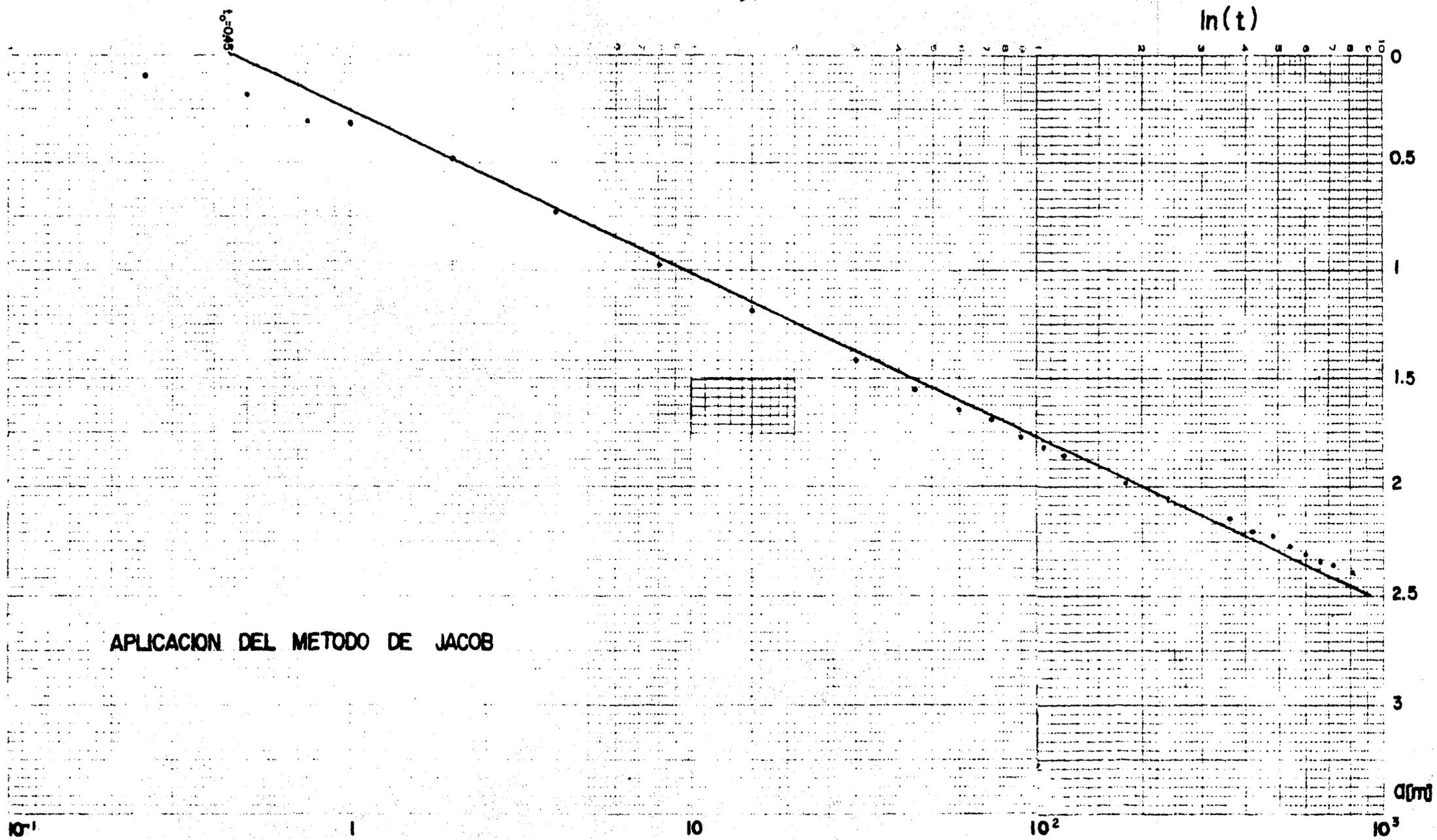
0.75

$T = 0.022 \text{ m}^2/\text{seg.}$

$S = \frac{2.25 \times 0.022 \times 27}{10,000}$

10,000

$S = 13.4 \times 10^{-5}$



APLICACION DEL METODO DE JACOB

3.6 ERRORES COMUNES QUE ESTAN MUY DIFUNDIDOS EN EL MEDIO DE LA PERFORACION DE POZOS COMO SON LOS SIGUIENTES:

a).- Al incrementar el diámetro de un pozo, se incrementa proporcionalmente el caudal.

Esta idea es falsa y para demostrarla se hará uso de la fórmula del gasto para un acuífero confinado, ver figura 3-6-1.

$$Q = \frac{2\pi K b}{L \frac{r_2}{r_1}} (a_1 - a_2)$$

Q = gasto de explotación en m³/seg.

K = coeficiente de permeabilidad en m/seg,

b = espesor del acuífero en m.

a₁ = abatimiento del nivel del pozo núm.1 en m.

a₂ = abatimiento del nivel del pozo núm.2 en m.

L = logaritmo base " c "

r₁ = radio del pozo núm.1 en m.

r₂ = radio de influencia en m.

D A T O S :

De la figura 3-6-1

r₂ = 500 m.

b = 45 m.

r₁ = 16" Ø (0.20 m)

K = 0.00015 m/seg.

a₁ = 20 m.

Sustituyendo valores se tiene:

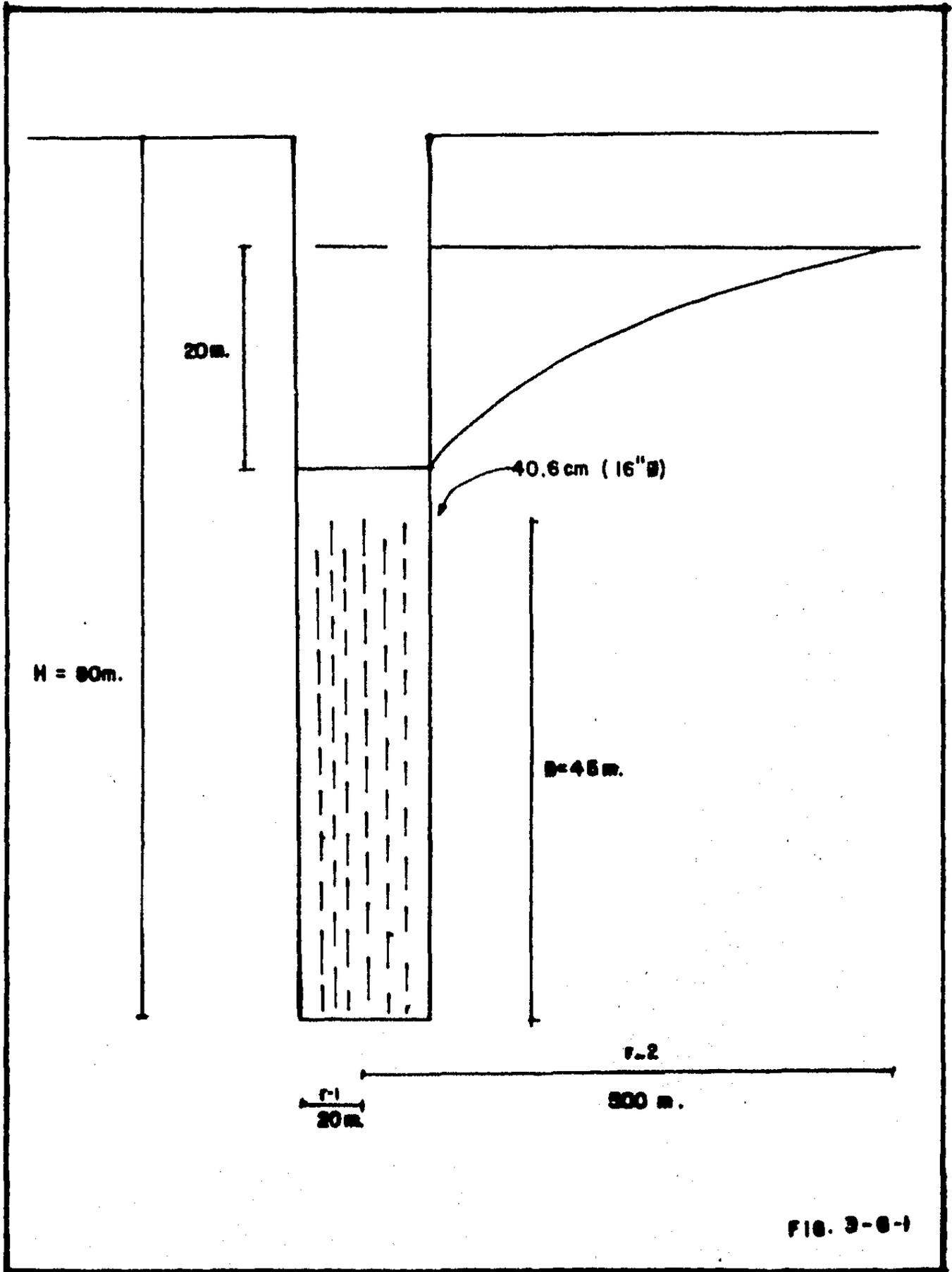


FIG. 3-6-1

$$L \frac{r_2}{r_1} = 7.82$$

$$Q = \frac{6.28 \times 0.00015 \frac{m}{s} \times 45m \times 20m}{7.82}$$

$$Q = 0.108 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 108 \frac{lt}{s}$$

Variación del gasto en función del diámetro del ademe.

\emptyset Del Ademe	Radio	$\frac{r_2}{r_1}$	$L \frac{r_2}{r_1}$	Q	ΔQ
m	pulg. r1m r2m	r1	r1	l.p.s.	
0.51	20 0.25 500	2000	7.60	112	+4
0.41	16 0.20 500	2500	7.82	108	base
0.30	12 0.15 500	3333	8.11	105	-3

Como se puede ser de la tabla resulta antieconómico el incrementar el diámetro de la tubería de ademe y de perforación con la idea de que se incrementará el gasto.

b).- Existe un flujo vertical a través de los empaques del filtro anular.

Esta idea ha llevado a pensar en comunicar acuíferos mediante el filtro de material granular y se espera explotar los por medio de un cedazo colocado en el acuífero inferior.

Esta idea es errónea y desgraciadamente muy difundida; la experiencia se tuvo en el pozo Iztapalapa, donde se aisló el acuífero superior y el inferior, no proporcionó el caudal requerido.

Se describirá a grandes rasgos los problemas que se enfrentaron en este pozo, se realizó el aforo y se obtuvo un gasto de 80 lps. pero se tenía agua contaminada, como anteriormente se dijo había dos acuíferos, se propuso aislar el acuífero superior y se haría nuevamente el aforo para ver la calidad y cantidad de agua del acuífero inferior y aquí fue donde surgió la idea falsa de que se tendría un flujo vertical a través del filtro de grava. Se procedió a sellar el acuífero superior mediante tubería ciega y se afóro nuevamente el pozo con el mismo equipo de bombeo, teniendo por resultado un gasto de 15 lps. sin contaminación.

En este pozo el acuífero que aporta el 80 % del gasto es el superior pero está contaminado, la decisión que se tomará dependerá de que tipo de tratamiento se le dará al agua para hacerla potable ó si se optará por los 15 lps.

Se calculará el flujo a través del filtro en el espacio anular, de la figura 3-6-2 y con la fórmula:

$$Q = AV$$

$$V = Ki$$

$$i = \frac{H}{L}$$

$$Q = AKi$$

D A T O S :

$$K = 0.0092 \frac{m}{s}$$

$$i = \frac{50}{55} = 0.91$$

$$H = 50$$

$$L = 55$$

$$A = (\pi/4)(D^2 - d^2)$$

D= diámetro de la perforación.

d= diámetro del ademe.

$$A = 0.785 (0.56^2 - 0.41^2)$$

$$A = 0.12 \text{ m}^2$$

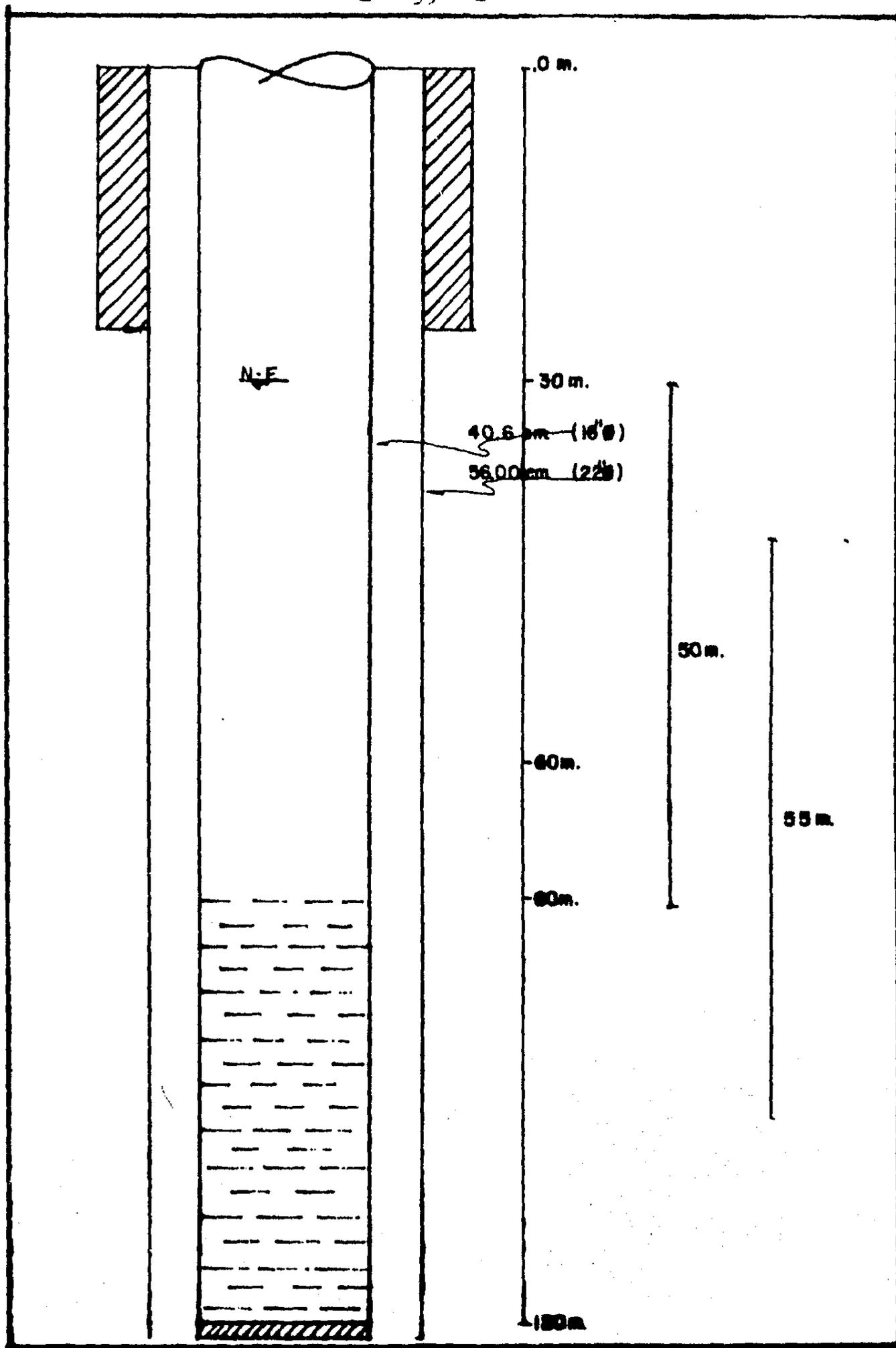


FIG. 3-6-2

Sustituyendo se tiene:

$$Q = 0.12 \text{ m}^2 \times 0.0092 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.91$$

$$Q = 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 1.0 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

Como se observa la cantidad de flujo transmitida verticalmente resulta muy baja.

C A P I T U L O IV

PERFORACION DE POZOS.

La Perforación de Pozos, es una actividad muy antigua que se desarrolló para satisfacer las necesidades del hombre. Se tienen noticias de que se hicieron pozos en los pueblos Egipcios y Griegos, pero fueron los Chinos allá por el año de 1600 A.C. a quienes se les atribuye el haber construido el primer equipo de perforación, aprovechando el principio de la caída libre.

También aunque en forma elemental inventaron varios tipos de herramienta que se usan actualmente en los equipos de perforación, por ejemplo: construyeron mástiles, juntas de tubería y llegaron inclusive a cementar sus ademes en los pozos.

Pero no fue sino hasta finales del siglo XIX y el primer tercio del XX, cuando se realizaron cambios notables en la perforación de pozos. se patentaron las tijeras de perforación, se conoció el uso del agua a presión, se empleo la máquina de vapor, se conoce la primera perforadora de tipo Rotatoria, el sistema de perforación inversa, las barrenas de perforación, se inventaron máquinas, torres, herramientas y fluidos de perforación, etc.

Como principio de be quedar bien claro que la perforación de un pozo de agua, no es solamente un agujero con algunas aberturas por donde penetre el agua, como mucha gente lo piensa sino que es una obra hidráulica que se proyecta y construye en forma técnica y económica.

La perforación de pozos para agua es una obra muy parti-

cular, ya que no es posible su correcto diseño hasta que no se inicia la obra; en otras palabras el diseño del pozo requiere necesariamente de la perforación exploratoria, en la cuál además del registro eléctrico que nos proporciona datos interesantes como son, calidad del agua, espesor y profundidad del estrato e indicaciones sobre la porosidad, se tiene además las muestras representativas de los estratos atravesados.

4.1 SELECCION DE METODOS PARA LA PERFORACION DE POZOS.

Para seleccionar los métodos de construcción de cada pozo en particular, se deberá contar cuando sea posible con la siguiente información:

- a).- Propósito del pozo.
- b).- Capacidad esperada (gasto que se pretende extraer).
- c).- Características de la formación geológica por perforar.
- d).- Características del acuífero
- e).- Método de construcción.

Propósito del pozo.- Se deberá saber su finalidad más importante entre las cuales se mencionan las siguientes:

- a).- IRRIGACION
- b).- MUNICIPAL
- c).- INDUSTRIAL
- d).- DOMESTICO
- e).- RECARGA DE ACUIFERO

Capacidad del pozo.- Se deberá conocer el gasto que lle-
ne las necesidades en cada caso, aquí se hace la aclara-
ción que no todo el tiempo se puede satisfacer las necesi-
dades con un solo pozo.

Características de la formación geológica por perforar.
Si se tiene bien estudiada la zona o bien que se cuente
con información de pozos cercanos al que se pretende per-
forar, se tendrá las características de los estratos per-
forados, cuando se conozca en forma aproximada la geolo-
gía del sitio se deberá detallar las formaciones atrave-
zadas, la presencia de fallas, intrusiones etc. Con lo que
ya se puede contar con una información muy valiosa.

Características del acuífero. Como en el caso anterior
deberá de obtenerse toda la información regional existen-
te y que pueda influir en el comportamiento del acuífero.
En forma general se puede enumerar la información más
importante que de ser posible se debe buscar y son las
siguientes: información de pozos cercanos, de los material
es atravezados en estos pozos durante su construcción,
diámetro del ademe, gasto de aforo o de explotación, sus
niveles estáticos y dinámicos, registros eléctricos,
granulometrías de las zonas productora, calidad del agua
que se obtiene, tiempo de bombeo de los equipos instala-
dos en los pozos, se hará notarlos casos en que se tenga
problemas de salinidad y de ser posible la profundidad
para así poderlo aislar.

4.2 METODO DE CONSTRUCCION.

De los datos recopilados con anterioridad se puede tener idea del equipo de perforación a emplear y que deberá ser el más adecuado.

Aquí solo se mencionarán los métodos de perforación, ya que más adelante se tratará las características de estos equipos.

a).- Percusión.- que se lleva acabo con una perforadora de pulseta, y es necesario conocer su capacidad y las herramientas con que se cuenta.

b).- Rotaria.- Se hace con una máquina de varios tipos de fluidos, como puede ser agua, lodo o aire y si la rotaria es para perforación directa o inversa, se debe conocer su capacidad y la herramienta por utilizar.

c).- Neumáticos.- Se hace con una máquina rotaria y martillo neumático, se deberá tener dato de los volúmenes de aire y las presiones disponibles.

4.3 FACTORES QUE INTERVIENEN ANTES DE LA PERFORACION DEL POZO.

a).- Análisis de alternativas.

i) Demanda

ii) Recursos Económicos

iii) Programa tentativo

b).- Toma de decisiones

c).- Riesgo

d).- Decisión - Solución

e).- Implantación del Programa

f).- Control

i) Calidad

ii) Programa

iii) Costo

Análisis de alternativas.- Con el estudio de la zona, con la demanda que se tiene y con los recursos económicos con que se cuenta, se puede ya establecer un programa de obra especificando actividades y tiempo durante la perforación del pozo.

Toma de dicisiones.- La toma de dicisiones es la parte más importante del proceso que se ha establecido para alcanzar los objetivos.

Riesgo.- Toda forma de dicisiones implica un riesgo, que será mayor o menor, según la información, experiencia, el criterio y la cuantificación que se haga al respecto.

Decisión-Solución.- Al tomar una decisión se está eligiendo la solución, lo que permite definir las características y funcionamiento del proyecto a ejecutar.

Implantación del programa.- Una vez seleccionado el equipo de perforación para construir el pozo y de haber establecido su diseño, estamos en posibilidad de programar su ejecución en un lapso de tiempo determinado, según criterio y experiencia con que se cuente.

Control.- Con el fin de tener todos los datos de los pro

blemas que se presenten durante la perforación del pozo el control de la obra se llevará acabo de la siguiente manera.

a).- Se deberá conocer perfectamente el sitio por perforar, para ver caminos del acceso para la máquina, reparación de ella si se hace necesario, localizar fuentes de aprovechamiento de combustibles, lubricantes, agua, bancos de grava, etc.

b).- Movimiento del equipo de perforación al sitio convenido, se deberá acompañar al equipo toda su herramienta de perforación y pesca, así como equipos de soldadura eléctrica y autógena y demás accesorios para el buen funcionamiento de la obra.

c).- Informes diarios .- Existen formas especiales de informes diarios de diferentes dependencias gubernamentales y de compañías perforadoras, pero en cualesquiera que sean los reportes, deberán tener como mínimo los siguientes datos que se muestran en la tabla No.4-1-1. De igual manera serán anotados todas las observaciones adicionales que puedan proporcionar información respecto al proceso de la perforación como son: derrumbes, variaciones del nivel de agua, pérdida del lodo de perforación y pescas; durante el proceso del entubado se anotarán longitudes y espesores de las tuberías de ademe, especificando las longitudes de cada tramo de

REPORTE DIARIO DE PERFORACION

Cliente: _____ Pozo: _____
 Contrato: _____ Lugar: _____
 Fecha: _____ Obra: _____
 Turno núm. _____ de las _____ hrs. a las _____ hrs.

SARTA DE PERFORACION FINAL DEL TURNO		L O D O		DE HR.	A HR.	OPERACION EJECUTADA	PERSONAL				
		Hora					Categoría	NOMBRE			
		Visc.					Perforador				
		Dens.					Chango				
							Ayte. Piso				
							Ayte. Piso				
							Ayte. Piso				
		MATERIALES									
		Bentonita	Kg.								
		Agua	M ³								
		Grava	M ³								
TOTAL		M.					BOMBA DE LODOS				
Peso Total		LBS					Marca	Modelo			
PROFUNDIDAD DEL POZO		BARRENA					Tipo	x Camisas			
INICIO:	Diam.	Marca	Tipo	Mts. Per.			E.P.M.	Presion			
TERMINO:											
							Firma del Perforador				
REPORTE DEL MECANICO:						CONSUMO COMBUST. Y LUBRICANT.		HOROMETROS			
						Diesel	Its. Gasolina	Its.	Mot. Der.	Hr. Mot. Izq.	Hr.
						lub. Mot.	Hidr.	Its.	B. Lodos	Hr. Planta Luz	Hr.
Firma del mecanico:						Otros			Planta Luz	Hr. Planta Luz	Hr.

tubería y si estos tramos son lisos ó ranurados, por lo que toca a materiales y combustibles, serán anotadas las cantidades recibidas en la obra, como pueden ser m³ de grava, bentonita, cemento, agua, soldadura, gasolina, oxígeno, etc.

Además cada perforador, por separado, tendrá una libreta donde anotará cada una de las herramientas recibidas en el turno que estará cubriendo, así como de aquellas que vayan, siendo utilizadas en la perforación, sus características tales como, longitud y diámetro, esto es importante conocerlo ya que de presentarse una pesca, se podrá verificar que herramienta cayó al pozo, ya que los perforadores casi nunca dan información de que objeto cayó, ni quien fue el culpable.

Hasta aquí se ha hablado de los datos que se requieren tener para la perforación del pozo, pero cuando no se tiene la experiencia necesaria para el diseño del pozo, aún cuando conozcamos la demanda requerida, no se tiene idea del diámetro del agujero, del ademe, ni de que diámetro del equipo de bombeo será instalado para satisfacer esta demanda.

Independientemente del diseño del pozo, que será expuesto más adelante, a continuación se presenta una relación de datos, que pueden servir como recomendaciones y que pueden ser de utilidad para la perforación de pozos,

estos datos son: diámetro y espesor del ademe, diámetro de la perforación del agujero y la relación diámetro de la columna de bombeo y sus gastos:

RELACION PERFORACION-ADEME.- La relación más importante que tiene la perforación del pozo, es el del tamaño de la perforación con respecto al ademe por colocar, esto por supuesto depende de la formación que se atraviesa por ejemplo: **terrenos** blandos, duros ó en sitios estratificados de materiales de mayor ó menor dureza, es necesario ampliar el diámetro de la perforación por las desviaciones que se presentan en estos cambios de formación una forma de solución a este problema es usar tubos de ademe pesado para vencer las fricciones en las paredes.

Tomando en cuenta lo anterior, en los pozos por perforar se recomienda los siguientes diámetros del agujero y del ademe, cuando hay que colocar filtro de grava.

DIAMETRO DE LA PERFORACION		DIAMETRO DEL ADEMADO	
cm.	pulg.	cm.	pulg.
91.44	36"	66.04	26"
76.20	28"	60.96	24"
60.96	22"	40.64	16"
55.88	20"	35.56	14"

cm.	pulg.	cm.	pulg.
41.44	17½	32.28	12 3/4
41.44	17½	27.31	10 3/4
31.12	12½	22.22	8 3/4

Esto deberá ser ajustado de acuerdo con el tipo de material que se perfore.

FUNCIONES DE LA TUBERIA DE ADEME.- La instalación de la tubería de ademe en un pozo, sirve para prevenir colapsos en las paredes, como aislamiento, junto con la cementación, de aguas contaminadas en el acuífero, como camisa protectora del equipo de bombeo, y de diferentes mecanismos que se instale dentro del pozo.

El material que se utiliza más frecuente en el ademe de pozos es el acero, pero ya se han estado utilizando tubería de P.V.C. (Veremos esto más ampliamente en el capítulo de Rehabilitación de pozos). Para los casos de corrosión también se utiliza el tubo de asbesto cemento, existen así mismo ademes de acero inoxidable y de diferentes aleaciones, que pueden ser utilizados en casos especiales, donde el suelo ó la calidad del agua así lo requieran.

Los tamaños que en forma general satisfacen las necesida-

des para la construcción de pozos son: desde 10 cm (4") ϕ hasta 91.44 cm (36") ϕ , variando generalmente en rangos de cada 5.08 cm (2") ϕ , espesor varía de acuerdo a las necesidades, la longitud también es variable, pero por lo regular se fabrican en tramos de 20 ft, 6.10 m, aquí cabe hacer la aclaración siguiente, cuando se pide al fabricante tubería de 15.24 cm (6") a 30.4 cm (12"), se esta hablando de diámetros interiores y de 35.56 cm (14") en adelante el diámetro del que se hable será el exterior.

ESPEJOR DE LA TUBERIA DE ADEME.- El esfuerzo a la ruptura y aplastamiento de tubería de acero para varios diámetros y espesores ha sido calculado suponiendo que el nivel del agua en su interior es rápidamente abatido y el nivel del agua exterior permanece estático.

El A.P.I. (AMERICAN PETROLEOM INSTITUTE), recomienda para aplastamiento, la siguiente expresión:

$$H = \frac{28.64}{t} \times \frac{10^6}{(D - 1)^2} \times g$$

H= Profundidad límite del ademe, en m.

D= Diámetro exterior del ademe, en cm.

t= Espesor de la lámina de acero, en cm.

en la siguiente tabla se muestran los valores para diámetro de tubería de ademe más comunmente usados en la construcción de un pozo.

PROFUNDIDAD H	DIAMETRO EXTERIOR D		ESPESOR t		OBSERVACIONES
	m.	pulg.	cm.	pulg.	
773	10 3/4	27.31	1/2	0.64	COMO SE VERA
192	12 3/4	32.38	3/16	0.48	DE LOS RESUL-
460	12 3/4	32.38	1/2	0.64	
346	14	35.56	1/2	0.64	TADOS OBTENI_
657	14	35.56	5/16	0.79	DOS ENTRE MA-
230	16	40.64	1/2	0.64	
437	16	40.64	5/16	0.79	YOR SEA EL --
117	20	50.80	1/2	0.64	DIAMETRO DE
222	20	50.80	5/16	0.79	
68	24	60.96	1/2	0.64	TUBERIA SE RE
128	24	60.96	5/16	0.79	DUCE LA PRO _
224	24	60.96	3/8	0.95	
20	36	91.44	1/2	0.64	FUNDIDAD A QUE
38	36	91.44	5/16	0.79	DEBE SER COLO_
66	36	91.44	3/8	0.95	
					CADA DICHA --
					TUBERIA.

Se deberá tomar muy en cuenta la tabla anterior, ya que cuando se desconoce esta relación de profundidades, se llega a perder el pozo, de allí los pozos que se denominan, colapsados, rotos y chuecos.

RELACION DEL DIAMETRO DEL ADEME Y DE LA COLUMNA DEL EQUIPO DE BOMBEO.- En la tabla que se muestra a continuación se observa la relación que se recomienda debe guardar el diámetro del ademe, el diámetro de la columna del equipo de bombeo, el diámetro del cuerpo de tazones, así como el gasto que proporciona un determinado diámetro de impulsor.

Q l/seg.	ADEME		COLUMNA		OBSERVACIONES
	pulg.	cm.	pulg.	cm.	
5 - 20	8	20.32	4	10.16	LA OLGURA ENTRE
20 - 40	10	25.40	6	15.24	LA TUBERIA DE -
40 - 70	12	30.48	8	20.32	ADEME Y LA DE CO
70 - 110	14	35.56	10	25.40	LUMNA ESTA PRE-
110 - 150	16	40.64	12	30.48	VISTA PARA EL -
150 - 240	20	50.80	14	35.56	CUERPO DE TAZO- NES.

4.4 DISEÑO DE POZOS.

Entramos así a lo que se denomina diseño de pozos, en el cual se tratará de hacer una obra técnicamente funcional y económicamente razonable.

FACTORES QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA PARA EL DISEÑO DE POZOS:

- a).- Diámetro de la tubería de ademe.
- b).- Diámetro de la cámara de bombeo.

- c).- Profundidad del pozo.
- d).- Resistencia de los ademes.
- e).- Longitud de la tubería productora.
- f).- Abertura del cedazo.
- g).- Filtro de grava.

Se había señalado anteriormente que antes de poder diseñar el pozo era indispensable contar con la perforación exploratoria, que es la base del proyecto, ahora, una vez efectuada esta, corrido el registro eléctrico, y con otros datos provenientes de los informes diarios como son, las pérdidas de los lodos de perforación, velocidad de la penetración, etc., estamos en posibilidad de diseñar el proyecto definitivo, pero todavía permanecerá un cierto factor de riesgo, que disminuirá en proporción directa a la calidad técnica y experiencia del diseñador.

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ADEME.- Los pozos poco profundos ó con niveles de bombeo cercano al fondo del pozo, se diseñan generalmente con un solo diámetro, pero en caso contrario ó sea para pozos profundos que sus niveles de bombeo no sean significativos, se hará una reducción del diámetro, abajo de la profundidad a la que se pretenda colocar el equipo de bombeo.

DIAMETRO DE LA CAMARA DE BOMBEO.- Queda definido fundamentalmente por el gasto que se va a explotar, ya que de este depende el diámetro de los tazones de la bomba,

generalmente el ademe ciego que formará la cámara de bombeo, se le asigna un diámetro mínimo de 5.8 cm (2") de \varnothing mayor que el diámetro de los tazones de la bomba, respecto al diámetro de los tazones, en términos generales, es igual en pulgadas, a la raíz cuadrada del gasto máximo expresado en litros por segundo, más una pulgada. Por ejemplo: Se espera bombear un gasto de 110 lps. y se desea fijar las características de la cámara de bombeo,

DIAMETRO DE LOS TAZONES = $110+1=30.48$ cm (12") \varnothing (Comercial).

DIAMETRO DEL ADEME = $12" + 2"=35.56$ cm (14")

DIAMETRO DE LA PERFORACION = $14" + 6" = 50.80$ cm (20") \varnothing

el tramo que alojará la cámara de bombeo.

Procediendo con este criterio se satisfacen los siguientes requisitos indispensable, para el buen funcionamiento del pozo.

i).- El equipo de bombeo, sea sumergible ó de tipo turbina, se puede alojar holgadamente en la cámara de bombeo.

ii).- Se absorben pequeñas desviaciones de la cámara de bombeo, con lo que la columna de la bomba queda sensiblemente vertical.

PROFUNDIDAD DEL POZO.- La profundidad total de un pozo se rige fundamentalmente de los siguientes factores:

i).- Del espesor y niveles relativos del acuífero ó acuíferos que se vayan a explotar, pues el pozo se debe de llevar a una profundidad que garantice un mayor gasto con un pequeño abatimiento.

ii).- De la calidad del agua, factor que en ocasiones limita la profundidad del pozo y en otros las propicia.

RESISTENCIA DE LOS ADEMES.- Para la selección del ademe de un pozo se debe considerar esencialmente varios tipos de fenómenos que actuarán contra él como son:

ESFUERZOS FISICOS (Colapsos, compresión y tensión).

AGENTES QUIMICOS (Corrosión e incrustación)

Para normar un criterio respecto al espesor y profundidad que deber ser empleado un ademe para pozos, se adoptan las recomendaciones del American Petroleum Institute, el cual a partir de métodos teóricos y experimentales, nos proporciona información referente a los espesores que nos conviene utilizar, (Ver tabla de la Pág.)
Por lo que respecta a los agentes químicos, se deberá conocer las propiedades aleatorias de los materiales, en el mercado se recomienda la tubería de P.V.C. lisa y ranurada, este material tiene la ventaja de ser inataca-

ble por la corrosión e incrustación, la desventaja es que su resistencia es mucho menor que la del acero.

LONGITUD DE LA TUBERIA PRODUCTORA.- Depende básicamente del tipo de acuífero, del espesor y de la estratigrafía.

ACUIFERO CONFINADO HOMOGENEO.- La longitud del tubo cedazo se seleccionará entre un 70 a un 80 por ciento del espesor del acuífero.

Para normar un criterio general de porcentajes que se debe aplicar en función del espesor del acuífero, se establece aproximadamente los siguientes porcentajes para espesores finitos.

a).- Para espesores menores de 10 m. el tubo cedazo tendrá una longitud del orden del 70 por ciento del espesor

b).- Para espesores iguales ó mayores a 10 m. pero menores de 20 la longitud del cedazo será del orden del 75 por ciento.

c).- Para espesores iguales ó mayores a 20 m. la longitud de tubo cedazo será del 80 por ciento.

d).- Para espesores iguales ó mayores de 40 m. la longitud del tubo cedazo será igual al 50 por ciento del espesor, si se satisfacen las necesidades de la demanda.

ACUIFERO CONFINADO HETEROGENEO.- Para este tipo de acuífero el tubo cedazo se colocará frente a él o a los es-

tratos más permeables y productivos, y su longitud será igual al 90 ó 100 por ciento de la de los estratos aprovechados.

ACUIFERO LIBRE HOMOGENEO.- En este tipo de acuífero, la práctica ha demostrado que se hará un buen diseño, si el tubo cedazo se coloca en la parte inferior del acuífero, con una longitud entre un tercio y un medio de su espesor.

ACUIFERO LIBRE HETEROGENEO.- Para este tipo de acuífero son válidas las reglas establecidas para el acuífero confinado heterogeneo, con la única salvedad de que la rejilla se colocará en la parte inferior del acuífero más permeable.

ABERTURA DEL CEDAZO.- La abertura del cedazo dependerá de la velocidad de entrada que no debe ser mayor a 3 cm/seg., del gasto que se pretenda obtener, de la longitud de tubería, del diámetro de ésta y de la granulometría obtenida durante la perforación exploratoria.

En formaciones homogéneas, de arenas finas y gruesas, se seleccionará un tamaño tal que retenga del 40 al 50% del material muestreado.

Formaciones heterogéneas, es el caso más frecuente en la naturaleza, el acuífero está formado por una alternancia de capas de distinta granulometría, el mejor diseño des-

de el punto de vista teórico, es tratar cada estrato en forma independiente y diseñar una tubería de ranuras múltiples, esto como se ve no es posible hacerlo en la práctica. Por lo que la abertura del tubo se seleccionará aplicando al mismo criterio de las formaciones homogéneas.

FILTO DE GRAVA.- Cualquiera que sea la formación, si se elige un buen cedazo, y si se coloca un adecuado filtro de grava, se podrá tener la seguridad del éxito de la obra.

Tomando en cuenta las condiciones en que se continuará trabajando en nuestro país en el área de perforación de pozos, la dificultad de los accesos, en regiones generalmente apartadas, la escasez de la grava, ya que no es posible que en cada región se cuente con la grava adecuada, y la falta de especialistas en perforación de pozos, se cree que es inútil exponer la teoría en que se basa el correcto diseño de filtros de grava artificial, pues aunque fuera ampliamente difundida esta teoría, pocas veces encontraríamos personal que efectuará análisis granulométricos y todas las pruebas que se consideran mínimamente indispensables para un buen diseño. Por todo lo anteriormente expuesto, se recomienda, por la práctica y experiencia que se tiene, que la "receta" que siempre ha dado buenos resultados es la si-

guiente: cualquier clase de material, por finos que sean se puede controlar con un filtro construido por grava graduada redonda, libre de materiales orgánicos y con un diámetro entre 6mm. ($\frac{1}{4}$ ") y 12mm. ($\frac{1}{2}$ "), siguiendo esta sencilla regla no se han obtenido fracasos derivado del filtro.

4.5 CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DE PERFORACION.

EQUIPO DE PERCUSION O CABLE.- Equipo de perforación de percusión o cable, es el método más antiguo como se vió anteriormente, y a la fecha sigue siendo muy utili zado, el procedimiento básico consiste en subir y bajar una herramienta de determinado peso para golpear la formación con un trépano, éste se le ha agregado peso a través de un barretón, que se maneja con un cable conectado a unas tijeras de perforación que permite el golpeteo constante en el fondo del pozo, rompiendo de esta manera la formación, la cual se pone en suspen sión con un lodo que se le agrega al pozo. Para ser ex traído todo el corte perforado mediante la herramienta llamada cuchara.

SARTA DE PERFORACION.- Se le denomina sarta de perfora ción al conjunto de herramienta suspendida necesaria para llevar acabo la perforación de un pozo, y que es tá formada como a continuación se describe, serán enun ciadas en la forma como son colocadas de abajo hacia arriba y son las siguientes:

trépano o broca, barretón, tijeras, portacable y cable se describirá en forma breve cada una de estas partes.

TREPANO O BROCA.- Es la herramienta destinada a ejecutar la perforación, y se considera la parte más importante de la sarta de perforación, de acuerdo con materiales por triturar se emplean varios tipos de trépanos, como son el californiano, tipo cruz, torcido, y corto, las partes componentes se ven en la figura 4-5-1

BARRETON.- También conocido como barra maestra, proporciona el peso necesario a la sarta de perforación, sus longitudes, diámetros y pesos, varía de acuerdo con los de la sarta de perforación seleccionada y están en función de la capacidad del equipo. Ver figura 4-5-1.

TIJERAS.- También conocidas como percutor, su empleo evita pegaduras en la sarta cuando se está perforando materiales plásticos, se coloca siempre entre el portacable y el barretón, excepto cuando se trata de operaciones de pesca en la que se conecta después del barretón, además hay una diferencia entre las tijeras de perforación y la de pesca, y es que la canera ó desplazamiento de la tijera de pesca es aproximadamente ocho veces mayor, ver figura 4-5-1

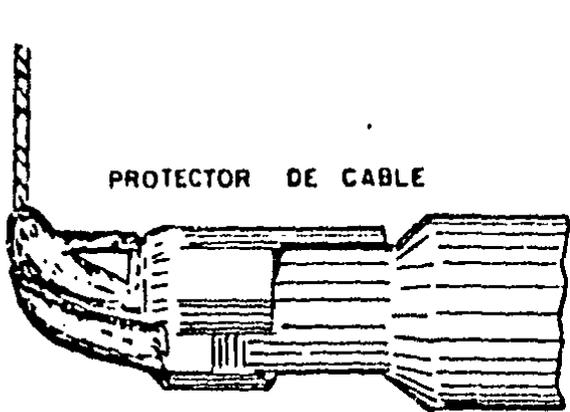
PORTACABLE GIRATORIO.Y FIJO.- Su objetivo principal es permitir que gire la sarta de perforación después de cada golpe, es de sección cilíndrica y en su interior está alojado la bala ó mandril que sirve de unión al ca-

ble con la sarta, se recomienda aefectuar revisiones frecuentemente en la unión del cable, para evitar que los materiales abrasivos lo desgasten en el cuello, además se deberá limpiar seguido las perforaciones que se encuentran en su cuerpo para evitar los atascamientos y facilitar la rotación. El portacable fijo se utiliza en las operaciones de pesca, para asegurar el " pescado " ó herramienta que se encuentra dentro del pozo, ver figura 4-5-1

CABLE.- Se define como cable a una serie de hilos ó alambres que al agruparse mediante un torcido determinado forman un torón y al grupo de torones ordenados en cierta forma permiten una combinación optima de resistencia, flexibilidad y seguridad.

Los cables se surten con especificaciones del API.

Un cable preformado es aquel cuyos alambres y torones tienen un terminado helicoidal, de manera que al cortarse ó romperse los alambres permanecen en su lugar, el alma del cable sirve como soporte a los torones que están enrollados a su alrededor y se fabrica de diferentes materiales dependiendo del trabajo al cual se vaya a destinar el cable, es decir que el alma del cable está formada por un torón que puede ser de acero ó de fibra. Los cables generalmente se fabrican en torcido regular y torcido lang. En el torcido regular los alambres del torón están torcidos en dirección opuesta a la de los totones del cable, y en el torcido lang



PROTECTOR DE CABLE

FIG. 1



PORTA CABLE
GIRATORIO O
FIJO

BALA
O MANDRIL



FIG. 2

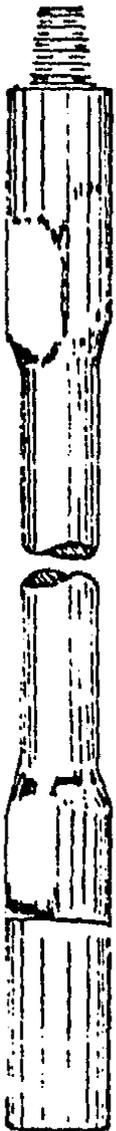


FIG. 4

BARRETON O
BARRA MATEMÁTICA

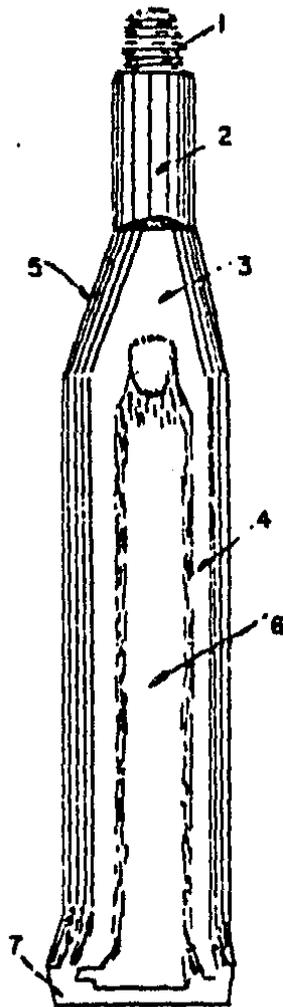


FIG. 5
TREPANO



FIG. 3

TIJERAS DE PERFORACION
O PESCA

- 1 - PIÑON
- 2 - CUELLO
- 3 - HOMBRO
- 4 - CUERPO
- 5 - CUADRO PARA LLAVES
- 6 - PASO DE AGUA O
CANAL DE EVACUACION
- 7 - FILO DE CORTE

están torcidos en la misma dirección, además de los mencionados se fabrican en torcido derecho y torcido izquierdo. Para la perforación a percusión se utilizan los siguientes tipos de cables: torcido izquierdo para la perforación, torcido derecho para la cuchara y el llamado no " rotatorio " para los trabajos de ademado, en este caso los torones interiores tienen torcido lang izquierdo y los exteriores regular derecho. Por lo que el cable no gira.

HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA.- Se denominará en este trabajo, herramienta complementaria las siguientes partes que es necesario debe tener integrado un equipo de perforación por percusión, como son los siguientes: protector de cable, juego de cucharas, juego de llaves de broca cuadrada, gato de media luna, trompos juegos de calibradores, tarima de operaciones y herramienta de pesca. Ver figura 4-5-2 y 4-5-3.

EQUIPO DE PERFORACION ROTATORIO.- La acción perforadora es debida a la rotación de una broca en el fondo del pozo, que es transmitida por la flecha de transmisión (KELLY), y la mesa rotaria. El método rotatorio es más ventajoso que el de percusión en formaciones de arena, grava y materiales no consolidados y para grandes profundidades, y consiste de una tubería hueca de perforación que en extremo inferior lleva una barrena,



FIG. 15



FIG. 16



FIG. 17

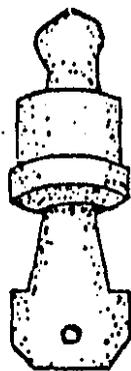


FIG. 18



FIG. 19

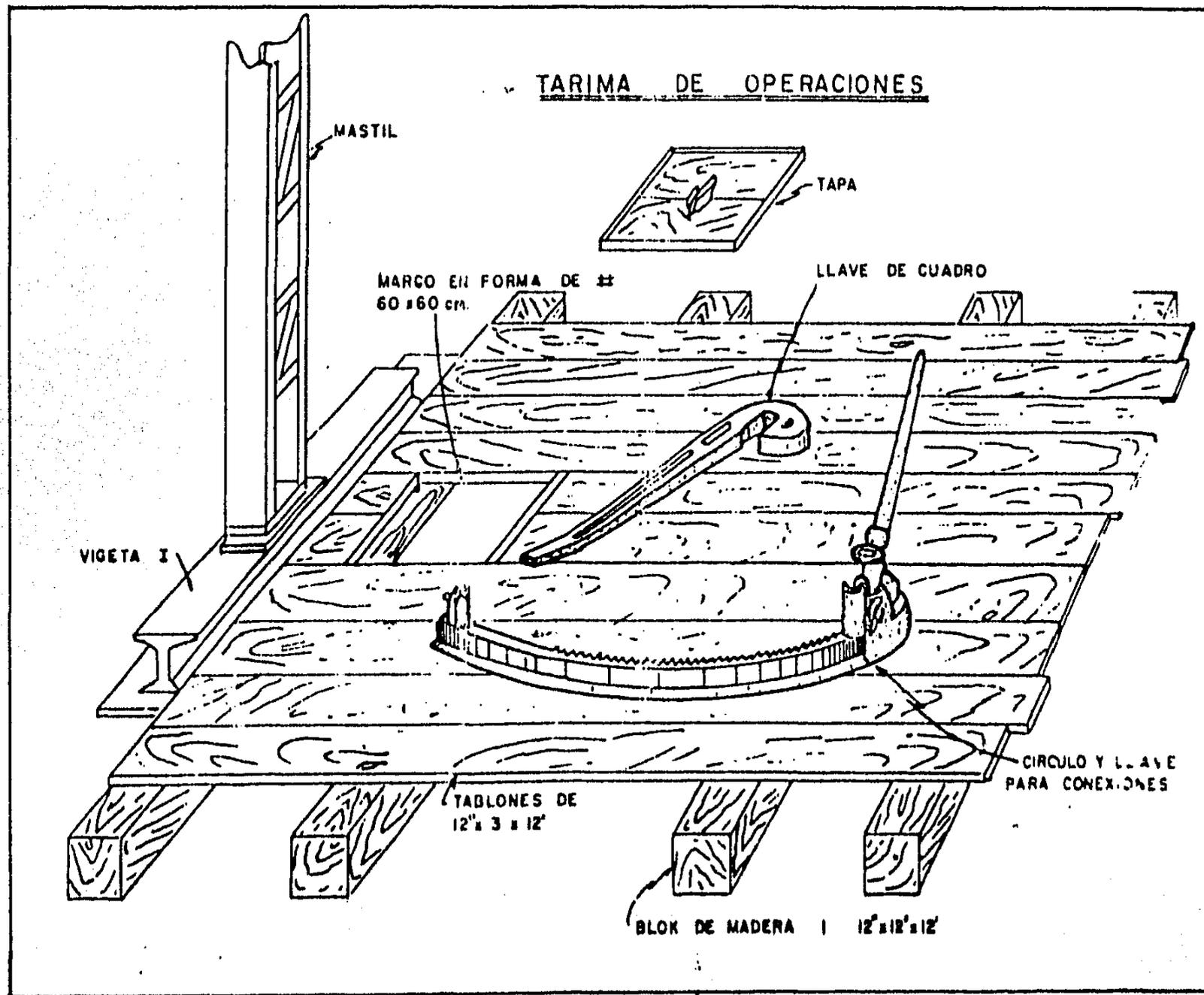


FIG. 4-5-3

que es la que corta los materiales por medio de movimientos giratorios y de presión, en su parte superior, la tubería de perforación remata en la felcha de transmisión o (KELLY), que transmite el movimiento de rotación de la mesa rotaria, el material cortado es extraído del fondo de la perforación por medio de la inyección de lodos que circulan por la tubería hueca y por el espacio anular formado entre la tubería y el agujero, los lodos de perforación son fluidos preparados con arcilla bentonítica y tienen la finalidad de arrastrar en suspensión el material cortado, sirviendo también de cementante ó enjarre de las paredes del pozo con lo que se evitan los derrumbes, a la vez actúan como lubricantes y sistema de enfriamiento a la sarta de perforación. Los lodos pueden circular en forma directa ó inversa y de acuerdo con esto se clasifican los equipos rotatorios de perforación. Los equipos de circulación directa son los más empleados, con una bomba de lodos del tipo reciprocante, los lodos se inyectan a presión en la tubería hueca, saliendo por los orificios que tiene la barrena, después de alcanzar el fondo del agujero, cambian el sentido de su movimiento y se elevan entre la tubería de perforación y las paredes del pozo, el material cortado es llevado a la superficie en donde se pasan a un tanque decantador, sedimentándose los sólidos y de allí pasa al cárcamo de succión de la bomba, completándose así el circuito.

EQUIPO ROTATORIO DE CIRCULACION INVERSA.- En este sistema el cárcamo de lodos esguiado directamente al agujero de perforación por donde descienden los lodos entre la tubería de perforación y las paredes del pozo, los lodos al llegar al fondo son extraídos por una bomba centrífuga que tiene conectada su tubería de succión con la tubería de perforación de manera que los lodos después de alcanzar el fondo, invierten el sentido, pasan por la barrena y ascienden por la tubería de perforación en la superficie la bomba descarga los lodos en el depósito decantador, de donde pasan al cárcamo, cerrándose de este modo el circuito.

Se describirá enseguida las partes más importantes del equipo rotatorio en orden ascendente.

BARRENAS.- Es la herramienta que prácticamente desintegra a la roca, y su selección estará en función del tipo de materiales a perforar, existen las de roles que para formaciones suaves presentan dientes largos y esparcidos, para formaciones duras y altamente abrasivas, dientes cortos con mínima separación, y las llamadas de botones con insertos de carburo de tungsteno.

LASTRABARRENAS (DRILL COLLARS).- Su función es aplicar peso a la barrena, este peso deberá ser simétrico o sea que la resultante de la sarta de perforación actúe en el eje central la barrena, para mantener esta

simetría, se cuenta con estabilizadores que además de repartir la carga simétricamente a la barrena mantienen los pozos en la vertical, en formaciones suaves se aplica poco peso y mayor velocidad de rotación de donde se necesitará una bomba de lodos capaz de extraer los recortes de la perforación, en formaciones duras se necesita mucho peso y menor velocidad de rotación, generalmente se emplean seis lastrabarrenas, cuidando siempre el pesos ya que por este motivo se tienen pozos derivados, como se vé de las lastrabarrenas lo que nos interesa es el tipo de conexiones que tiene, el peso y el diámetro y la longitud ya que esto estará de acuerdo a la capacidad del mástil, las conexiones de caja y piñón en sus extremos las más usuales son de 11.4 cm (4½") 16.8 cm (6 5/8"), son generalmente de sección circular y de diámetro de 15.2 cm (6") y 20.3 cm (8"), sus longitudes son de 4.56 m (15') 6.08 m (20') y 7.62 m (25').

TUBERIA DE PERFORACION.- Tubería de perforación, esta tubería es hueca y su función es permitir el paso de los fluidos de perforación, se suministra en tramos de 6.08 m (20') ó 9.14 m (30') con conexiones de caja y piñón en sus extremos las más comunes son de 89 cm(3½") I.F. ó 11.4 cm(4½")F.H. con normas y especificaciones API.

SISTEMA ROTATORIO.- El movimiento de la barrena se da

por medio de un sistema de rotación continua, que en combinación con el peso de la sarta de perforación logran la trituración del material, el número de las revoluciones por minuto puede variar, dependiendo del tipo de barrena, y del peso así pues la función de la mesa rotaria es transmitir el momento de torsión e impartir el movimiento giratorio a la flecha de transmisión o Kelly y por consecuencia a la tubería de perforación.

FLECHA DE TRANSMISION (KELLY).- Construida de sección circular, cuadrada ó exagonal, conectada en la parte superior de la unión giratoria ó swivel y en la inferior a la tubería de perforación.

UNION GIRATORIA (SWIVEL).- Su función es absorber el movimiento rotativo de la flecha de transmisión y la tubería de perforación, se encuentra suspendida del gancho giratorio de la polea viajera, en la parte superior tiene el cuello de ganso en la que se conecta la manguera de los lodos de perforación.

BOMBA DE LODOS.- Las bombas son de tipo pistón, doble acción, llamada duplex, bombean lodo por los dos lados del pistón, con carrera de desplazamiento positivo de manufactura standar en cilindro, camisas , válvulas, - vástago y pistones .

HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA.- Con que debe contar el equipo de perforación rotatorio. LLaves para apretar y des-

conectar tuberías, manguera para swivel, (manguera de succión) cables para maniobras, para cuchareo y para la flecha de transmisión, cucharas, sustitutos, conexión para levantar tubería de perforación, juego de llaves para romper tubería, rimas y herramienta de pesca, lodos de perforación. Se ha desarrollado una tecnología avanzada, debido a su importancia en este sistema, ya que de él depende el buen éxito de la perforación así como del tiempo empleado.

La arcilla, y el agua son los principales constituyentes del lodo de perforación, en el mercado se encuentra la bentonita como principal agente de suspensión y constituye el ingrediente más económico y práctico para preparar el lodo de perforación, las funciones de los lodos como se mencionó anteriormente son: sacar del agujero los recortes triturados por la barrena, la capacidad de arrastre depende de la viscosidad, gelificación, densidad y de su velocidad de retorno, es así como se ve que la capacidad de la bomba es esencial, a veces las propiedades de viscosidad y gelificación del lodo se mantienen en un nivel muy bajo, porque la capacidad de la bomba es pequeña.

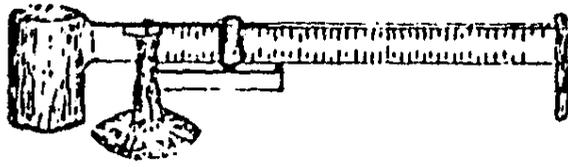
Una segunda función es el de evitar derrumbes de las formaciones no consolidadas, el enjarre debe ser delgado e impermeable para permitir el paso de las herramientas de perforación y asegurar la estabilidad de la pa-

red del pozo.

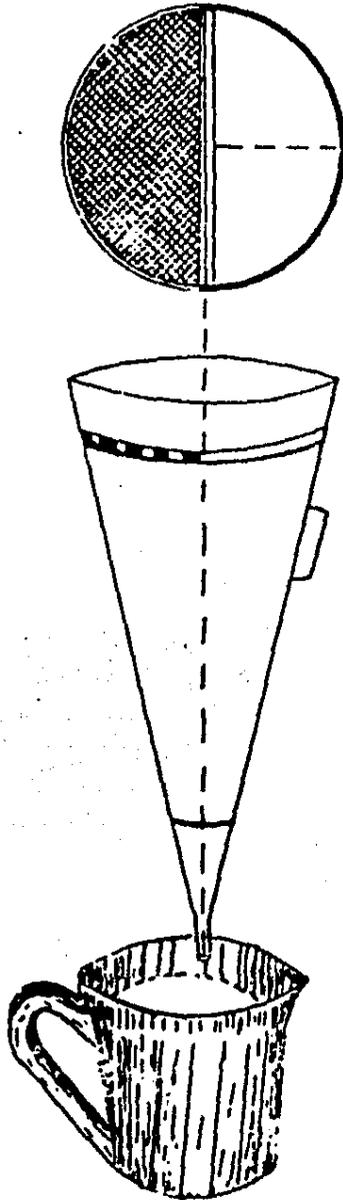
Otra función es la de enfriar y lubricar la sarta de perforación, como consecuencia de las fricciones que experimenta al girar la barrena sufre calentamiento y desgastes, por lo tanto los lodos absorben el calor a través de la circulación.

De acuerdo con las necesidades de la perforación, enjambre del agujero, pérdida de circulación, clase del material perforado, aunado a la experiencia y sensibilidad del operador de la máquina, hace varias las propiedades de los lodos, no obstante, se menciona enseguida los aparatos de medición para conocer las propiedades de densidad y viscosidad, que son: la balanza de densidades y el viscosímetro Marsh, como se ilustra en la figura No.4-5-4.

Para medir la densidad se llena el recipiente con lodo y una vez enrazado, se establece el equilibrio por el contrapeso en el brazo graduado, la lectura indicada será el valor de la densidad que para el caso de perforaciones de agua es de alrededor de 2.0 a 2.8 gr/cc. Para la medición de la viscosidad se procede de la siguiente manera, se toma una muestra de la presa de lodos y se llena el embudo hasta un volúmen de 1500 cc. durante el tiempo de llenado se tapa con el dedo la descarga del embudo, la medición se inicia al dejar fluir el lodo y descargará en el recipiente hasta una



BALANZA DE DENSIDADES



VISCOSIMETRO DE MARSH

marca generalmente de 1000 cc., el tiempo que tarda es te llenado medido en segundos indica la viscosidad, en la práctica es común iniciar la perforación con una viscosidad entre 30 y 48 segundos, aunque arbitraria es recomendable, pues se obtiene la eliminación de are nas, cuando se perfora grava o arena gruesa, deberá aumentarse la viscosidad, siendo lo recomendable de 50 segundos, aunque se llega a incrementar en casos excep cionales de 110 segundos.

PERFORACION CON EQUIPO NEUMATICO.- El procedimiento de perforación rotatorio neumático es similar al rotatorio con lodos, solo que como fluido de perforación se utili za el aire comprimido procedente de un compresor que lo fuerza por el interior de la tubería, para salir al fondo de la perforación por las toberas de circulación de la broca tricónica, el aire comprimido se encarga de mantener refrigerada la sarta de perforación y en su carrera ascendente arrastra el corte hasta la superfi cie, la corriente de salida se realiza a través del es pacio anular, comprendido entre la tubería de perforación y las paredes del agujero.

Cuando se emplea el martillo neumático el aire compri mido acciona el mecanismo de perforación del martillo, en cuyo extremo inferior se encuentra montada una broca generalmente con insertos de carburo de tungsteno en cruz, que gira lentamente entre 10 y 20 revoluciones por minuto y simultáneamente realiza su movimiento de

percusión, el aire descargado por las taberas de la broca a alta presión, hace que en su recorrido ascendente arrastre el corte hasta la superficie. Indudablemente que el martillo neumático es la herramienta de perforación más perfeccionada y rinde extraordinariamente cuando se perfora el material de roca dura y compacta, se emplea en este tipo de material debido a la velocidad de retorno del material es muy alta, de alrededor de 10 a 15 m/seg., por lo que es evidente que no debe utilizarse este método, en formaciones sueltas o fácilmente erosionables, la ventaja en la velocidad de retorno del material triturado, es que se tiene la muestra exacta del extracto y prácticamente en el momento de producirse, además se tendrán pozos limpios y derechos, en resumen este método de perforación es muy útil en lugares donde se tienen problemas con el abastecimiento de agua para el trabajo, donde se representan pérdida total o parcial de circulación y su ventaja primordial sobre los otros métodos, es el tiempo, que es mucho más rápido para la misma formación.

A poca profundidad puede utilizarse aire únicamente como fluido de perforación, más o menos 25 metros, pero al profundizar o encontrar materiales fracturados, se tiene dificultades en el acarreo de los cortes, para facilitar la extracción, se adiciona una mezcla de agua es-

pumante con una bomba que lo haga a una mayor presión que el compresor utilizado, obteniéndose así una columna, que aunque presenta un peso específico muy bajo, tiene una gran capacidad de soporte de las partículas, no obstante el fluido aire-agua-espumante es la mejor solución para la extracción del corte.

PERFORACION CON MARTILLO NEUMATICO DOWN HOLE.- El martillo neumático DOWN HOLE, es el más eficiente de todos, el pistón golpea directamente sobre la broca y practicamente la sigue dentro de la formación, la broca utilizada, generalmente es parte integral del martillo, no obstante es posible la utilización de brocas tricónicas acopladas en lugar de las usuales de carburo de tungsteno, el martillo es un motor reciprocamente y tiene una cámara donde admite y expulsa el aire, proporcionando la energía al pistón, entre mayor sea el volumen de la cámara, mayor será del golpe transmitido, y mayor será el avance en la perforación, en el caso de materiales un poco suaves será conveniente utilizar el martillo con menor cámara de admisión, por que dará un mayor número de golpes por minuto, aunque de menor impacto, es evidente que si utilizamos un compresor de determinado volumen para mover el martillo, se tendrá un número de golpes por minuto, y si son dos compresores en paralelo, la velocidad de retorno se duplicará, y así mismo para fines prácticos también el número de golpes.

Con lo que se debe cuidar que siempre se tenga un mayor volúmen de aire y presión adecuada para vencer la carga dentro del pozo, teniéndose así una mayor velocidad de perforación, limpieza del fondo del fondo-del agujero y el arrastre de partículas mayores. Además se trabaja a bajas revoluciones de la rotaria entre 10 y 20 revoluciones por minuto y el peso que se transmite a la herramienta un peso que varía entre 454 kg. (1000 lb.) a 1360 kg. (3000 lb.) no debiendo aplicar un peso mayor porque se impide su golpeteo. Lo antes expuesto es una gran ventaja cuando se atraviesan formaciones que pueden dar lugar a desviaciones, por que la mejor forma de evitarlas es la de aplicar poco peso a través de la columna de perforación.

Para terminar, se puede decir que la perforación con martillo neumático es la más rápida, tratándose de formaciones compactas, sin embargo obliga a la utilización de herramientas de alto valor y de maquinaria auxiliar como son los compresores y bombas de alta presión, así como el suso de espumantes adecuados, por lo que el método incrementa el rendimiento pero también los costos en una forma notable.

Enseguida se presenta una tabla donde se muestra la velocidad relativa de perforación en los diferentes tipos de máquinas:

TIPO DE FORMACION	M A Q U I N A		
	PERCUSION	ROTARIO	NEUMATICA
ARENAS FINAS	DIFICIL	RAPIDA	NO RECCM.
ARENA Y GRAVA SUELTA	DIFICIL	RAPIDA	NO RECOM.
ARENA FLUIDA Y MOVEDIZA	DIFICIL	RAPIDA	NO RECOM.
BOLEO SUELTO	DIF-LENTO	MUY DIF.	NO RECOM.
ARCILLA Y LINO	LENTA	RAPIDA	NO RECOM.
ESQUISTOS Y PIZARRA	RAPIDA	RAPIDA	NO RECOM.
ESQUISTOS PEGAJOSOS	LENTA	RAPIDA	NO RECOM.
ESQUISTOS Y PIZARRA QUE BRADIZA.	RAPIDA	RAPIDA	NO RECOM.
ARENISCA MAL CEMENTADA	LENTA	LENTA	NO RECOM.
ARENISCA MUY CEMENTADA	LENTA	LENTA	NO RECOM.
NODULOS DE PEDERNAL	RAPIDA	LENTA	NO RECOM.
CALIZAS Y DOLOMITAS	RAPIDA	LENTA	MUY RAP.
CALIZAS CON NODULOS DE PEDERNAL.	RAPIDA	LENTA	MUY RAP.
CALIZAS POCO FRACTURADAS	RAPIDA	LENTA	MUY RAP.
CALIZAS CAVERNOSAS (*)	RAPIDA	MUY-DIF.	DIFICIL
BASALTO EN COLADAS DELGADAS.	LENTA	LENTA	RAPIDA
ROCAS METAMORFICAS	LENTA	LENTA	RAPIDA
GRANITO Y GNEISES	LENTA	LENTA	RAPIDA

(*) Se tiene problemas de la pérdida de los fluidos de perforación.

4.6 SECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES MAS IMPORTANTES EN LA CONSTRUCCION DE UN POZO.

Se describirá brevemente sus funciones vitales que inciden en la vida útil del pozo, éstas actividades son las siguientes:

- a).- Perforación exploratoria.
- b).- Registro eléctrico.
- c).- Ampliaciones ó rimado.
- d).- Cementación
- e).- Ademado.
- f).- Tapón de fondo.
- g).- Engravado
- h).- Limpieza.
- i).- Desarrollo y aforo.
- j).- Selección del equipo de bombeo.

PERFORACION EXPLORATORIA.- Conocidos ya la profundidad y diámetro del pozo, al inicio de la perforación se deberá de hacer la perforación exploratoria, que consiste en alcanzar la profundidad del proyecto, con un diámetro generalmente de 31.12 cm (12¼"), durante el proceso deberá obtenerse por duplicado muestras de los materiales a cada dos metros y cuando haya cambio de formación, se envolveran en bolsas de plástico o frascos de vidrio, se etiquetarán con el nombre del pozo, profundidad de la muestra y el número progresivo, las muestras obtenidas serán sin lavar y la toma de la muestra dependerá del tipo del equipo de perforación.

REGISTRO ELECTRICO.- En esta actividad se obtiene información litológica de la profundidad, a partir de la resistividad y el potencial natural y la presencia de sales en la formación.

La combinación de las curvas de potencial y de resistividad, colocados paralelamente forman el registro eléctrico.

POTENCIAL NATURAL.- Esta curva se obtiene del lado izquierdo del registro eléctrico, es un índice de la permeabilidad de las formaciones ya que para generar un potencial debe existir un medio poroso que manifieste la presencia de fluidos, la propiedad que caracteriza a algunos materiales como es la impermeabilidad que presentan las arcillas, que tienen una escasa variación en la escala de potencial natural, se aprovecha para denominarlas " Línea de referencia" y se utiliza para valorar el potencial natural, de las diferentes formaciones registradas.

La curva de potencial presenta una serie de deflexiones hacia la izquierda y hacia la derecha de la línea de referencia, lo importante de estas deflexiones, son su amplitud y no sus valores absolutos, por lo que la escala carece de cero y solo se tiene el valor de cada división en mili volts, así como los sentidos positivos hacia la derecha y negativo hacia la izquierda, tomando como referencia la línea de refe-

rencia.

RESISTIVIDAD.- La resistividad de un material es la propiedad que lo caracteriza por su oposición al paso de una corriente eléctrica, está relacionada con la naturaleza, calidad, y distribución del agua en una formación geológica, la medición de la resistividad en un agujero de perforación se utiliza para definir los contactos entre las formaciones, espesor de los estratos atravezados y la presencia de sales, que son muy buenos conductores de la electricidad.

Esta curva o curvas se grafican en el lado derecho del registro eléctrico, expresándose en ohm-m, en esta parte de la gráfica se tiene el cero en la escala.

Enseguida se muestra una tabla con los valores típicos de la resistividad de algunos materiales:

ARENAS Y GRAVAS CONTENIENDO AGUA DULCE	30 A 200 OHM-M
ARENISCAS Y CALIZAS CONTENIENDO AGUA D.	50 A 500 OHM-M
ARENAS Y GRAVAS CONTENIENDO AGUA SOLO-BRE	4 A 30 OHM-M
ARENAS Y GRAVAS CONTENIENDO AGUA SALADA.	0.1 A 4 OHM-M
ARCILLAS Y LUTITAS	2 A 10 OHM-M
FORMACIONES COMPACTAS	1000 A 10000OHM-M
AGUA POTABLE	10 A 100 OHM-M
LODO DE PERFORACION	1 A 10 OHM-M

Como puede verse de la tabla anterior, que los buenos acuíferos y las formaciones compactas tienen una resis

tividad mayor que las formaciones arcillosas o que los acuíferos con agua salada.

En un registro eléctrico es siempre conveniente contar con dos curvas de resistividades la llama normal y la lateral o inversa, ya que esta grafica nos proporciona una información confiable debido a su radio de acción que llega hasta la zona no contaminada y la resistividad de la roca, la proporciona sin alteraciones.

Hablando de zonas se distinguen tres muy marcadas a partir de la pared del pozo y en sentido horizontal debido a la influencia del lodo de perforación.

Zona lavada, es la inmediata a la pared del pozo y es donde probablemente haya habido un desplazamiento total del agua de la roca por la del lodo de perforación.

Zona invadida, es la zona que sigue a la zona lavada y que ha recibido parcialmente agua del lodo de perforación.

Zona no contaminada, es la zona donde no ha llegado el agua del lodo de perforación y se conserva intacta o sea con sus características originales.

INTERPRETACION DE REGISTROS ELECTRICOS. - Como una guía general para el análisis cualitativo del registro eléctrico se presentan a continuación algunas reglas que se deberán tener muy en cuenta para su interpretación.

a).- Cuando la línea de potencial natural se encuentra a la izquierda de la línea de referencia, indica casi siempre que tiene formaciones porosas.

b).- Cuando la línea de potencial natural se encuentra a la derecha de la línea de referencia se tendrá formaciones impermeables.

c).- Si la curva de potencial natural se presenta más negativo con respecto a la profundidad, esto indica que la salinidad del acuífero se incrementa con la profundidad.

d).- Para mayores porosidades, corresponden altas resistividades.

e).- Los acuíferos con agua de buena calidad, tienen mayor resistividad que las formaciones arcillosas o que contengan agua salada y viceversa.

AMPLIACIONES O RIMADO.- Una vez analizadas las muestras e interpretado el registro eléctrico, se podrá hacer el diseño definitivo del pozo, en base a este proyecto se harán las ampliaciones necesarias éstas dependerán del tipo de material, pero generalmente las ampliaciones son de 44.5 cm (17½ "), 56 cm (22"); 61 cm.(24")? 71 cm(28") 76 cm(30").

CEMENTACION.- Los pozos cuya función será el abastecimiento de agua a una comunidad, deberá ser cementada la parte superior del ademe para proteger al acuífero contra la contaminación de las aguas superficiales que se infiltran entre las grietas producidas durante la perforación.

La cementación se realiza entre el espacio anular de la perforación y la tubería de contrademe como puede verse

en la figura 4-6-1.

También se lleva a cabo la cementación cuando se pretende aislar un acuífero de agua dulce de uno contaminado, como puede ser materiales orgánicos o de agua salada. Para este tipo de problemas se aísla la pared de perforación y el ademe.

PROCEDIMIENTOS DE LA CEMENTACION.- En perforaciones de poca profundidad como es el caso que se describe, se ejecuta este trabajo por gravedad, o sea vaciando la lechada a fondo perdido dentro del espacio anular, procurando que se realice la operación en forma continua.

Cuando el espacio anular se puede alojar una tubería de 3.8 cm (1½") ó 5.8 cm (2"), se efectúa la cementación por el exterior, en el extremo de tubo de inyección se hace descender hasta la profundidad requerida ha cementar, se hace pasar por el la lechada y se irá recuperando la tubería gradualmente, la lechada será introducida al tubo por gravedad o por bombeo. Otro procedimiento consiste en hacer la cementación por el interior del ademe, se prepara un tapón en la parte inferior del tramo ha cementar y otro acoplado a la línea de inyección, de tal manera que se fuerza a la lechada circular por el espacio anular del tramo a cementar.

Para determinar la cantidad de cemento ha emplear se parte de la siguiente base: cada 50 kg. de cemento mezclado con 50% de su peso en agua, tiene un rendimiento de 38.77 lts.

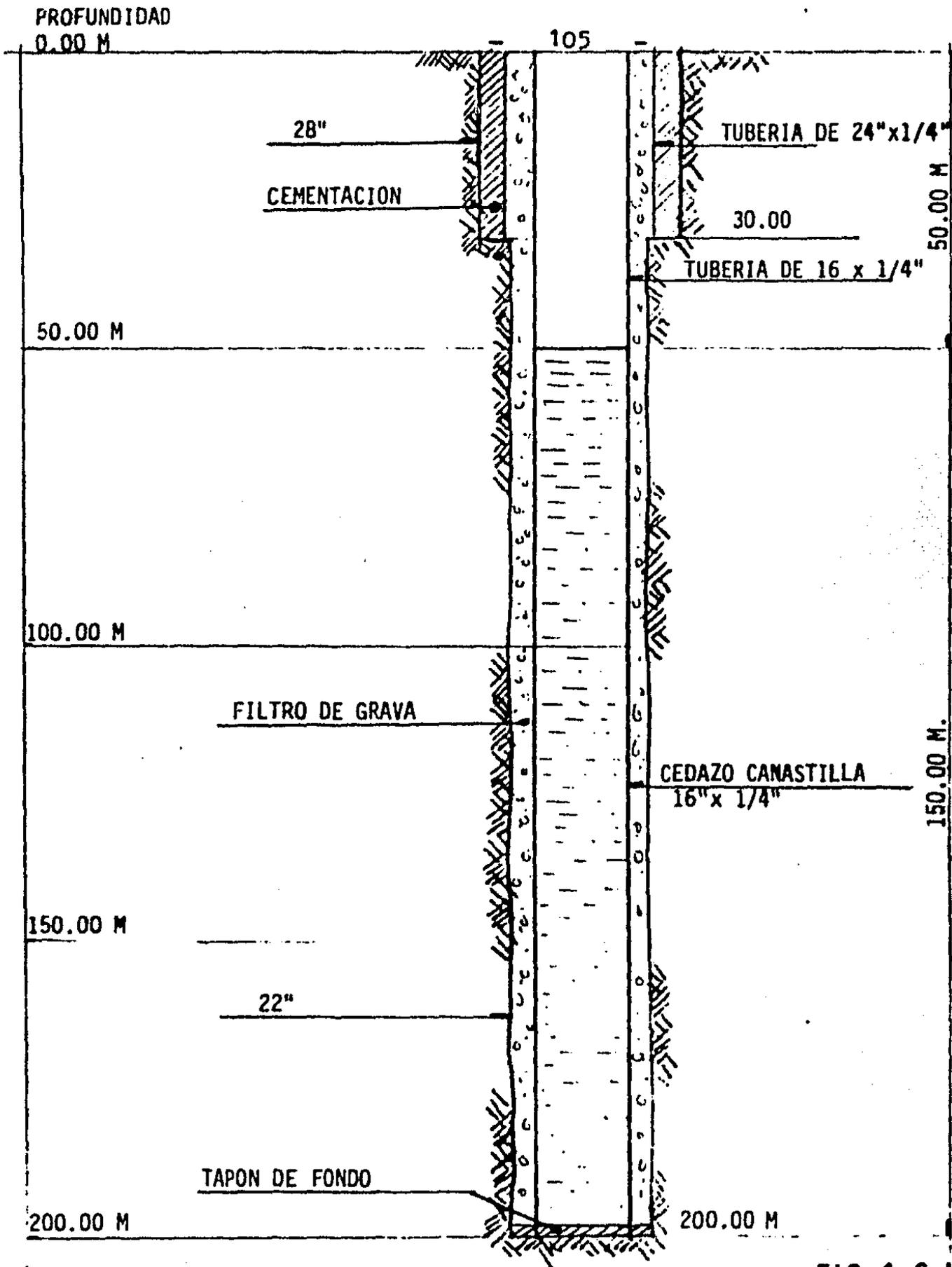


FIG. 4-6-I

de lechada con una densidad de 1.93 kg/lts. Conociendo el volúmen de la sección ha cementar se conocerá la cantidad de cemento.

ADEMADO.- Cuando se ha terminado toda la ampliación del pozo, se procede ha introducir la tubería que según el diseño se colocará y que puede ser tubería lisa o ranurada, de diferentes diámetros, pero sea cual fuera la tubería por ademar, antes de hacer esta operación se deberá de calibrar el pozo, esto consiste en bajar dos o tres tramos de tubería de ademe del mismo diámetro de la tubería por ademar, para verificar que no haya atorones en el agujero perforado y así efectuar el ademado sin problemas, con esto se evita que al ademar determinada cantidad de metros de tubería se tenga que sacar para volver a rimar. Se deberá de tener cuidado con la soldadura que debe llenar las partes del bisel de la tubería y quedará soldada a tope, un problema muy común en el ademado de pozos, es lo que en el medio de la perforación se denomina " orejas ", esto es un orificio que se hace a la tubería para introducir un tubo en el que queda suspendida ésta, durante el tiempo que dura soldándose el siguiente tubo, a estas orejas no se les dá la debida importancia al ser soldadas y en la gran mayoría de los pozos se desprende, esto provoca que por estos orificios penetre gran cantidad de grava que terminan por azolvar el pozo.

TAPON DE FONDO.- El tapón de fondo ofrece un soporte al pozo aún cuando el terreno se compactara al rededor de él,

también sirve para aislar al pozo impidiendo la entrada de materiales por el fondo. La práctica más común en la construcción del tapón de fondo, es colocar la lechada de cemento en la superficie, en la parte inferior del tubo antes del ademado, con una longitud de 1 a 1.5 m. generalmente.

ENGRAVADO.- Una vez terminado la colocación del ademe, se procede a la colocación del filtro de gravas, en la colocación del filtro de grava se debe cuidar, lo que se conoce como " Puenteo " de la grava, o sea el acuñamiento de ésta entre el ademe y el agujero de perforación, esto impide que la grava baje a la parte inferior del puente.

Forma de engravar, para evitar el puenteo se ha observado que se debe colocar la grava en pequeñas cantidades y se debe controlar la velocidad de lavado cuando se efectúa con máquina rotaria, y el pistoneo cuando se ejecute esta operación con máquina de percusión. El engravado rápido muchas veces ocasiona el puenteo de la grava.

LIMPIEZA.- Si un pozo ha sido perforado con el tipo de perforación rotaria es indispensable el fluido de perforación, generalmente formados por una mezcla de agua y bentonita como se vió en el capítulo anterior, las cantidades empleadas en perforación varían, pero hay que comprender que un pozo que se haya vertido más bentonita que otro, estará más expuesto a un alto grado de permeabili-

dad, aún más como el engravado se realiza con la circulación de lodos, el filtro de grava puede quedar contaminado con la bentonita, se puede advertir que todo pozo que no ha sido correctamente lavado, lo más probable es que su rendimiento sea pobre. Por tal motivo en máquinas rotarias una vez terminadas la colocación de grava, se continua el lavado, sustituyendo el lodo de perforación y el agua turbia con agua limpia, operación que continuará hasta que del brocal del pozo brote agua limpia y libre de sólidos en suspensión.

DESARROLLO Y AFORO.- Definición y ejecución desarrollo de un pozo, es el conjunto de operaciones por medio de las cuales se logra un aumento en la porosidad y permeabilidad del filtro y de las formaciones acuíferas circunvecinas del pozo, desalojando los lodos infiltrados en las formaciones durante los trabajos de perforación, simultáneamente, durante las operaciones de desarrollo, las acciones dinámicas aplicadas al pozo conducirán a un estado de equilibrio en el filtro de grava del pozo, el aumento de la porosidad y permeabilidad, así como el acomodamiento y equilibrio del filtro de grava, permitirán el flujo de explotación del pozo con un mínimo de pérdidas de energía hidráulica, con lo cual se obtendrá un mayor caudal con un correspondiente nivel de bombeo menor a medida que avanza el desarrollo del pozo.

Para este fin se utilizará una bomba, generalmente del

tipo turbina de pozo profundo, accionada por cualquier fuente de energía, se procederá al bombeo del pozo, partiendo de un caudal mínimo que permitirá el estado del pozo, el cual será incrementado en la medida que vayan disminuyendo los sólidos en suspensión en el agua bombeada, hasta lograr un caudal máximo que permitirá la potencialidad y capacidad de los acuíferos explotados, el equipo de bombeo siempre estará muy sobrado en capacidad ya que nunca se conocen las características hidráulicas de los pozos.

La duración de la operación de desarrollo y aforo estará dictada por las características del pozo y de las formaciones acuíferas explotadas, pero deberá tener un tiempo generalmente de 72 horas efectivas de trabajo, salvo en casos especiales en que puede ser menor o mayor el número de horas. El desarrollo del pozo se iniciará con un gasto cercano al nulo y a medida que se vaya obteniendo agua limpia libre de sólidos en suspensión, y que se observe que la grava del filtro se estabiliza para un caudal determinado, se irá aumentando la magnitud del caudal bombeado, para lo cual se darán incrementos de cien en cien revoluciones por minuto a la velocidad de la flecha de la bomba. En cada escalón de velocidad y caudal, se mantendrá el tiempo necesario hasta que se obtenga agua limpia y se logre la estabilización del filtro de grava, de esta forma se procederá incrementando periódicamente los caudales bom-

beados, en la medida que el propio pozo lo permita, hasta llegar a un gasto máximo el que será compatible con la capacidad del acuífero y las características constructivas y funcionales del pozo, En el mismo escalón de velocidad, solo se podrá bombear agua limpia por un tiempo máximo consecutivo de una hora, una vez alcanzado el gasto máximo de bombeo, durante el desarrollo del pozo, y estando bombeándose agua limpia completamente libre de sólidos en suspensión se procederá a efectuar el aforo del pozo.

Después de haberse desarrollado el pozo, el aforo tendrá una duración de 10 horas aproximadamente, para lo cual a partir del momento en que se dé por iniciado el aforo, se mantendrá en un mismo escalón de velocidad el equipo de bombeo durante una hora, al final de la cual se efectuarán las lecturas correspondientes al gasto que se esté bombeando y al nivel dinámico respectivo de este gasto, efectuadas las lecturas, disminuirá en 100 revoluciones por minuto la velocidad de la flecha de la bomba, manteniéndose la nueva velocidad durante una hora, al final de la cual se efectuarán nuevamente las lecturas de gasto y nivel de bombeo, se continuará así disminuyendo la velocidad por escalones de cien rpm. cada hora, y efectuando las lecturas mencionadas, hasta que finalmente se llegue a la velocidad mínima de la bomba, a la cual le corresponderá un gasto próximo al nulo, generalmente los equipos de aforo operan entre 800 rpm. y 2000

rpm.

Quedará entendido que las lecturas correspondientes a cada escalón de velocidad deberán efectuarse al final de la hora de trabajo en el escalón correspondiente, e inmediatamente antes de bajar la velocidad al siguiente escalón inmediato inferior. Una vez terminado el aforo, y antes de que sea retirado del pozo el equipo de bombeo se procederá a efectuar la lectura del nivel estático del pozo ya recuperado.

Toda la información será vertida hora por hora en un registro de aforo, que exprofeso debe tener el aforador, y que serán cuando menos las siguientes.

NOMBRE DEL POZO, NIVEL ESTÁTICO, FECHA, HORA, NUMERO PROGRESIVO DE LAS MEDICIONES, VELOCIDAD DE LA BOMBA, NIVEL DE BOMBEO, ALTURA DEL PIEZOMETRO y EL GASTO, además en la primera hoja de este registro de aforo, se deberá notar las características del equipo de aforo instalado en el pozo, como son: MODELO DEL CUERPO DE TAZONES, NUMERO DE IMPULSORES, LONGITUD Y DIAMETRO DE LA TUBERIA DE COLUMNA, DIAMETRO DEL TUBO DE LA DESCARGA Y DEL ORIFICIO CALIBRADO. Con los datos anteriores se construye la curva de aforo del pozo, que servirá para la selección del equipo de bombeo.

Medición del gasto del aforo, para medir el gasto en el aforo se utiliza el método del orificio calibrado que por lo regular se emplea en casi todos los pozos, ver figura 4-6-3,

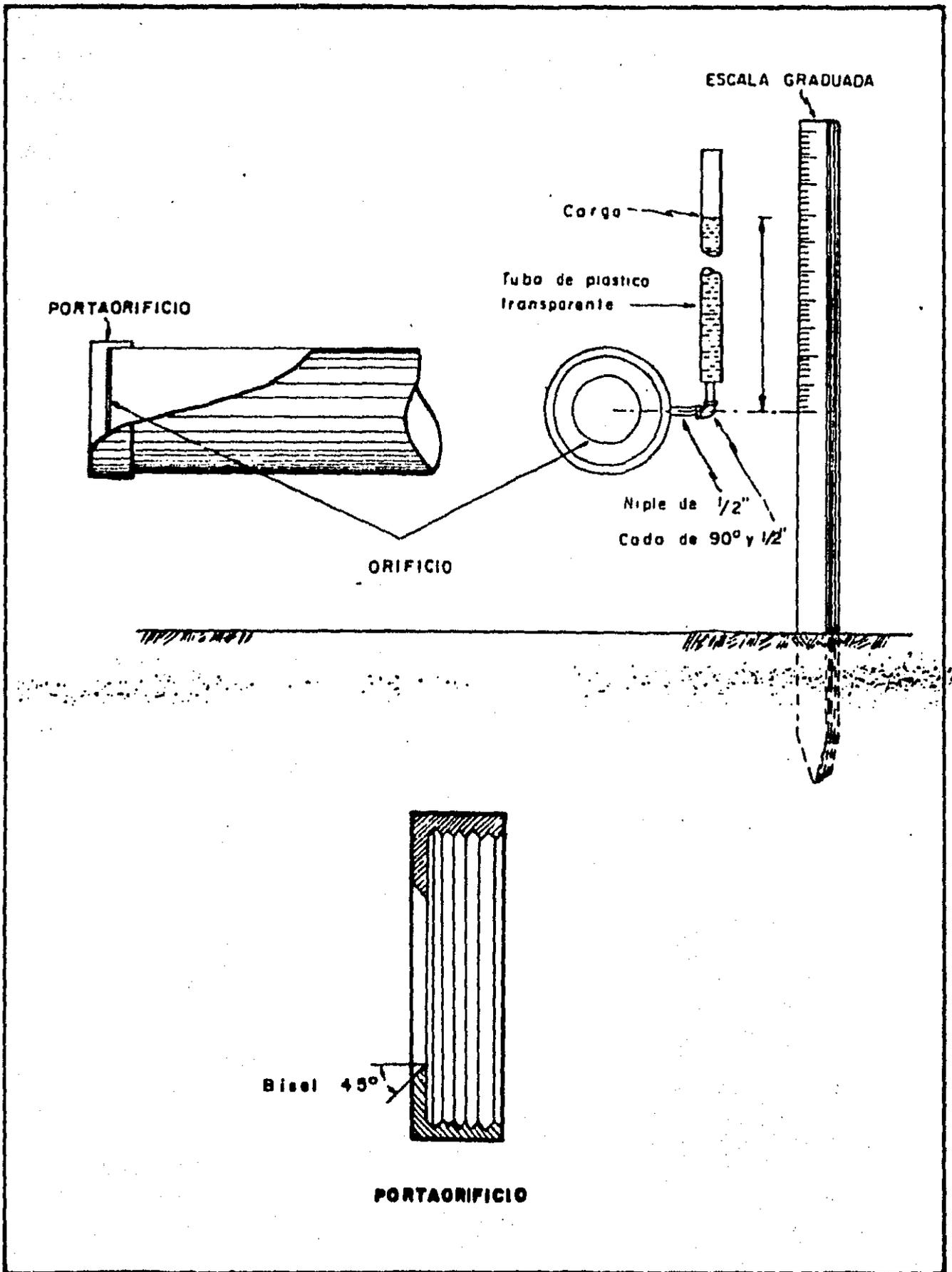


FIG. 4-6-3

otro método que se llega a utilizar es el de volúmen tiempo que consiste en el llenado de un bote de 20 lts. y se tomará el tiempo de llenado, con lo que conocemos el gasto en lps. En el método del orificio calibrado existen varias fórmulas, en las que se involucra la gravedad, el área del orificio, y altura del piezómetro, se anexa a este capítulo una tabla para la obtención del gasto.

4.7 SELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO

Una vez más terminado el aforo del pozo se cuenta con los datos necesarios para la selección del equipo de bombeo, este debe ser el adecuado al pozo, seleccionando en base a la demanda que se debe satisfacer, así como de la capacidad del pozo. Se considera que en este punto es donde existen los mayores problemas de incurrir en errores, mismos que se traducirán en un mayor costo de operación y mantenimiento independiente del costo inicial.

Por tal motivo en esta tesis se hacen dos ejemplos de la selección del equipo de bombeo, uno con bomba vertical tipo turbina y el otro de bomba sumergible.

Para calcular y seleccionar un equipo de bombeo tipo turbina, se deberá contar con los siguientes datos, o sea las condiciones de servicios que para el ejemplo son los que siguen:

NIVEL DINAMICO ND = 72.00 m

GASTO Q = 76 lps.

GARGA ADICIONAL CA = 5.50 m.

TIPO DE ENERGIA ELECTRICA

Diam. del Orificio Pulgadas	Diámetro de la tubería de descarga en pulgadas						
	3	4	5	6	8	10	12
2	0.634	0.576	0.560	0.557			
2 1/4	0.887	0.750	0.720	0.709			
2 1/2	1.220	0.959	0.900	0.881	0.865		
2 3/4		1.222	1.112	1.075	1.052		
3		1.559	1.360	1.296	1.256	1.239	
3 1/4		1.904	1.660	1.549	1.478	1.466	
3 1/2		2.699	2.016	1.833	1.737	1.705	
3 3/4			2.436	2.157	2.005	1.962	1.947
4			2.951	2.532	2.304	2.239	2.221
4 1/4			3.662	2.987	2.615	2.546	2.514
4 1/2				3.508	3.000	2.871	2.833
4 3/4				4.119	3.385	3.216	3.166
5				4.882	3.835	3.601	3.526
5 1/4				6.073	4.341	3.991	3.908
5 1/2					4.889	4.448	4.300
5 3/4					5.517	4.923	4.713
6					6.236	5.456	5.185
6 1/4					7.058	5.992	5.641
6 1/2					7.966	6.639	6.196
6 3/4					9.120	7.296	6.750
7					10.798	8.060	7.296
7 1/4						8.810	7.886
7 1/2						9.743	8.628
7 3/4						10.673	9.415
8						11.804	10.128
8 1/4						13.088	11.051
8 1/2						14.650	11.947
8 3/4						16.871	12.861
9							14.030
9 1/4							15.301
9 1/2							16.477
9 3/4							17.925
10							19.529
10 1/4							21.343
10 1/2							24.294

Fórmulas: $Q=KA \sqrt{2g} \sqrt{h}$ en la que: $K'=KA \sqrt{2g}$ por lo que: $Q = K' \sqrt{h}$
 Q =Gasto en litros por segundo; $K=0.61$ (constante, orificio delgado)
 A =Superficie del orificio calibrado $g=9.81$ (constante de la gravedad)
 h =Altura en centímetros, a la que sube el agua en el piezómetro.

LUBRICACION	AGUA
PROFUNDIDAD DEL POZO	200. m.
DIAMETRO DEL ADEME	40.6 cm (16")
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	TRES FASES 60 cps. 440 volt.
VELOCIDAD DE OPERACION	1760 RPM.

a).- DETERMINACION DE LA LONGITUD DE COLUMNA.- Como el ND=72.0 m y los tramos de columna son de 3.05 cada uno, se tiene: $\frac{72}{3.05} = 23.60$ tramos

con la finalidad de prever abatimientos futuros se adiciona 3 tramos de columna:

$$23.60 + 3 = 26.60 \text{ tramos} = 27 \text{ tramos } 82.35 \text{ m}$$

b).- C.D.T. (TENTATIVA).-

C.D.T = N.D. + hf columna + CA. + hf adicional
como se desconocen las pérdidas de fricción en la columna (hf col.) se tomará inicialmente el 5% del N.D. y posteriormente se determinará su valor real por otra parte se considera 6.0 m de carga adicional, incluyendo las pérdidas por fricción de la tubería y piezas especiales.

$$CDT = 72 + 72.0 \times 0.05 + 6 \quad CDT = 81.60 = 82 \text{ m}$$

de lo que se deduce que se tendrá que seleccionar un equipo de bombeo que proporcione 76.0 lps. contra una carga dinámica de 82.0 m.

c).- SELECCION DEL CUERPO DE TAZONES.- Con las gráficas

que proporcionan los fabricantes de equipos de bombeo, y seleccionando siempre el diámetro máximo del impulsor, por lo que se tendrá un impulsor modelo 12MC, que proporciona 76 lps. con una carga de 14.00 m por tazón y una eficiencia (η) de 82%, ver gráfica No. 5 - 1 , por lo que el número de pasos será :

$$\frac{\text{C.D.T.}}{\text{Carga tazón}} = \frac{82.0}{14.0} = \underline{5.85}$$

Número de pasos = 6 impulsores, o sea que se requieren de 6 impulsores para poder vencer la C.D.T. y cuyo tazón tiene un diámetro nominal de 30.5 cm (12").

En la tabla No. 5 - 2 , se muestra el límite de pasos que debe ser alojado en el cuerpo de tazones.

d).- CALCULO DE LA POTENCIA TEORICA.- Para calcular la potencia que requieren los impulsores se utiliza la siguiente fórmula:

$$HP = \frac{Q \times C.D.T. \times G.E.}{76 \times \eta}$$

en donde:

HP = Potencia

Q = Gasto l.p.s

CDT= Carga dinámica total en m.

76 = Constante par obtener la potencia H.P.

η = Eficiencia en por ciento

GE.= Gravedad específica

$$HP = \frac{76.0 \times 82.0}{76.0 \times 0.82} \times 1 \quad HP = 100$$

e).- SELECCION DEL DIAMETRO DE LA FLECHA.- Como ya se conoce la potencia teórica que consumen los impulsores, la fle-



MANUFACTURERA FAIRBANKS-MORSE, S. A.

CARACTERISTICAS DE OPERACION			MODELO	FIGURA	R P M
NUMERO DE ETAPAS	CAMBIO DE EFICIENCIA	IMPULSOR BRONCE	12" MC	6970	1770
1	RESTAR 3 PTS.	TAZON FoFo	EL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DEPENDE DE SUMINISTRAR A LA BOMBA LA CANTIDAD ESPECIFICADA DE AGUA LIMPIA, FRESCA, NO AEREADA, SIN EXCEDER DE 85°F (30°C)		
2	RESTAR 2 PTS.	DIAM TAZON 11-1/2"			
3	RESTAR 1 PTS.	KT = 13.4			
6 O MAS	SUMAR 1 PTS.				

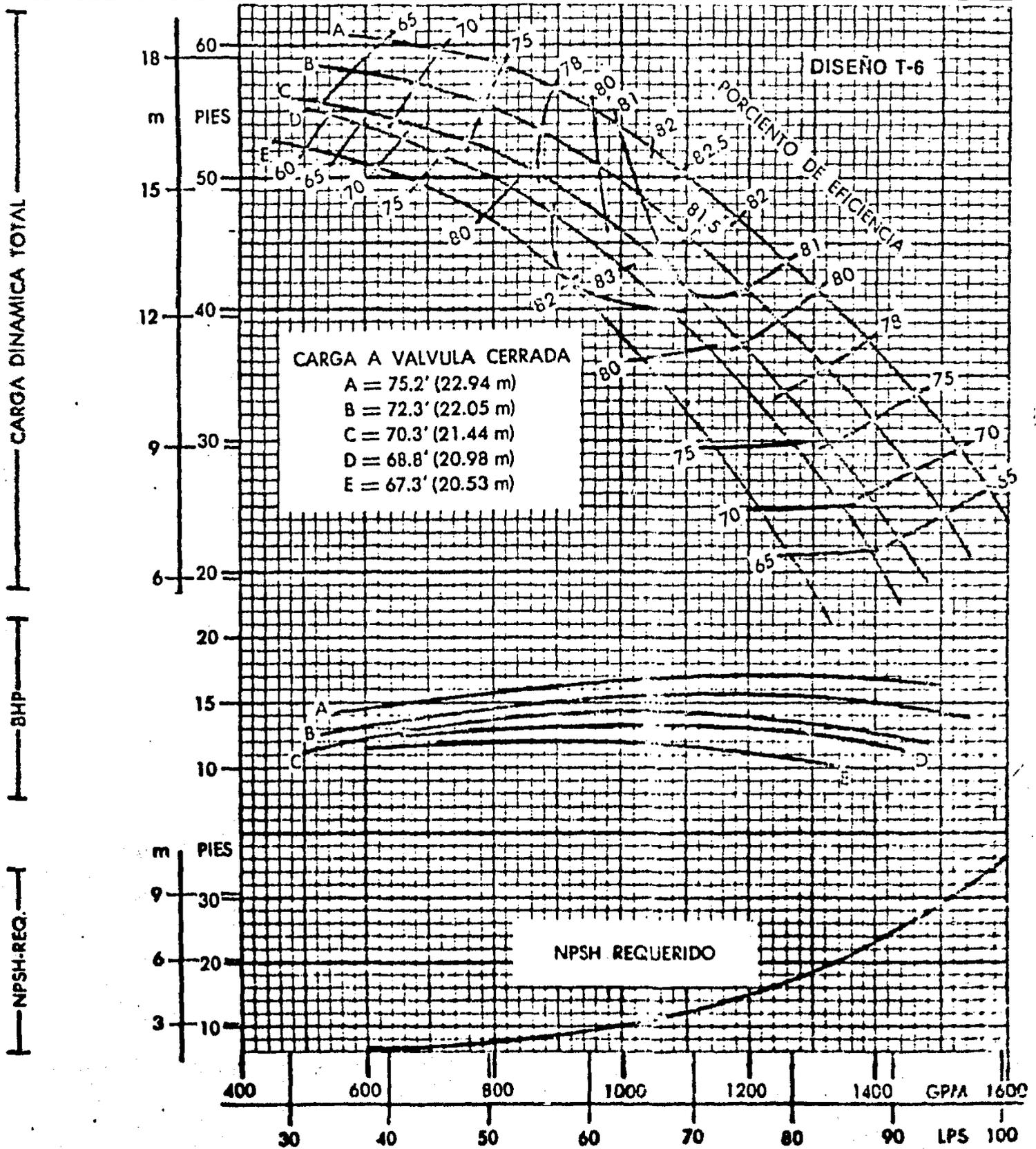


FIG. 5-1

NUMERO MAXIMO DE IMPULSORES PARA EL EQUIPO DE TAZONES

MODELO	RPM							
	3600	3000	1800	1500	1200	1000	900	750
10" XLC			18	26	32	32		
10" LC			15	21	32	32		
10" MC			10	14	23	32		
10" HC			9	13	21	31		
12" LC			10	15	24	26		
12" MC			8	13	20	24		
12" HC			6	9	15	22		
14" LC			5	8	17	19		
14" MC			5	7	11	17		
13" HC			4	7	11	16	20	

TABLA No. 5-2

Ø DE FLECHA	CABALLAJE PERMISIBLE A UNA VELOCIDAD DE:									EMPUJE TOTAL EN LIBRAS.
	3500	2900	1760	1460	1170	960	880	700	580	
3/4"	38.0	31.5	18.0	15.7	12.5	10.2	9.3	7.6	6.3	2030
1"	96.0	79.5	48.0	39.5	31.7	26.0	23.5	19.2	15.8	3780
1-3/16"	163	135	81.5	67.0	53.0	44.5	40.0	32.4	27.0	5400
1-7/16"	290	241	145	121	96.0	80.0	72.0	58.0	48.0	7900
1-11/16"	530	440	265	220	175	144	130	106	87.5	11700
1-15/16"	740	610	365	305	242	202	181	147	121	14700
2-3/16"		900	545	455	360	300	270	220	181	19200
2-7/16"		1290	780	645	515	430	385	313	257	24400
2-11/16"			1060	890	700	580	525	430	355	30000
2-15/26"			1400	1170	930	770	690	565	465	36200

TABLA No. 5-3

cha deberá soportar esta potencia a la velocidad de operación de la bomba, en la tabla No. 5 - 3 , se verá las RPM y la potencia, con lo que se conoce el diámetro de la flecha, en nuestro caso será de 3.65 cm (1 7/16") que soporta hasta 145 HP.

f).- SELECCION DE LA COLUMNA DE BOMBEO.- Se determina en función del gastb y del valor mínimo de las pérdidas por fricción, con el diámetro de la flecha seleccionada y el gasto expresado en GPM,, se selecciona el diámetro de la columna en la tabla No. 5 - 4 , para este caso será de 20.3 cm (8") con 5.0 m. de pérdida por fricción por cada 100.00 m. que corresponde al 5% que se había fijado de antemano, por lo que la carga dinámica total real será de 32.0 m, si se hubiera seleccionado otro diámetro de tubo (independiente-mente del costo), por ejemplo: de 25.4 cm (10"), las pérdidas de fricción serían menores y se modificaría la CDT. que sería en este caso menor, por lo que también se modifica la carga por impulsor, se consulta nuevamente la gráfica con la carga real y se modifica en algunos casos el recorte al impulsor, puede variar también la eficiencia y consecuen-
--- temente la potencia.

g).- PERDIDAS DE POTENCIA EN LA FLECHA.- Tomando en cuenta que existen pérdidas por fricción en la flecha que transmite la potencia del motor a los impulsores, éstos se obtienen de la tabla No. 5 - 5 , donde con el diámetro de la flecha y las RPM, se ve para este caso que es de 1.21 HP

PERDIDAS DE FRICCIÓN EN COLMNA Y FLECHA POR CADA 100M.

DIAMETRO	C A P A C I D A D E N G A L O N E S P O R M I N U T O													
	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
8 x 3/4						0.97	1.08	1.33	1.60	1.91	2.23	2.59	2.96	3.37
8 x 1					0.98	1.10	1.30	1.60	1.90	2.20	2.60	3.00	3.50	3.90
8 x 1 3/16	0.92	1.10	1.28	1.48	1.70	1.93	2.17	2.70	3.22	3.85	4.50	5.20	5.95	6.80
8 x 1 7/16	1.01	1.20	1.40	1.62	1.86	2.12	2.39	2.98	3.55	4.25	5.00	5.75	6.60	7.00
8 x 1 11/16	1.10	1.30	1.52	1.77	2.03	2.30	2.60	3.25	3.90	4.65	5.45	6.30	7.20	8.20
8 x 1 5/16	1.50	1.80	2.10	2.45	2.80	3.20	3.60	4.50	5.40	6.40	7.50	8.80	9.98	
8 x 2 3/16	2.20	2.60	3.05	3.55	4.10	4.60	5.20	6.40	7.80	9.40				
8 x 2 7/16	3.00	3.50	4.15	4.80	5.50	6.20	7.00	8.60						

TABLA 5-4

PERDIDA DE POTENCIA EN H.P POR CADA 30.4 M.

DIAMETRO DE FLECHA	R			P			M.		
	3.500	2.900	1.770	1.460	1.170	.960	.880	700	580
3/4"	.70	.60	.35	.30	.24	.20	.18	.15	.12
1"	1.18	.99	.60	.50	.39	.33	.29	.24	.20
1- 3/16"	1.68	1.42	.86	.72	.57	.47	.43	.35	.29
1- 7/16"	2.10	1.75	1.21	1.05	.80	.66	.60	.49	.40
1- 11/16"	2.82	2.35	1.59	1.33	1.05	.88	.79	.54	.53
1- 15/16"	3.61	3.06	2.03	1.71	1.34	1.12	1.02	.83	.67
2- 3/16"		3.92	2.60	2.18	1.72	1.44	1.29	1.05	.86
2- 7/16"		4.77	2.85	2.38	1.88	1.67	1.41	1.15	.94
2- 11/16"			3.42	2.91	2.28	1.91	1.72	1.40	1.14
2- 15/16"			4.08	3.52	2.76	2.30	2.05	1.67	1.38

TABLA 5-5

TAMAÑO DE BOMBA	FACTOR DE EMPUJE HIDRAULICO K	FACTOR POR PASO K _a
4 L C	1.2	2.0
4 M C	1.2	2.0
10 M C	9.3	11.3
10 H C	10.6	11.3
12 L C	13.2	18.0
12 M C	13.4	18.5
12 H C	15.5	19.5
14 L C	17.6	24.0
14 M C	18.5	30.0
14 H C	21.5	24.5
16 L C	19.5	34.5

FACTOR POR COLUMNA	
DIAMETRO DE FLECHA(PULG)	PESO (W) lb / pie
3/4	1.6
1	2.8
1- 3/16	4.0
1- 7/16	5.8
1- 11/16	8.1
1- 15/16	10.6
2- 3/16	13.6
2- 7/16	17.0
2- 11/16	21.0
2- 15/16	25.0

TABLA 5-6

por cada 30.4 m.

$$\text{Pérdida de potencia hHP} = \frac{82.35 \times 1.21}{30.40} = 3.27 \text{ HP}$$

por lo que a la potencia teórica que se calculó anteriormente se debe de agregar 3.27 HP., consumo total $100 + 3.27 = 103.27 \text{ HP}$.

h).- ALARGAMIENTO RELATIVO DE LA FLECHA.- Se recomienda efectuar este cálculo en los equipos de bombeo cuya longitud de columna sea mayor de 76.0 m ó cuando la carga dinámica total sea mayor de 91.0 m, ya que cuando un equipo de bombeo esta en operación sus flechas se alargan debido al empuje hidráulico, se debe calcular, este alargamiento para compensarlo y permitir el juego axial requerido por los tazones, evitando que rocen los impulsores y se desgasten, lo que ocasiona un aumento de potencia.

Para obtener la elongación de la flecha se emplea la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{\text{CDT} \times k_t \times L_f \times 12}{E \times A_f}$$

donde:

δ = ELONGACION EN PULGADAS

CDT = CARGA DINAMICA TOTAL EN PIES.

k_t = FACTOR DE CARGA HIDRAULICA AXIAL lb/ft.

L_f = LONGITUD DE LA FLECHA EN PIES.

12 = CONSTANTE

E = MODULO DE JOUNG

A_f = AREA DE LA FLECHA EN PULG².

por lo que tenemos:

$$C.D.T. = 82.0 \text{ m} = 269 \text{ ft}$$

$$Kt = 13.4 \quad \text{Ver tabla No. 5 - 6}$$

$$Lf = 82.35 \text{ m} = 270 \text{ ft.}$$

$$E = 29.4 \times 10^6$$

$$Af = 1 \frac{7}{16} \text{'' } \phi = 1.62 \text{ pulg.}^2$$

sustituyendo valores tiene:

$$\delta = \frac{269 \times 13.4 \times 270 \times 12}{29.4 \times 10^6 \times 1.62} = \frac{11.6 \times 10^6}{47.6 \times 10^6}$$

$$\delta = 0.24 \text{ pulg.} = 6.0 \text{ mm.}$$

En la tabla No. 5 - 7 , se observa que el impulsor modelo 12 MC, tiene una elongación hasta de 0.562 pulg = 14mm, como 6mm < 14 mm, lo que indica que el diámetro de la flecha seleccionada en la adecuada.

i).- SELECCION DEL MOTOR ELECTRICO.- En el paso No. g se calculó un motor con 103.27 HP en virtud de que comercialmente no se encuentran motores con esta capacidad, se escogerá el motor eléctrico inmediato superior, que en este caso será el de 125 HP, que trabajará a una velocidad de 1760 rpm, 440 volt, 4 polos, tres fases, a prueba de goteo y con trinquete de no retroceso,

j).- EMPUJE TOTAL DE LA BOMBA.- Para verificar que los baleros de carga del motor eléctrico soportarán el empuje total de la bomba, se calculará este valor que es la suma del empuje hidráulico más la carga estática.

$$ET = (Kt \times CDT) + (W \times S) + (Ka \times \text{No. pasos})$$

$$(Kt \times CDT) = \text{Empuje hidráulico}$$

$$(W \times S) + (Ka \times \text{No. pasos}) = \text{Carga estática}$$

JUEGO AXIAL PERMITIDO POR LOS TAZONES

MODELO TAZON	ALARGAMIENTO PERMITIDO EN PULGADAS
10 LC	0.375
10 MC	0.312
10 HC	0.375
12 LC	0.500
12 MC	0.562
12 HC	0.500
14 LC	0.625
14 MC	0.437
14 HC	0.375

TABLA No. 5-7

HP	R. P. M.	ARMAZON	MODELO	Ø BASE PULG.		EMPUJE AXIAL (LBS)
				NORMAL	ALTERNATA	
100	1500/1800	A 445 UP	44KA104PX	20	16 ½	5 500
125	1500/1800	A 445 UP	44KA122PX	20	16 ½	6 300
150	1500/1800	A445 UP	44KA154PX	20	16 ½	6 900

TABLA No. 5-8

MODELO DE CABEZA	DIFERENTE Ø BRIDA EN PULG.	DE COL. PGS		Ø ESTOPERO PGS		LONG. COL. EN PIE
		MAX	MIN	MAX	MIN.	
20 X 8	8, 6, 5	8	5	1-15/16	1-3/16	375
20 X 10	10, 8	10	8	1-15/16	1-3/16	450
20 X 12	12, 10	12	10	2-3/16	1-3/16	475

TABLA No. 5-9

Kt= Factor de carga hidráulica en lb/ft.

CDT= Carga dinámica total en pies.

W = Peso de la flecha en lb.

S = Longitud de la columna en pies.

Ka = Factor por paso en lb/ft.

Por lo que:

$$CDT = 82.0 \text{ m} = 269 \text{ ft.}$$

$$Kt = 13.4 \text{ lb/ft}$$

$$W = 5.8 \text{ lb}$$

$$S = 82.35 = 270 \text{ ft}$$

$$Ka = 18.5 \text{ lb/ft}$$

$$\text{No. de pasos} = 6.0$$

sustituyendo valores se tiene:

$$E.T = (13.4 \times 269) + (5.8 \times 270) + (18.5 \times 6)$$
$$E.T. = 5282 \text{ lb.}$$

Este valor es menor al que soporta el balero de carga con que se surten estos motores y que resiste un máximo de 6300 lb., ver tabla No. 5 - 8 , lo que demuestra que la selección del motor es correcto.

h).- SELECCION DEL CABEZAL DE DESCARGA.- La selección del cabezal se hace en función del diámetro de la base del motor, del diámetro de la columna seleccionada, del diámetro de la flecha y que no rebase el límite de longitud de columna que por especificación soportan, ver tabla No. 5 - 9 y como , para el ejemplo se tiene que el diámetro de la base del motor es de 50.8 cm (20") y el diámetro de la

tubería de columna es de 20.3 cm (8"), de la flecha es de 3.6 cm (1 7/16") se tendrá un cabezal modelo 50.8 x 20.3 cm. ó sea 20" x 8", este cabezal soporta hasta 137.0 m (450') de columna, lo que indica que esta correctamente seleccionado ya que $82.35 < 137.0$ m.

De esta forma se ha seleccionado el equipo de bombeo adecuado a las condiciones de servicio y que está integrado de lo siguiente:

- 1 Motor eléctrico de 125 HP.
- 1 Cabezal de descarga modelo 50.8 x 20.3 cm (20" x 8")
- 27 Tramos de columna de bombeo de 20.3 x 3.6 cm. (8" x 1 7/16") completa, incluye chumaceras y portachumaceras.
- 83 M. de tubo PVC de 25.4 cm (1") de diámetro
- 1 Primer tazón modelo 12 MCA
- 5 Tazones adicionales modelo 12 MCA.
- 1 Tubo de succión de 20.3 cm. (8") y 3.05 m de long.
- 1 Colador cónico galvanizado de 20.3 cm (8")

Datos para la sección de Equipo de Bombeo: Sumergible.

NE = 56.0 m	Prof. pozo 200.0 m
ND = 72.0 m	Diámetro del ademe 40.6 cm (16")
Q = 76.0 lps.	Fuerza motriz: eléctrica

Selección del equipo de bombeo sumergible: para la selección del equipo, es necesario ayudarse de las curvas y tablas que proporciona cada fabricante de los equipos de bombeo, enseguida se presenta el ejemplo:

a).- $CDT = ND + hf \text{ columna} + CA + hf \text{ adicional}$

para calcular la pérdida de fricción en la columna se necesi-

ta conocer su longitud por lo tanto se procede de la siguiente manera:

Long. Col. = ND + sumergencia

Se considerará de sumergencia 3 tramos para abatimientos futuros.

LC = 72.0 + 9.15 = 81.15 m 27 tramos de columna de 3.05 m. cada uno 82.35 m, considerando diámetro de 20.3 cm (8") y con el gasto, se verá en la tabla No. 5 - 10 , se tiene

$$\text{una } hf = 2.95 \frac{2.95}{100} \times 82.35 = 2.43 \text{ m}$$

considerando 4.50 m de carga adicional incluyendo las pérdidas por fricción se tiene que : CDT = 72.0 + 2.43 + 4.50 = 78.93 m. #.

b).- SELECCION DE LA BOMBA.- Con el Q=76 lps. y la CDT=79.0 m, se verá en la tabla No. 5 - 11 , de la cual se tiene el siguiente equipo. BPT 466/ 2a1 + NB1503 diámetro de la bomba 25.4 cm (10") que es menor al diámetro del ademe, ver tabla No. 5 - 12 , 25.4 cm (10") 40.6 cm (16"), en la misma tabla se ve que el diámetro de la descarga es de 20.3 cm (8"), por lo que es del mismo diámetro de la columna, de la misma tabla:

Longitud de la bomba = 93.0 cm.

Longitud del tazón adicional = 17.5 cm

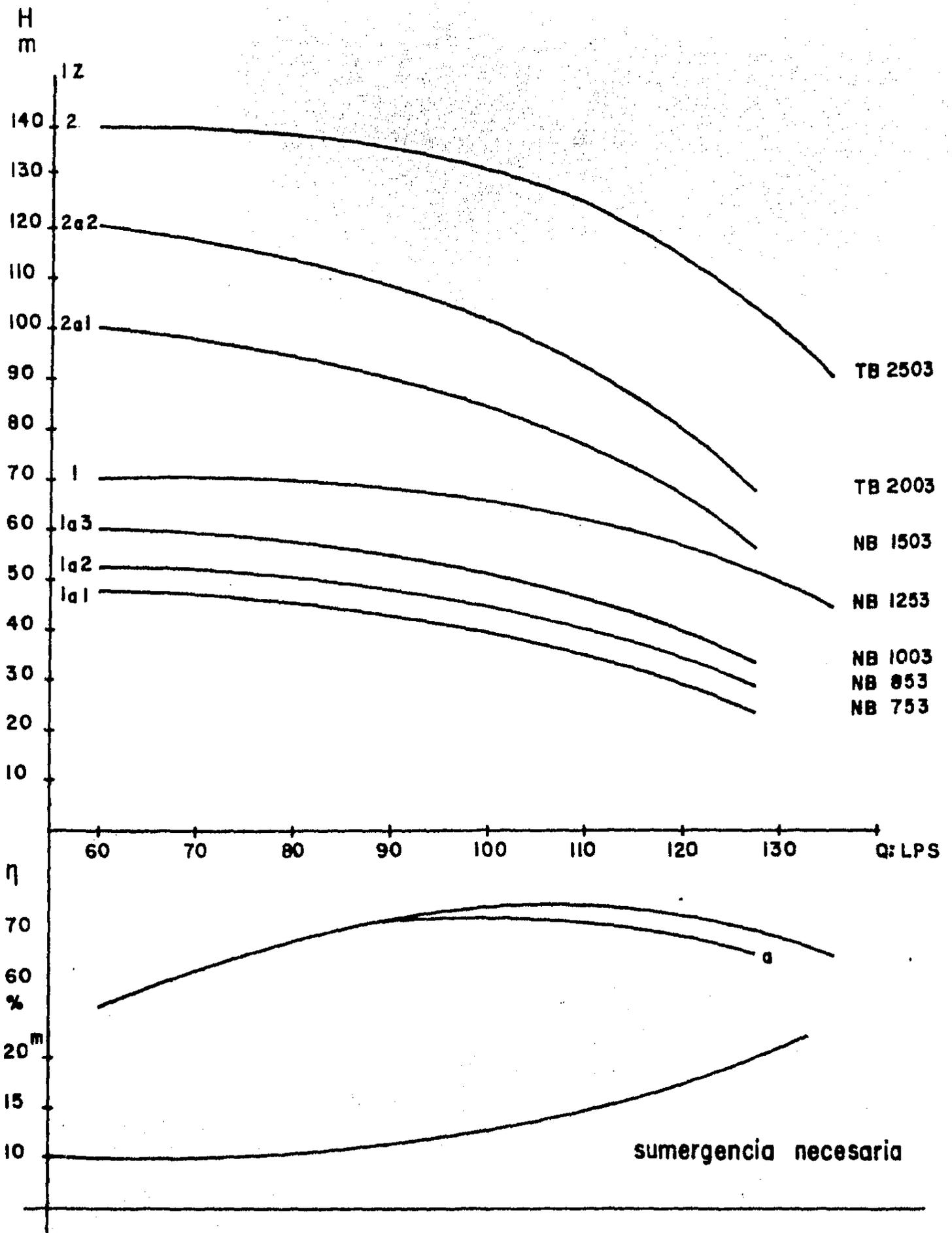
T O T A L 93.0+17.5 = 110.5 cm = 1.10 m

Características del motor: en la tabla No. 5 - 13

Modelo NB 1503

Potencia 150 cp.

Volt 440



Nº maximo de tozones
2

3500 rpm

BPT 466

5- II

BOMBAS EN EJECUCION STANDAR

BOMBA CON 1 TAZON, CHECK
Y CUERPO DE SUCCION

CADA TAZON ADICIONAL

MODELO	Ø EXT. SIN CABLE	Ø MIN. ADEME	Ø DESCARGA	PESO APROX. -- KG.	ALTURA APROX. mm.	PESO APROX. KG.	ALTURA APROX. mm.
BPH384	186	8"	5"6 6"	47"8 51"	640	10,9	130
BPN425	225	10"	6"	77,1	760	17,6	160
BPT	255	12"	8"	92,4	930	25,8	175

TABLA 5-12

MOTORES TRIFASICOS EN EJECUCION STANDARD SIN CABLE.
220 6 440 Volts 50 6 60 Ciclos:

MODELO	POTENCIA CP	Ø EXTERIOR APROX. mm.	LARGO -- APROX. mm.	PESO APROX. KG	LLENADO DE AGUA APROX LTS.
NB 1003	100	245	1652	304	22
NB 1253	125	245	1732	428	23
NB 1503	150	245	1852	484	25

TABLA 5-13

MODELO	NB								
TAMAÑO	413	503	623	753	853	1003	1253	1503	
POTENCIA	HP	41	50	62	75	85	100	125	150
	KW	30	36,8	45,5	55	62,5	73,5	92	110
EMPUJE AXIAL ADMISIBLE KG	1130	1130	1610	1610	1610	2460	2460	2460	
CORR. NON. 60 CICLOS	56	67,5	84	100	113	125	156	186	

TABLA 5-14

Ciclos 60

Longitud 1.85 m.

La longitud total del equipo de bombeo es:

Bomba = 1.10 m

Motor = 1.85 m

2.95 m

c).- SELECCION DEL CABLE.- La longitud del cable será igual a:

L. cable = L columna + L bomba + L exterior para conexiones,
etc.

L. cable = 82.35 + 1.10 + 6.00

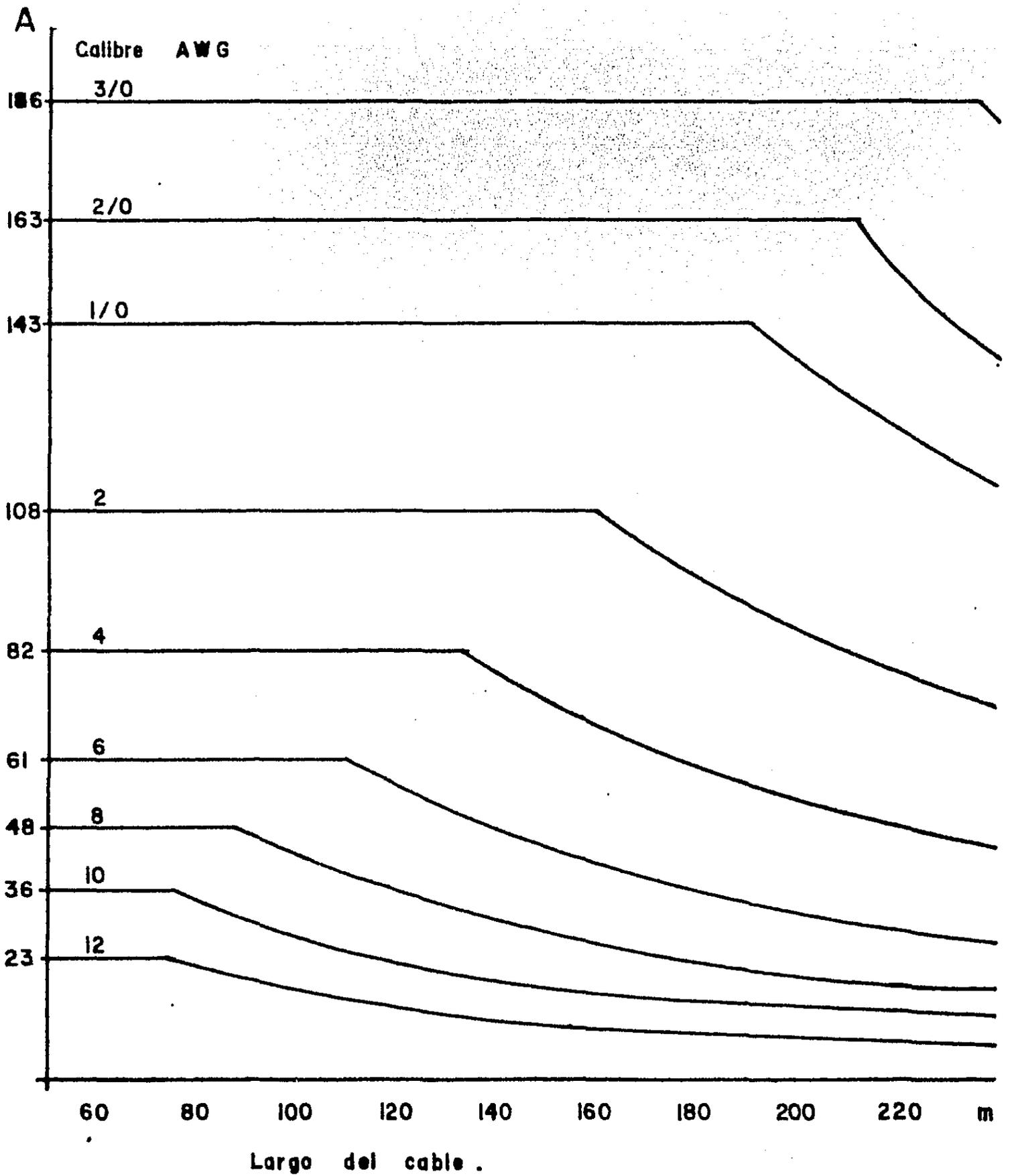
L. cable = 89.45 $\hat{=}$ 90.00 m.

con auxilio de la tabla No. 5-14 , con el modelo del motor NB1503, 440 volt, y 60 ciclos se tiene la intensidad de I=186 amperes.

Con este dato y la longitud de 90.0 m, se ve en la gráfica No. 5 - 15 , y se conocerá el diámetro del cable que en este caso será del calibre 3/0.

En conclusión las partes del equipo de bombeo sumergible y sus accesorios correspondientes son:

Bomba vertical tipo sumergible marca KSB, modelo BPT466/2a1 +NB1503, 90.00 m de cable submarino tripolar calibre AWG No/ 3/0, 1 válvula check acoplada a la bomba, 83.00 m de tubo PVC de 2.5 cm (1"), 82.35 m. de tubería de 20.3 cm (8") con sus respectivos coples, cédula 40 y en 27 tramos de 3.05 m de longitud, 27 amarres para cable submarino, 1 codo de 90° de 20.3 cm. (8"), 1 abrazadera de 20.3 cm (8") para soportar a la bomba, 1 mufa completa para conexión de cables.



440 V. CABLE

5 - 15

CONDICIONES DE SERVICIO:

GASTO	76.0 lps.
CARGA DINAMICA TOTAL	79.0 m.
VELOCIDAD	3500 r.p.m.
FRECUENCIA	60 c.p.s.
VOLTAJE	440 volt
POTENCIA DEL MOTOR	150 c.p.

C A P I T U L O V

REHABILITACION DE POZOS.

Los pozos como toda obra de ingeniería necesitan de mantenimiento adecuado y regular, para obtener un alto nivel de funcionamiento y una máxima vida útil, como es una obra que no se vé, en nuestro medio casi siempre se presta muy poca atención a los pozos, después de su terminación hasta que los problemas alcanzan nivel de crisis, la importancia de un programa de mantenimiento para la prevención, descubrimiento y corrección oportuna de los problemas, no puede decirse que se esta exagerando ya que a largo plazo resultarán de gran beneficio, la magnitud del mantenimiento que requiera un pozo depende de su calidad de diseño, de la construcción del pozo, de los materiales empleados, de la forma de la operación y de las condiciones locales, siendo más frecuente el mantenimiento cuanto peores sean estas variantes.

5.1 FACTORES QUE AFECTAN EL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL POZO.

Los factores que afectan el buen funcionamiento del pozo son numerosos, dejando a un lado la mala localización del pozo y dando por hecho que ésta es adecuada, enseguida se enunciarán las causas por las que un pozo puede resultar ineficiente, se mencionarán las más comunes sin considerar su orden de frecuencia que varían de región a región y de pozo a pozo.

- a).- MUESTREO INADECUADO.
- b).- AFORO MAL REALIZADO O MAL INTERPRETADO
- c).- EQUIPO DE BOMBEO MAL SELECCIONADO
- d).- LODOS INADECUADOS
- e).- FALTA DE DESARROLLO
- f).- FILTRO GRANULAR MAL COLOCADO
- g).- ADEME MAL COLOCADO

- h).- MATERIALES DEFECTUOSOS
- i).- FALTA DE VERTICALIDAD
- J).- AGUAS INCRUSTANTES
- k).- AGUAS CORROSIVAS
- l).- ABATIMIENTO DE LOS NIVELES FREATICOS

MUESTREO INADECUADO.- Los muestreos no representativos de la formación atravezada durante la perforación, ocasiona un mal diseño.

AFORO MAL REALIZADO O MAL INTERPRETADO.- Si una prueba de aforo no alcanza el caudal óptimo de explotación del pozo y en función de él se selecciona el equipo de bombeo, este subexplotará al pozo, en este caso no tendrá problemas, salvo que se está extrayendo mens caudal de la que el pozo puede proporcionar en forma adecuada, si por el contrario el punto óptimo ha sido rebasado y se selecciona una bomba excedida al pozo, si el acuífero no es muy potente, pronto será abatido el nivel dinámico y la bomba extraera aire.

EQUIPO DE BOMBEO MAL SELECCIONADO.- Como una regla general se selecciona el equipo de bombeo definitivo, con el 80% del gasto máximo de explotación.

LODOS INADECUADOS.- Cuando la perforación del pozo se realiza con una máquina rotaria directa, es indispensable el empleo de lodos bentoníticos, se debe tener cuidado que no impermeabilice las paredes de la formación, pues en caso contrario se tendrá un pozo produciendo menos caudal del que puede proporcionar.

FALTA DE DESARROLLO.- El desarrollo del pozo debe efectuarse inmediatamente después de su terminación, y su finalidad es eliminar los resíduos de bentonita y los finos del acuífero.

FILTRO GRANULAR MAL COLOCADO.- Aún cuando el filtro estuviera bien diseñado, puede ser mal colocado, el defecto de colocación puede ser

un vertido demasiado lento, que permita que el filtro se clasifique en tamaños de material grueso, medio y fino, en cambio si la colocación es demasiado rápida y si el espacio anular es reducido, se puede puentear el resultado de la mala colocación del filtro será la entrada de materiales finos al pozo.

ADEME MAL COLOCADO.- Los problemas más comunes de la colocación de ademes derivan de los defectos de soldadura, durante el ademado en el punto denominado " orejas " que hace que sea vertido el filtro al pozo poco a poco.

MATERIALES DEFECTUOSOS.- Los materiales empleados afectarán el funcionamiento del pozo, como puede ser el ademe ranurado, filtro y el equipo de bombeo.

FALTA DE VERTICALIDAD.- La falta de verticalidad en la cámara de bombeo, o sea donde será alojado el equipo de bombeo, afectará a este si es de tipo turbina, ya que la flecha acortará su vida útil, así como las chumaceras.

AGJAS INCRUSTANTES.- Las incrustaciones consisten en la depositación de iones por el agua , los más frecuentes son el carbonato de calcio y minerales de hierro, que pueden obstruir la abertura del cedazo.

AGUAS CORROSIVAS.- Este fenómeno actúa contra el ademe y puede agrandar las ranuras del cedazo, permitiendo la entrada de finos al pozo.

ABATIMIENTO DE LOS NIVELES FREATICOS.- La sobre explotación regional del acuífero implica descenso del nivel freático original, y consecuentemente la disminución del caudal.

De las causas expuestas anteriormente, se observa que el principal problema es el arrastre de finos al pozo, o sea el azolve dentro del pozo, la forma de extraer este azolve se realiza de diferentes formas y serán enunciadas las más utilizadas como son:

- a).- Por bombeo.
- b).- Desazolve con aire comprimido.
- c).- Desazolve con cuchara.
- d).- Desazolve con hielo seco.

Estos métodos serán tratados má adelante en lo que se refiere a rehabilitación del pozo.

5.2 La rehabilitación del pozo es el conjunto de actividades, que se ejecutan, encaminadas a mejorar su caudal de explotación, respecto a la condición inicial de los trabajos, prolongar la vida útil del pozo, y la combinación será el caso ideal.

Para efectuar los trabajos de rehabilitación del pozo se deberá considerar lo siguiente, el pozo se encuentra trabajando generalmente cumpliendo las necesidades vitales de la población, se habla aquí de un pozo para abastecimiento de agua potable, ésta será la razón primordial por lo que la rehabilitación se haga en un mínimo de tiempo, y antes de parar el equipo de bombeo se deberá conocer, si se tienen o no problemas en la introducción del equipo para la rehabilitación del pozo, si hubiera, se procederá a quitar los obstáculos, que pueden ser, cercas, muros, bases generalmente de concreto, en algunos casos se harán terraplenes, excavaciones, etc.

RECOPIACION DE DATOS: Conviene contar con la mayoría de datos

A continuación se describirá brevemente cada una de las actividades mencionadas anteriormente.

MEDICIONES PREVIAS.

Esta prueba es de singular importancia, porque con ella se precisa tanto el funcionamiento real del pozo, como del equipo de bombeo y dará base para comprender lo que sucede en los pasos sucesivos de rehabilitación y su operación posterior, que por comparación se sabrá con seguridad y en que medida puede mejorar la operación del pozo.

La curva de aforo obtenida servirá de referencia al compararla con la que se obtenga en el aforo después de la rehabilitación y cuando el pozo quede operando definitivamente.

Del equipo de bombeo, debe analizarse, su funcionamiento real, gráficamente las cargas dinámicas totales (C.D.T.) contra los gastos correspondientes, con lo cual se determina por comparación con la curva teórica, como está trabajando y si se puede mejorar en caso de que su funcionamiento sea deficiente.

LOS PUNTOS QUE INTERESAN:

Esta prueba tiene como objeto principal como está funcionando realmente el pozo, es decir que gasto está extrayendo y en que condiciones. También para conocer como está trabajando el equipo de bombeo.

Resulta en esta prueba, muy fácilmente llegar a conocer el gasto máximo que se puede extraer con el mismo equipo de bombeo instalado. Y en estas condiciones se pueden interpolar con bastante precisión dos puntos de funcionamiento intermedios, uno entre el gasto máximo y el de operación y el otro entre el gasto nulo y el de ope-

del pozo por rehabilitar como son: Los geométricos, hidráulicos, mecánicos y eléctricos y se anotarán en un expediente, que permanecerá en el pozo.

Actividades desarrolladas en la rehabilitación del pozo, éstas se -- mencionan de manera general ya que en un pozo puede no hacerse todas las actividades aquí anunciadas, sin embargo se enlistan las siguientes:

- a).- Mediciones Previas.
- b).- Desinstalación del equipo de bombeo.
- c).- Sondeos.
- d).- Calibración.
- e).- Impresiones.
- f).- Desazolve.
- g).- Corrida de cámara de televisión.
- h).- Pescas.
- i).- Encamisado.
- j).- Profundización.
- l).- Cementación
- ll) + Trompeo
- m) + Cepilleo.
- n.) + Pistoneo y dispersor de arcillas.
- ñ.) + Registro de verticalidad..
- o).- Colocación de la tapa d/brocal del pozo.
- p).- Aforo del pozo rehabilitado .
- k).- Instalación del equipo de bombeo.
- r).- Abandono del pozo.

ración. Finalmente cerrando totalmente la válvula se puede conocer la presión máxima que da la bomba.

La prueba en sí se lleva a cabo midiendo, la presión, nivel de bombeo, voltaje entre fases y la intensidad de la corriente, tal y como está el pozo operando, sin alterar absolutamente nada.

Estas lecturas ó medidas, servirán posteriormente para localizar el punto en que el pozo está operando en el gasto de explotación.

La forma generalizada para medir los gastos, consiste en lo siguiente: desconexión de la bomba y sus líneas eléctricas de la caja de conexiones del motor. Levantar todo el equipo de bombeo incluyendo el motor, girarlo lo suficiente para que la descarga dé en dirección tal que al conectársele una línea apropiada de antemano, se pueda medir el gasto mediante el sistema conocido de orificio calibrado y se pueda variar también el caudal con una válvula adecuada. Esta línea deberá de ser del diámetro y longitud apropiada para llevar a cabo esta prueba.

La prueba se puede iniciar poniendo en operación el pozo, buscando obtener el gasto máximo, después el puesto de operación, en donde deberán coincidir las lecturas obtenidas antes de desconectar la descarga de la bomba. Determinar los puntos intermedios del gasto de operación y el máximo por un lado y por el otro con el gasto nulo. Variar la válvula hasta alcanzar el gasto que resulte los dos puntos intermedios y finalmente, cerrar la válvula y medir la presión máxima, con los datos de esta prueba construir en el mismo papel las curvas de funcionamiento del pozo (Curva de Aforo) y

del equipo de bombeo.

Cuando se conozca la bomba que está instalada y sus características específicas, con el catálogo comercial correspondiente, se podría construir la curva teórica de funcionamiento de la bomba y en estas condiciones se podrá saber en que condiciones se encontraba la bomba instalada originalmente.

Al final de la rehabilitación y con la curva de aforo que se obtenga se podrá saber el resultado de la rehabilitación y finalmente, cuando el pozo se ponga en operación se sabrá en que condiciones queda operando.

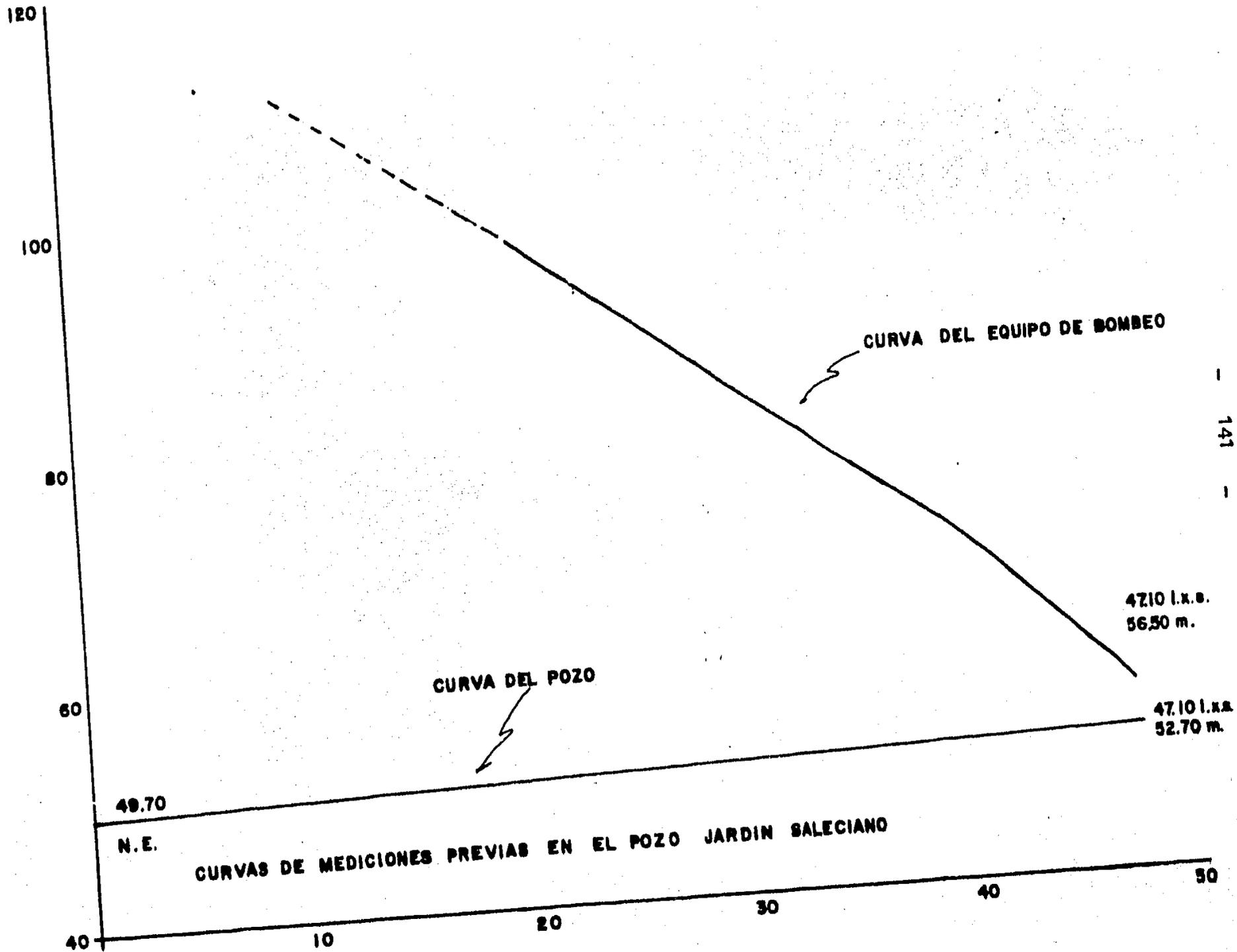
Enseguida se presenta un ejemplo de mediciones previas, en el cual no fue necesario la rehabilitación del pozo, ya que de los datos obtenidos con esta prueba, se vió que tanto el pozo como el equipo de bombeo estaban trabajando normalmente.

DESINSTALACION DEL EQUIPO DE BOMBEO.

Una vez realizadas las mediciones previas en el pozo, se procede a la desinstalación del equipo de bombeo, en esta actividad se anotarán las características del equipo de bombeo, motor, cabezal, columna y demás en una forma similar a la mostrada en la tabla No.5-2 el equipo debe ser revisado y rehabilitado, si así lo requiere.

SONDEOS.

Consiste en el reconocimiento físico del azolve en el pozo, con la finalidad de conocer su profundidad total, como ya se conoce el diámetro del ademe, generalmente se emplea para sondear al pozo a la herramienta conocida como cuchara.



INFORME DEL EQUIPO

POZO: _____ FECHA: _____

MOTOR: _____ CUERPO DE TAZONES: _____

MARCA: _____ MARCA: _____

POTENCIA: _____ MODELO: _____

SERIE: _____ SERIE: _____

VELOCIDAD: _____ DIAMETRO: _____

CABEZAL DE DESCARGA: _____ NUMERO DE PASOS: _____

MARCA: _____ CURVA DEL IMPULSOR: _____

MODELO: _____ IMPULSORES: _____

SERIE: _____ COLADOR: _____

TAMAÑO: _____ TIPO: _____

DIAMETRO COLUMNA: _____ DIAMETRO: _____

DIAMETRO DESCARGA: _____ LONGITUD: _____

FLECHA SUPERIOR: _____ CAMARA DE BOMBEO: _____

LONGITUD: _____ DIAMETRO DEL ADEME: _____

DIAMETRO: _____ NIVEL ESTATICO: _____

COLUMNA: _____ NIVEL DINAMICO: _____

LUBRICACION: _____ GASTO: _____

DIAMETRO COLUMNA: _____ CARGA DINAMICA TOTAL: _____

DIAMETRO FLECHA: _____ PROFUNDIDAD: _____

LONGITUD: _____

DIAMETRO CAMISA: _____

NUMERO DE TRAMOS: _____

OBSERVACIONES: _____

CALIBRACION.

Si en el reconocimiento anterior se tuvo atorones de la cucha ra, se realiza la calibración la cual tiene como finalidad medir el ó los diámetros de los ademes instalados en el pozo ya que algunos tienen ademes de 40.6 cm (16") en la parte superior y de 20.3 cm (8") en la parte inferior, esta actividad se ejecuta mediante tramos de tubería generalmente de 6.0 m de largo y de diámetro de 5.08 (2") menor que el ademe instalado en el pozo como máximo, que serán bajados por el interior del ademe, como se puede entender, se tendrá que realizar dos, tres ó más calibraciones de diferentes diámetros, en función de los ademes que se encuentren instalados, se deberá de anotar en los registros diarios, así como en la bitácora las profundidades de los cambios de diámetros, los tubos que se emplearán para calibrar el po zo, no deben de estar ovalados ya que difícilmente bajarán por el in terior del ademe a calibrar.

IMPRESIONES.

La función primordial de la impresión es la información que proporciona de los objetos que se encuentren en el pozo como pueden ser, partes del equipo de bombeo, rotura de ademe, herramienta ó inclusive del azolve, esta información y su interpretación será de vital importancia para el diseño del pescador a emplear, para sacar el objeto del pozo, el impresor consiste en una placa cilíndrica ligeramente inferior que el diámetro del ademe donde se desea la información, y que en su parte inferior lleva adherida una capa gruesa de material moldeable como puede ser jabón o plastilina, que al presionar contra el fondo se marque en él huellas suficientes y bien definidas para su correcta interpretación, se debe tomar muy en cuenta

que solo una vez se hará presión para sacar la impresión, si no fue tomada correctamente se volverá a realizar, en esta parte solo se mencionará la cámara de televisión que será de utilidad para conocer los obstáculos en el pozo, más adelante se tratará este tema.

DESAZOLVE.

La función del desazolve del pozo es lograr la limpieza completa hasta el fondo, extrayendo toda clase de material extraño que se encuentre en su interior. Existen varias formas de realizar el desazolve del pozo, dentro de los más conocidos son los siguientes:

- a).- Por bombeo.
- b).- Con cuchara.
- c).- Con aire comprimido
- d).- Con hielo seco.

DESAZOLVE POR BOMBEO.

Esta forma de desazolvar el pozo ya fue comentado en el capítulo de aforo del pozo, mediante el desarrollo del mismo, por lo que aquí ya no será descrito.

DESAZOLVE CON CUCHARA.

La cuchara es una herramienta del equipo de percusión, por lo que implícitamente se debe hacer la rehabilitación con este equipo, el desazolve por cuchareo consiste en lo siguiente, se emplea la cuchara adecuada al diámetro del ademe y en cada ciclo deberá sacar azolve si está muy compacto entonces se debe de auxiliar de la broca de perforación, aflojando el material y desalojándolo con la cuchara, este procedimiento se ejecuta hasta desazolvar completamente el pozo.

DESAZOLVE CON AIRE COMPRIMIDO.

Se basa en el principio de provocar agitaciones en el pozo

mediante descargas de aire comprimido, bombeando el agua con el azolve mediante un sifón se necesita contar con una grua compresor adecuado a la profundidad del pozo, tuberías inyectoras de aire y de descarga, así como mangueras y conexiones, existen tres variantes del método y son:

- i).- Método de pozo abierto.
- ii).- Método de pozo cerrado.
- iii) Método combinado.

METODO DE POZO ABIERTO.- Para este caso la línea de entrada del aire debe ir por el interior de la tubería de descarga y en la parte superior se instalará una junta de estopero que permita mover arriba y abajo el tubo de aire, al iniciar el desarrollo se baja la línea de aire unos 50 cm. bajo la tubería de descarga, se acumula aire en el tanque y se descarga violentamente en el pozo mediante una válvula de paso rápidamente, se repite la operación varias veces, enseguida se levanta la línea de aire un metro y se manda aire para provocar sifoneo que se prolonga hasta obtener agua limpia en la descarga, para que el sistema funcione eficientemente, es recomendable que se tenga una sumergencia adecuada, por sumergencia se entiende a la relación aritmética de la longitud de tubería sumergida en el agua, entre la longitud total de la misma, el cociente multiplicado por cien. La sumergencia siempre será mayor para pequeñas elevaciones del agua y sus rangos varían aproximadamente en la siguiente forma.

ELEVACION DEL AGUA EN METROS	SUMERGENCIA EN %
Hasta 15	67
De 15 a 30	60

De 30 a 60	55
De 60 a 90	50
De 90 a 120	45
De 120 a 150	40

En el inicio del trabajo para romper la circulación se debe disponer de una presión mínima, igual a la columna de agua comprendida entre el nivel estático del pozo y el fondo de la tubería de descarga por ejemplo si se cuenta con un compresor de 150 libras por pulgada cuadrada, solo tendrá capacidad para romper circulación en una tubería que se encuentre a una profundidad de 105 m. bajo el agua para obtener el resultado se procedió de la siguiente forma, la longitud de la tubería debajo del agua expresada en pies y dividida entre una constante de 2.31 así 105 m. es igual a 344.48 ft por lo que: $\frac{344.48}{2.31} = 150 \text{ lb/pulg.}^2$

Se necesita además del compresor en este método un tanque para almacenar aire comprimido.

METODO DEL POZO CERRADO.- La variante en este caso es que se sella la boca del pozo con una tapa a través de la cual pasa el sifón y una línea de entrada de aire adicional, al iniciar los trabajos se manda aire por la línea adicional, acumulando presión en el pozo, con lo cual se deprime el nivel, inyectándose agua al acuífero, a continuación se sifonea extrayéndose el azolve, se repite esta operación hasta que después de la máxima presión que pueda levantar el compresor no se obtenga azolve en el sifoneo, se dará por terminado el trabajo.

METODO COMBINADO.- Este es la combinación de los dos anteriores

pues el pozo va sellado, y además se requiere de un tanque de aire comprimido.

DESAZOLVE CON HIELO SECO.

Es un método que va cayendo en desuso debido a su discutible utilidad aún cuando resulte muy espectacular.

CAMARA DE TELEVISION.

Una vez realizada la calibración y después de haberse tomado las impresiones necesarias, para conocer un problema determinado del pozo, puede hacerse una corrida de cámara de televisión para verificar la magnitud del problema, que ya fue detectado mediante las impresiones, cabe hacer notar que antes que apareciera en el mercado la cámara de televisión se realizaron todas las pescas que se tuvo en los pozos. Por lo que no es la gran panacea que muchos creen, de la estadística tenida de diez corridas efectuadas no se aprecia la imagen en por lo menos cuatro, cuando esto ocurre los argumentos que emplea el propietario de la cámara de televisión es que en el pozo hay demasiado sólidos en suspensión que el agua es demasiado turbia que debía de haberse dejado reposar el pozo cuando menos cuatro días, además el servicio es escaso y caro. Por lo que la industria de la rehabilitación de pozos seguirá contando con los métodos tradicionales., solo que siempre se tendrá cuidado en su interpretación. Y se dice de rehabilitación ya que en la perforación no se emplea.

PESCAS.

Se considera como accidente, si no normal, si frecuente esta actividad en la rehabilitación de pozos, debido que puede caerse al pozo desde parte del equipo de bombeo, hasta herramienta empleada

durante la rehabilitación, así como otros objetos que están dentro del pozo desde antes de realizar la rehabilitación, para poder hacer el pescante, se debe contar con datos que nos proporciona las impresiones y la cámara de televisión si se hiciera la corrida. Se debe reflexionar en que posición se encuentra la herramienta y que procedimiento es el más lógico para el rescate, la tranquilidad, la reflexión aunado a la imaginación, son las armas del buen pescador, la forma de armar la herramienta para pesca ya fue descrito en el capítulo anterior.

ENCAMISADO.

Se denomina encamisado del pozo a la introducción de una tubería dentro del ademe original, ésta actividad se lleva acabo en los pozos en que se haya encontrado roto el ademe y no se tenga otra solución ó en pozos en que no esta ademado la parte inferior, esto siempre y cuando se cuente con suficiente espacio para que sea introducido un ademe de diámetro tal que pueda alojar dentro de él a un equipo de bombeo que cubra las necesidades requeridas, además en el espacio entre ademes de be haber espacio para poder engravar el pozo. Pensando que haya espacio para alojar el ademe, este puede ser de acero ó de P.V.C. esta tubería se encuentra en el mercado liso y ranurado, con el inconveniente de que su resistencia es muy baja, y si se realizará alguna otra rehabilitación en el pozo, con el solo roce de la herramienta se rompe esta tubería, se ha visto los pedazos de tubería que son extraidas de pozos ademados con P.V.C. por lo antes expuesto es preferible emplear tubería de acero., la tubería se hace descender al fondo del

pozo por medio de un soltador, y el engravado se realiza obstruyendo con un trompo la parte superior del ademe interior y se verterá el filtro de grava, cubicando de antemano la cantidad a vaciar, posteriormente se saca el trompo, quedando de esta manera encamisado el pozo.

ENGRAVADO.

En la rehabilitación de pozos, el engravado se hace en el encamisado, como se vió anteriormente, y en la reposición de grava en el transcurso de las actividades que se ejecutan en la rehabilitación.

PROFUNDIZACION.

Cuando la cámara de bombeo no fue bien diseñada ó por abatimientos regionales desciende nivel en el acuífero se tiene por esta causa un pozo agotado, si abajo de la cámara de bombeo se encuentra una tubería que por su diámetro reducido no permite el paso del cuerpo de tazones, capáz de proporcionar el caudal requerido, en estos casos es posible y recomendable extraer la tubería para proceder a la profundización y ampliación del pozo, pero solo con la seguridad de que el ademe superior este firmemente anclado al terreno, sin peligro de romperse o sufrir deslizamientos, otra forma de profundizar el pozo mediante la rehabilitación es cuando el pozo haya quedado corto desde su construcción, por lo que se recomienda profundizarlo.

CEMENTACION.

Cuando en un pozo se detectan roturas pequeñas en el ademe

por las cuales pasan arena y grava, tanto del filtro como de la formación se procede a cementar esta parte rota de la siguiente manera, se forma un tapón abajo de la rotura de pedazos de costales de ixtle y sobre él una capa de tierra y arcilla, con lo que se ha logrado hacer una cama, sobre la cual se colocará el cemento, la longitud a cementar será como mínimo un metro abajo y otro arriba de la rotura, se hará descender el cemento por medio de un tubo de poliducto de 50.8 cm (2") de diámetro hasta el sitio por cementar, una vez fraguado el cemento se procede a perforarlo quedando de esta forma cementado la rotura del ademe, el volúmen de la lechada, será proporcional el volúmen de la parte a cementar.

TROMPEO.

Esta actividad se realiza cuando es necesario formar campana en el ademe inferior, en el traslape, para que pase libremente el equipo de bombeo, para lograrlo se arma la sarta de perforación y en la parte inferior lleva el trompeo en vez de la broca, y con los golpes que se dan a la tubería, forma la campana antes mencionada, también se emplea en los pozos que tienen el ademe chupado, y se hace volver mediante el trompeo a su diámetro original.

CEPILLEO.

Se ejecuta esta actividad en los pozos para limpiar las ranuras del ademe, pero sobre todo en los pozos incrustados. Existe un indicio fundamental para identificar un pozo como incrustado, cuando en un pozo se conocen su caudal y abatimiento anterior y actualmente se observa un caudal menor con un abatimiento mayor, se puede decir que es un pozo incrustado.

El cepillo consiste en un cuerpo cilíndrico con peso suficiente para que por acción de la gravedad baje, venciendo la resistencia ó fricción entre el ademe y los cepillos, éstos son de alambre de acero, cuyo diámetro exterior deberá ser cuando menos de seis milímetros mayor que el diámetro interior del ademe incrustado, con la finalidad de que ejecute sobre él una acción rasqueteadora efectiva, se trabaja por tramos a todo lo largo de la tubería incrustada, durante este trabajo se revisa periódicamente que los cepillos deberá tener un diámetro y tensión suficientes para friccionar enérgicamente las paredes del ademe, si los alambres se hayan vencido, se cambiarán por nuevos.

PISTONEO Y DISPERSOR DE ARCILLAS.

El agua tiene la propiedad de ser incompresible, por lo cual utilizando un pistón debidamente ajustado al diámetro del ademe, por medio del empaque de hule ó de cuero, se realiza una enérgica agitación por medio de movimientos ascendentes y descendentes, de esta forma se origina un flujo y reflujo de intenso dinamismo, que a la vez que homogeniza la mezcla agua-dispersor de arcillas activa notablemente la penetración al interior de las formaciones acuíferas impermeables por la arcilla, la cantidad de dispersor de arcillas que se vierte en un pozo es generalmente la misma que la columna de agua dentro del pozo, por ejemplo: un pozo que tenga 200 m. de profundidad y su nivel estático de 50 m., se colocarán 150 litros de dispersor de arcillas. Como regla general podemos decir que el pistoneo se debe utilizar solo cuando se cuente con el equipo de percusión, para que resulte efectivo se deberán de cuidar los siguientes requisitos:

i).- Diámetro del pistón.

ii).- Peso del pistón.

iii).- Ciclo del pistoneo.

DIAMETRO DEL PISTON.- El diámetro del pistón debe ser como mínimo una pulgada menor que el diámetro del interior del ademe ranurado.

PESO DEL PISTON.- Se ha comprobado en la práctica que para que el pistoneo resulte eficiente deberá pesar lo suficiente para bajar en forma rápida, generalmente esto se logra cuando el peso es tal que la presión ejercida sobre el espejo del agua es superior ó igual a 1.5 kg/cm^2 esta regla es empírica y aproximada pues la presión depende del área del cedazo., calidad del filtro, permeabilidad del acuífero y de la posición del pistón.

CICLO DEL PISTONEO.- Es conveniente ir aumentando la frecuencia de las pistoneadas en tres etapas progresivas del balancín.

1ra. Etapa 20 carreras por minuto.

2da. Etapa 28 a 32 carreras por minuto.

3ra. Etapa 40 a 45 carreras por minuto.

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

REGISTRO DE VERTICALIDAD.

Para la comprobación de la verticalidad de un pozo pueden emplearse varios procedimientos, aunque no todos proporcionan la misma exactitud, pero cada uno de ellos puede ser útil en determinados casos y circunstancias. Una primera comprobación se hace cuando el nivel estático no se encuentra muy profundo y consiste en mirar desde

la boca del pozo ayudado con un espejo que refleja los rayos del sol hacia el fondo del pozo y comprobar si la imagen que se aprecia es un círculo ó un óvalo, si es círculo se podrá decir que el pozo se encuentra recto hasta el nivel estático, si por el contrario se observa un óvalo el pozo se encuentra desviado.

El procedimiento que da mayor exactitud y que puede realizarse con medios bastante elementales es el descrito por JOHNSON (1966) que consiste en calcular la desviación que se ha producido a una profundidad determinada, en función de la que se produce en la boca del pozo para un cable fijo y a una altura conocida arriba del brocal del pozo.

Si se llama h a dicha altura, n a la desviación del cable en la boca del pozo y p a la profundidad a la que se coloca el cilindro que se desciende a lo largo del pozo, por semejanza de triángulos se tiene.

$$\frac{h}{n} = \frac{P}{d} \quad d = \frac{h}{n} P$$

Un pozo puede ser recto pero no vertical, de aquí que se tenga la idea en el medio de la perforación que todos los pozos son direccionales, las tolerancias más usuales son:

0.5° Cada 50 metros de profundidad.

1° Cada 100 metros de profundidad.

por lo que a la profundidad de 100 m. se puede tener una desviación de 1.74 m.

Por registro de verticalidad se entiende al conjunto de actividades que se desarrollan para medir y registrar las desviaciones a lo largo del ademe de un pozo, respecto a un eje ó línea de referencia perfectamente vertical que pasa por el centro geométrico del brocal del pozo. Con los valores obtenidos en campo, se construye una gráfica que permite juzgar la alineación del ademe, para decidir que bomba se puede instalar dentro del pozo, sin que se presenten atoramientos. El equipo con que se realiza esta prueba generalmente consta de un cilindro, un triple con una polea y una placa graduada, el procedimiento es el siguiente. Se introduce el cilindro en el ademe, suspendido de un cable que pasa por la polea del triple perfectamente centrada y sobre el brocal del ademe se coloca la placa graduada, sobre la cual desliza una cruceta por cuyo centro pasa el cable y le provoca desplazamientos en un sentido u otro conforme las desviaciones que sufre el cilindro a medida que va bajando dentro del ademe. El diámetro del cilindro se

rá muy cercano al del ademe cuya verticalidad se va a medir y longitud de aproximadamente un metro. Las lecturas de la desviación se toman a cada tres metros pero en casos que amerite se hará en cada metro. Esta prueba se hace en la cámara de bombeo, puesto que es el sitio donde se alojará el equipo de bombeo. Se deberá anotar las lecturas en unas formas como las que se muestran en el ejemplo, en éste si incluyen las gráficas en planta así como el perfil.

COLOCACION DE TAPA DEL BROCAL DEL POZO.

Una vez terminada la rehabilitación de un pozo se procederá a colocar una tapa de placa de acero en el brocal del ademe, ya que personas ajenas pueden llenar el pozo de piedras ó para evitar algún accidente con el pozo des-tapado.

AFORO DEL POZO REHABILITADO.

Esta actividad ya fue descrita en el tema anterior.

INSTALACION DEL EQUIPO DE BOMBEO.

El equipo de bombeo desinstalado y rehabilitado simultaneamente con el pozo, después de analizar la curva de aforo se verá si procede instalarlo ó se seleccionará un equipo diferente.

ABANDONO DE POZO.

Se hará el abandono de un pozo cuando una vez tenida la información necesaria, sea inconveniente emplear recursos económicos, para su rehabilitación que puede ser difícil.ó imposible.

Terminada la rehabilitación del pozo se deberá de recopilar toda la información de este trabajo en una tabla como la que se anexa, además se hará croquis del pozo como ha quedado después de rehabilitado. Ver tabla No.

REGISTRO DE VERTICALIDAD

NOMBRE DEL POZO: AGRICOLA ORIENTAL #2

FECHA: _____

ALUTRA DE LA POLEA: 3.63 m

DIAMETRO DEL CILINDRO: 25.40cm(10")

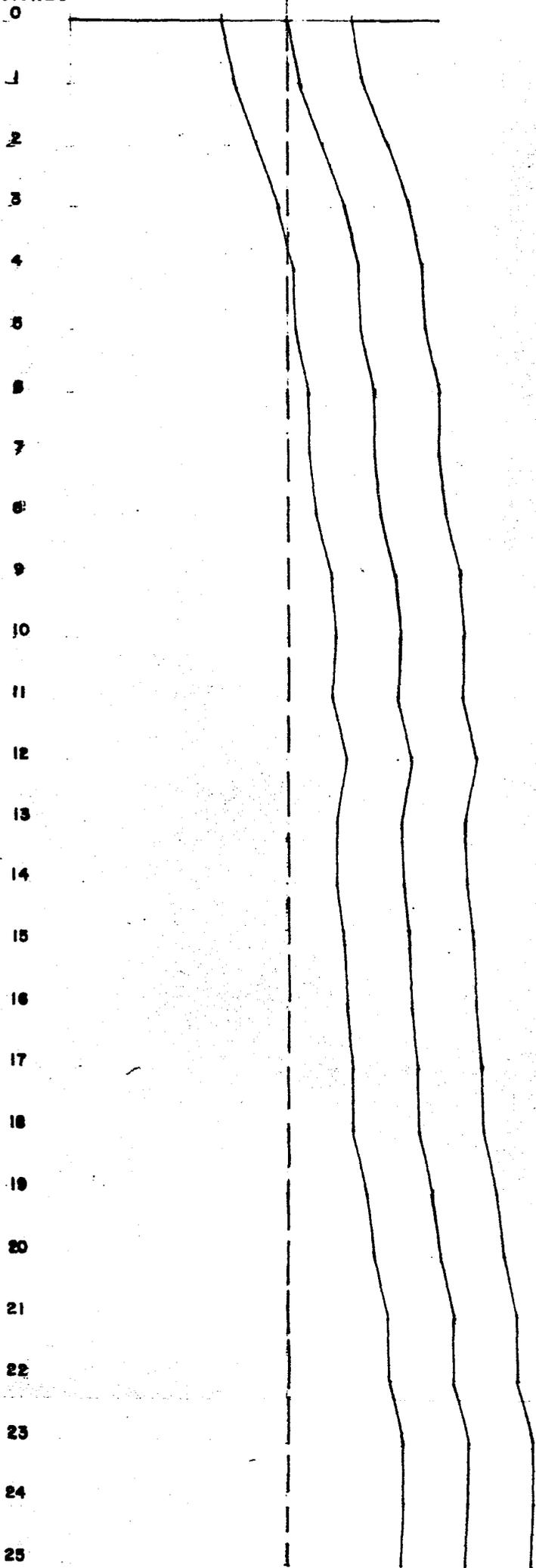
DIAMETRO DEL ADEME: 30.42 cm (12")

ESTACION OBSERVADA	PROFUNDIDAD DEL CAL.	LARGO DEL CABLE	LECTURAS EN MM.				DESVIACIONES MM.		
			X	Y	XX	YY	X	Y	TOTAL
0	0	3.63	164	134	0	0	0	0	0
1	3.63	6.63	178	135	14	1	26	2	26
2	6.63	9.63	195	131	31	-3	82	8	82
3	9.63	12.63	202	128	38	-6	132	21	134
4	12.63	15.63	202	126	38	-8	164	34	169
5	15.63	18.63	196	126	32	-8	164	41	172
6	18.63	21.63	198	125	34	-9	203	54	210
7	21.63	24.63	193	125	29	-9	197	61	206
8	24.63	27.63	192	125	28	-9	213	69	224
9	22.63	30.63	193	125	29	-9	245	76	257
10	30.63	33.63	192	125	28	-9	259	83	272
11	33.63	36.63	189	126	25	-8	252	81	265
12	36.63	39.63	190	128	26	-6	284	66	291
13	39.63	42.63	186	131	22	-3	258	35	260
14	42.63	45.63	185	131	21	-3	264	38	267
15	45.63	48.63	185	131	21	-3	281	40	284
16	48.63	51.63	184	131	20	-3	284	43	287
17	51.63	54.63	184	131	20	-3	301	45	304
18	54.63	57.63	183	130	19	-4	302	64	309
19	57.63	60.63	184	130	20	-4	334	67	341
20	60.63	63.63	184	130	20	-4	351	70	358
21	63.63	66.63	185	130	21	-4	385	73	392
22	66.63	69.63	184	130	20	-4	384	77	392
23	69.63	72.63	185	130	21	-4	420	80	428
24	72.63	75.63	184	129	20	-5	417	104	430
25	75.63	78.63	183	129	19	-5	412	108	426

SE ATORA EL CILINDRO A LOS 76 M.

ESTACIONES

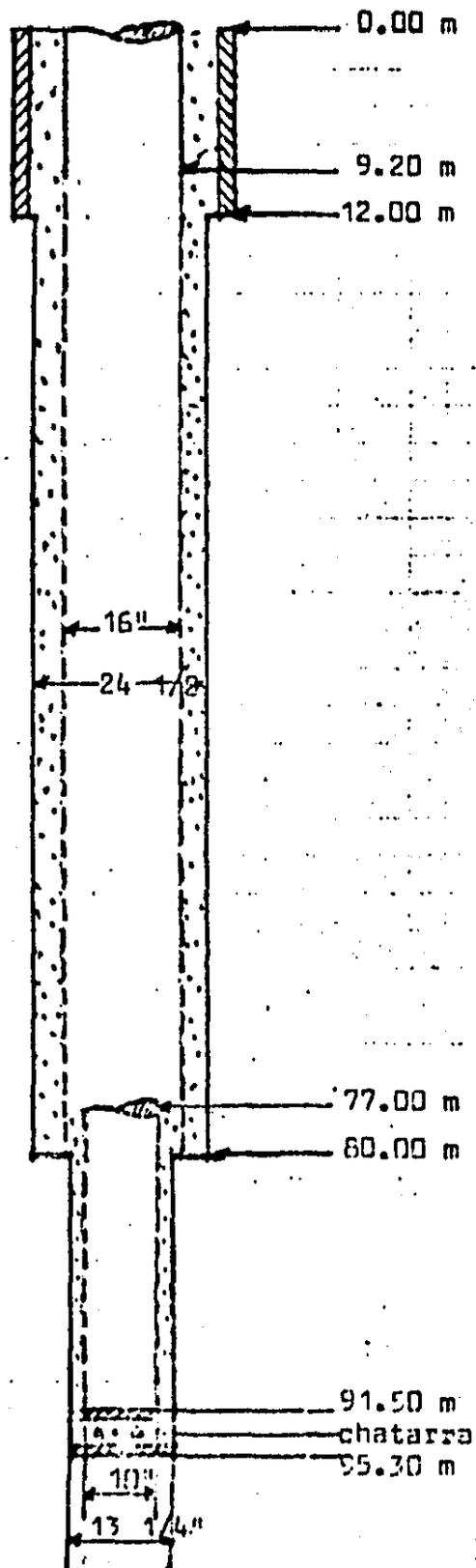
- 156 -



escala horizontal
escala vertical

1cm. = 100 mm.
1cm. = 2 mts.

REGISTRO DE VERTICALIDAD DEL POZO
AGRICOLA ORIENTAL N 2 2



TERMINACION DE POZO REHABILITADO (629)

DATOS DEL POZO REHABILITADO

POZO No. _____

LOCALIZACION: _____

FECHA INICIO: _____ FECHA TERMINACION _____

1. REHABILITACION			
01. DESAZOLVE	PROF. INICIAL _____	MTS.	PROF. FINAL _____
			MTS.
02. LIMPIEZA	DIAM. PISTON _____	PULG.	DURACION D'PISTONEO _____
02.1 PISTONEO			HRS.
02.2 CEPILLO	DIAM. CEPILLO _____	PULG.	DURACION D'CEPILLO _____
			HRS.
03. ENCAMIZADO	ONG. ENCAMIZADO _____	MTS.	
03.1 LONGITUD			
03.2 DIAMETRO P/ PROFUNDIDAD	Ø _____	PULG. PROF. _____	MTS. Ø _____
			PULG. PROF. _____
			MTS.
04. ENGRAVADO			
04.1 PROF. ENGRAVADO	PROF. INICIAL _____	MTS.	PROF. FINAL _____
04.2 VOLUMEN		M ³	MTS.
04.3 GRANULOMETRIA	DE _____	PULG. A _____	PULG.
05. PASCAS	PROF. _____	MTS. LONG. _____	MTS. DIAMETRO _____
			PULG.
06. CALIBRACION	PROF. _____	M	PROF. _____
			M.
	DIAMETRO _____	CM	DIAMETRO _____
			CM
07. REGISTRO DE VERTICALIDAD	PROF. INICIAL _____	MTS.	PROF. FINAL _____
			MTS.
08. CEMENTACION	PROF. _____	MTS.	VOL _____
			M ³
09. COLOCACION TAPA DE BOCAL.	SI ()	NO ()	

158

C A P I T U L O VI
PRESUPUESTO Y ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Los rendimientos son la parte fundamental para el análisis de precios unitarios que sera reflejado en el pre supuesto de obra.

Existen oficinas de gobierno que emiten los llamados catálogos de precios unitarios para la perforación de pozos, debido a la inflación que azota al país, estos catálogos están resagados, por esta razón en algunas de estas oficinas se actualiza dos veces al año dicho catálogo ó se fija de antemano un incremento mensual con base en estos precios.

6.1 CAUSAS QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE LA PERFORACION DE POZOS.

a).- Gran parte de los equipos de perforación que se utilizan para este fin, ya han sobrepasado con creces su período de vida económica e incluso es frecuente que las em presas perforadoras construyen sus propios equipos empleando partes de otros, ya en desuso y como consecuencia su rendimiento es muy bajo.

B).- Otra causa es que se realiza la perforación del pozo con el único equipo que se tiene disponible, que no siempre es el adecuado por lo que se tiene un rendimiento bajo.

c).- La causa determinante en el rendimiento de la

perforación, independientemente del equipo, lo constituye el personal, ya que de éste depende la plusvalía de la empresa. Por tal motivo el personal debe ser capaz y responsable, además de que se debe capacitar periódicamente y un factor muy importante es que debe ser muy bien remunerado.

El rendimiento es diferente para diversos tipos de material, así como de la profundidad que se este perforando, en la tabla siguiente se ilustra el rendimiento promedio de perforación en catorce pozos construidos en la zona de Lerma, Edo. de México, para el Departamento del Distrito Federal.

A V A N C E E N M E T R O S P O R H O R A

PROF. m	PERFORACION		A M P L I A C I O N E S					
	20.3 (8")	30.5 (12")	20.3-30.5 (8" a 12")	30.5-4.45 (12" a 17 1/2")	4.45-56 (17 1/2" a 22")	4.45-61 (17 1/2" a 24")	4.45-66 (17 1/2" a 26")	4.45-71 (17 1/2" a 28")
M A T E R I A L T I P O I								
0-100	2.30	1.43	1.80	2.34	2.50	2.40	2.17	1.90
100-200	2.20	1.36	1.72	2.22	2.36	2.31	2.03	
200-300	2.10	1.30	1.55	2.08	2.30			
M A T E R I A L T I P O II								
0-100	1.64	0.90	1.45	1.33	1.45	1.32	1.29	1.24
100-200	1.52	0.86	1.40	1.28	1.38	1.26	1.23	
200-300	1.40	0.75	1.36	1.18	1.32			
M A T E R I A L T I P O III								
0-100	0.74	0.54	0.80	0.66	0.83	0.71	0.68	
100-200	0.65	0.48	0.76	0.60	0.72	0.66	0.63	
200-300	0.58	0.42	0.71	0.55	0.66			

En la tabla anterior se menciona el tipo de material I, II y III, a continuación se describe cada grupo, debe tenerse en cuenta que ésta clasificación es arbitraria, pero convencional en el medio de la perforación, se admite como costumbre.

MATERIAL TIPO I (A)

ARCILLAS
ARENAS Y GRAVAS HASTA DE 7.6 cm(3") de \emptyset
LIMAS
TOBAS SEDIMENTARIAS
DEPOSITOS LACUSTRES
POMEZ, TEZONTLE, LAPILLA Y CENIZAS VOLCANICAS

MATERIAL TIPO II (B)

ARENISCAS
CONGLOMERADOS
LUTITAS
PIZARRAS
CALIZAS Y DOLOMITAS
ROCAS METAMORFICAS
ALUVIONES FORMADOS POR BOLEOS DE (12.7)cm(5")

MATERIAL TIPO III (C)

ALUVIONES GRUESOS, SUELTOS DE MAS DE 12.7 cm (5")
AGLOMERADOS VOLCANICOS
ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS Y EXTRUSIVAS
CALIZAS SILIFICADAS
TOVAS VOLCANICAS

A continuación se presenta los análisis de hora máquina, para un equipo de perforación y uno de rehabilitación, así como presupuestos para cada caso. Se anexa figura de proyecto de pozo en el que se basa el presupuesto de perforación

- 101 -

ANALISIS HORA - MAQUINA PERFORADORA TIPO ROTATORIO GARDENER DENVER 2500 PARA PERFORACION DE POZOS

CONSTRUCTORA _____ _____ _____ OBRA _____	Maquina <u>PERFORADORA</u> Modelo <u>2500</u> Capacidad <u>500 m</u>	Hoja No. _____
----------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	----------------

DATOS GENERALES.

Precio adquisicion	30,000,000.00	Fecha cotizacion	FEBRERO 1984
Equipo adicional		Vida economica (V.e.)	7 años
		Horas por año (H.a.)	2000 h / año
		Motor	DIESEL de 210 HP.
Valor inicial (Va)	30,000,000.00	Factor operacion	0.75
Valor rescate (Vr)	20 % = 6,000,000.00	Potencia operacion	157.5 HP.op.
Tasa interes (i)	5.4 %	Coefficiente almacenaje (K)	0.05
Prima seguros (s)	5 %	Factor mantenimiento (Q)	0.75

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciacion	$D = \frac{Va - Vr}{Y \times 2000} = \frac{30,000,000 - 6,000,000}{7 \times 2000} = 1714.29$
b) Inversion	$I = \frac{Va + Vr}{2 \times H_a} = \frac{30,000,000 + 6,000,000}{2 \times 2000} \times 0.34 = 4860.00$
c) Seguros	$S = \frac{Va + Vr}{2 \times H_a} = \frac{30,000,000 + 6,000,000}{2 \times 2000} \times 0.05 = 450.00$
d) Almacenaje	$A = K \cdot D = 0.05 \times 1714.29 = 85.71$
e) Mantenimiento	$M = Q \cdot D = 0.75 \times 1714.29 = 1285.72$
SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = 8395.72	

II.- CONSUMOS

a) Combustible: E = e Pc

Diesel: E = 0.20 x 157.5 HP op. x 20 / 11 = 630.00

Gasolina: E = 0.24 x _____ HP op. x _____ / 11 = _____

b) Otras fuentes de Energia _____ = _____

c) Lubricantes L = a Pc

Capacidad carter c = 40 Litros

Cambios aceite t = 100 horas

$a = C/t + \frac{0.0035}{0.0030} \times 157.5 \text{ HP op.} = 0.95 \text{ lt/hr}$

$\therefore L = 0.95 \text{ lt/hr} \times 180 / \text{Lt.} = 171.00$

d) Llantas $L_l = \frac{V L_l}{H v}$ (valor llantas / vida economica)

Vida economica = 5000 horas

$\therefore L_l = \frac{332,290}{5,000 \text{ horas}} = 66.46$

SUMA CONSUMOS POR HORA = 867.46

III.- OPERACION

Salarios: S

Operador = 1500.00

Chango = 820.00

2 AYUD. = 1360.00

Sal/turno-prom = 3580.00 x 1.6122

Horas/turno-prom

H = 8 horas = 0.75 (factor rendimiento) = 6 horas

$\therefore \text{Operacion } O = \frac{S}{H} = \frac{5932.90}{6} \text{ horas} = 988.82$

SUMA OPERACION POR HORA = 988.82

SUMA COSTO DIRECTO	10,252.00
INDIRECTOS Y UTILIDAD 35%	3,588.20
PRECIO UNITARIO	13,840.20

ANALISIS HORA - MAQUINA PERFORADORA TIPO PERCUSION BUCYRUS ERIE 22 W PARA REHABILITACION DE POZOS

CONSTRUCTORA :	Maquina <u>PERFORADORA</u>	Hoja No. _____
	Modelo <u>22 W</u>	
OBRA _____	Capacidad _____	

DATOS GENERALES.

Precio adquisicion	12,000,000.00	Fecha cotizacion	FEBRERO 1984
Equipo adicional		Vida economica (V.e.)	7 años
		Horas por año (Ho.)	2,000 h / año
		Motor	DIESEL de 50 HP.
Valor inicial (Va)	12,000,000.00	Factor operacion	75
Valor rescate (Vr)	20% = 2,400,000.00	Potencia operacion	37.5 HP.op.
Tasa interes (i)	5.4%	Coefficiente almacenaje (K)	0.05
Prima seguros (s)	5%	Factor mantenimiento (Q)	0.75

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciacion	$D = \frac{Va - Vr}{V_e} = \frac{12,000,000 - 2,400,000}{7 \times 2,000} = 685.71$
b) Inversion	$I = \frac{Va + Vr}{2 \times H_a} = \frac{12,000,000 + 2,400,000}{2 \times 2,000} \times 0.84 = 1,944.00$
c) Seguros	$S = \frac{Va + Vr}{2 \times H_a} \times s = \frac{12,000,000 + 2,400,000}{2 \times 2,000} \times 0.05 = 180.00$
d) Almacenaje	$A = K \cdot D = 0.05 \times 685.71 = 34.29$
e) Mantenimiento	$M = Q \cdot D = 0.75 \times 685.71 = 514.28$
SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = 3,358.28	

II.- CONSUMOS

a) Combustible: E = e Pc

Diesel: E = 0.20 x 37.5 HP op. x 20 /ll = 150.00

Gasolina: E = 0.24 x _____ HP op. x _____ /ll = _____

b) Otras fuentes de Energia _____ = _____

c) Lubricantes L = a Pe

Capacidad carter c = 33 Litros

Cambios aceite t = 100 horas

$a = C/t + \frac{0.0035}{0.0030} \times 37.5 \text{ HP op.} = 0.44 \text{ ll/hr}$

$\therefore L = 0.44 \text{ ll/hr} \times 180 / \text{Lt.} = 79.20$

d) Llantas $L_i = \frac{V L_i}{H v}$ (valor llantas / vida economica)

Vida economica = 5000 horas

$\therefore L_i = \frac{199,374}{5000 \text{ horas}} = 39.87$

SUMA CONSUMOS POR HCRA = 269.07

III.- OPERACION

Salarios: S

Operador = 1500.00

2 AYUD. = 1360.00

Sal/turno-prom = 2860.00 x 1.6122 = 4610.90

Horas/turno-prom H = 8 horas = 0.75 (factor rendimiento) = 6 horas

$\therefore \text{Operacion } O = \frac{S}{H} = \frac{4610.90}{6} = 768.48$

SUMA OPERACION POR HCRA = 768.48

SUMA COSTO DIRECTO	4,395.83
INDIRECTOS Y UTILIDAD 35%	1,538.54
PRECIO UNITARIO	5,934.37

PRE SUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DE UN POZO PROFUNDO EN EL ALMACEN "M"
DEL D.D.F. EN LA CIUDAD DE MEXICO.

<u>NUM.</u>	<u>CONCEPTO</u>	<u>UNID.</u>	<u>CANT.</u>	<u>P.U.</u>	<u>IMPORTE</u>
1	Movimiento del equipo de perforación rotatorio Gardner Denver 2000 ó similar, hasta una distancia de 15 km. Incluye desmantelamiento donde esta instalado, carga a los diferentes vehículos de transporte, descarga de vehículos y montaje de la nueva instalación.	Lote	1	240,577.00	240,577.00
2	Transporte de equipo de perforación rotatorio Gardner Denver 2000 ó similar en kilómetros subsecuentes a los primeros 15 km.	Km.	5	1,357.00	6,785.00
3	Equipo de perforación rotatorio trabajando en operaciones ordenadas por el Depto. del D.F. Obras Hidráulicas (Geología) no tabuladas.	Hr.		13,840.20	
4	Equipo de perforación rotatorio Gardner Denver 2000 ó similar parado esperando órdenes del Depto. del D.F. Obras Hidráulicas (Geología) Hr.			12,669.00	
5	Perforación de pozo en material clase 1 de 30.48 cm (12" nominal) de Ø				
5.01	De 0 a 100 mts. de prof.	Ml	80	6,320.30	505,624.00
5.02	De 100 a 200 mts. de prof.	Ml		7,764.60	
5.03	De 200 a 300 mts. de prof.	Ml		11,377.35	

<u>NUM.</u>	<u>CONCEPTO</u>	<u>UNID.</u>	<u>CANT.</u>	<u>P.U.</u>	<u>IMPORTE</u>
11	Ampliación de agujero en material clase 1 de 44.45 cm (17½" nominal) a 71.12 cm (23" nominal) de Ø				
11.01	De 0 a 100 mts. de prof.	Ml	80	13,712.00	1'096,960.00
12	Suministro y colocación de filtro de grava en el espacio anular existente entre el ademe de acero y la sección de perforación, grava controlada, calibrada a tamaño no menor de 20 mm. (¾"). Incluye transporte.	M3	15	13,709.00	205,620.00
14	Suministro de tubería de acero para ademe, de acero de cualquier grado, tipo, diámetro y espesor.				
14.01	Tubería lisa de 40.64 cm (16") de Ø por 6.4 mm. (¼") de espesor.	Ml	80	13,958.00	1'116,640.00
14.02	Tubería cedazo canastilla de 40.64 cm (16") de Ø por 6.4 mm (¼") de espesor.	Ml	170	16,093.00	2'734,110.00
14.03	Tubería lisa de 60.96 cm (24") de Ø por 7.9 mm. (5/16") de espesor.	Ml	80	28,970.00	2'317,600.00
15	Colocación de tubería para ademe, soldando las juntas con doble cordón de arco eléctrico.				
15.01	De 406.4 mm (16") de Ø por 7.9 mm (5/16") de espesor.	Ml	250	933.50	233,375.00
15.02	De 609.6 mm (24") de Ø por 7.9 mm (5/16") de espesor.	Ml	30	1,041.00	33,280.00
16	Cementaciones de tuberías de diversos diámetros, por inyección de cemento en el espacio anular para perforaciones de diferentes diámetros, incluyendo tiempos de operación del equipo y cemento.				

<u>NUM.</u>	<u>CONCEPTO</u>	<u>UNID.</u>	<u>CANT.</u>	<u>P.U.</u>	<u>IMPORTE</u>
16.01	Tubería de 60.96 cm - (24") de perforación - de 78,12 cm (28") de Ø.	.M	80	3,829.70	306,376.00
17	Lodo de perforación, - preparado con agua dul ce y bentonita, sin - aditivos químicos es- peciales, de 36 seg.- de viscosidad en prue ba de viscosímetro, - incluye acarreo de -- agua.	.M3	140	3,110.00	435,400.00
18	Fosa de lodos de 4.00 x 4.00 x 1.50 mts. -- (máximo 2 fosas por - pozo).	Fosa	2	12,132.00	24,264.00
19	Registros eléctricos' obtenidos con sondas' diversas, diferentes' diámetros y profundi- dades que ordene el - Depto. del D.F. Obras Hidráulicas(Geología).	Fact.	1	104,867.00	104,867.00
20	Equipo capaz de pro - porcionar un caudal - mayor de 70 l.p.s., - con una longitud de - columna de 100 mts.				
20.01	Instalación y desman- telamiento.	Lote	1	246,746.00	246,746.00
20.02	Hora trabajando.	Hr	72	4,193.00	295,776.00
20.03	Hora parada.	Hr		2,843.30	

T O T A L : 20,650,600.00

Nota: Los precios anotados de tuberías de ademe están sujetos a va-
riaciones y serán cobrados contra factura más un 20% por con-
cepto de Trabajos por Administración.

PRESUPUESTO PARA LA REHABILITACION DEL POZO 512 DE LA ZONA DE LERMA
EN EL ESTADO DE MEXICO.

<u>NUM.</u>	<u>CONCEPTO</u>	<u>UNID.</u>	<u>CANT.</u>	<u>P.U.</u>	<u>IMPORTE</u>
1	Mediciones previas por el método del orificio calibrado presentando gráficas y registro de lecturas.	Lote	1.00	83,267.70	83,267.70
2	Desinstalación del equipo de bombeo tipo pozo profundo con longitud de columna hasta 75 mts. incluyendo equipo, materiales y mano de obra.				
	Desinstalación de la bomba tramos 8" (203 mm.) de \varnothing de columna.				
	1er. tramo.	Tramo	1.00	82,673.25	82,673.25
	Tramos adicionales	Tramo	32.00	2,466.90	78,940.80
3	Revisión completa de las partes componentes de la bomba, en taller, cabezal, tuberías, flechas, portachumaceras, etc. Incluyendo limpieza y pulido así como la pintura de la columna del cabezal de descarga, equipo y mano de obra.				
	3" (203 mm)				
	a) Cabezal de descarga	Pza.	1.00	24,832.00	24,832.00
	b) Tuberías, etc.	Tramo	33.00	5,425.00	179,025.00
	c) Flechas de línea, etc.	Pza.	32.00	4,456.00	142,592.00
	d) Portachumaceras, etc.	Pza.	32.00	1,343.00	43,136.00
4	Desarmado, revisión y limpieza total del cuerpo de tazones, incluyendo el traslado al taller de la empresa equipo y mano de obra.				
	De 8" Y 10"	Jgo.	1.00	20,340.00	20,340.00
	1er. paso	Pza.	6.00	4,865.00	19,130.00
5	Maquinado y rectificación del asiento de los tazones dándole su ángulo adecuado incluyendo equipo y mano de obra.				

<u>NUM.</u>	<u>CONCEPTO</u>	<u>UNID.</u>	<u>CANT.</u>	<u>P.U.</u>	<u>IMPORTE</u>
	De 8" y 10"	Pza.	7.00	15,935.00	111,545.00
	Suministro de partes para el equipo de bombeo.	Fact.	1.00	400,483.00	400,483.00
6	Armado del cuerpo de tazones, calculando la longitud y posición del impulsor y bujes de acuerdo con el modelo y normas del fabricante, incluyendo equipo y mano de obra.				
	De 8" y 10"				
	1er. paso	Jgo.	1.00	20,340.00	20,340.00
	Paso adicional	Pza.	6.00	4,865.00	29,190.00
7	Movimiento de equipo de perforación por percusión BUCYRUS-ERIE 22-W ó similar, hasta una distancia de 15 km. Incluye desmantelamiento donde está instalado, carga de los vehículos de transporte, descarga y montaje en la nueva instalación.	Lote	1.00	48,485.00	48,485.00
3	Transporte de equipo de perforación por percusión BUCYRUS-ERIE 22-W ó similar, en km. subsiguientes a los primeros 15 km.	Km.	45.00	1,396.20	62,929.00
9	Equipo de perforación por percusión BUCYRUS-ERIE 22-W ó similar trabajando en operaciones no tabuladas, ordenadas por la Dependencia, excepto perforación.	Hr.	320.00	5,934.37	1,899,998.40
10	Costo horario de máquina en espera BUCYRUS-ERIE 22-W ó similar.	Hr.	8.00	5,571.13	44,569.04
11	Registro de verticalidad en pozos profundos con diámetro de ademe de 8" a 18" y a una profundidad hasta 100 m.	Lote	1.00	123,077.50	123,077.50
12	Registro de verticalidad en pozos profundos con diámetro de ademe de 3" a 18" metros subsiguientes hasta 100 m.	M		1,292.00	

<u>NUM.</u>	<u>CONCEPTO</u>	<u>UNID.</u>	<u>CANT.</u>	<u>P.U.</u>	<u>IMPORTE</u>
13	Instalación y desmantelamiento completo del equipo de bombeo para aforo dentro del pozo de prueba -- con longitud de columna - hasta 100 m.				
	Diámetro de tubo 8" caudal máximo 70 lps.	Lote	1.00	246,746.00	246,746.00
14	Prueba de bombeo y aforo - con equipo de 203.2 mm -- (8") de Ø de tubo de 100 m de longitud de columna y - un caudal de 70 lps.				
	Equipo de bombeo trabajando en aforo.	Hr.	72.00	4,108.00	295,776.00
	Equipo de bombeo en espera	Hr.	4.00	2,843.30	11,373.20
15	Instalación del equipo de bombeo tipo pozo profundo con longitud de columna - hasta de 75 mts. incluyen equipo, materiales y - mano de obra.				
	Instalación de la bomba de tramos 8" (203 mm) de Ø de columna.				
	1er. tramo	Tramo	1.00	82,673.25	82,673.25
	Tramos adicionales	Tramo	32.00	2,466.90	78,940.80

T O T A L : 4'144,022.94

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por lo expuesto en los capítulos anteriores, se observa que para garantizar el buen éxito de la obra, es necesario antes de realizar la perforación de un pozo hacer un estudio Geohidrológico de zona.

Independientemente del estudio geohidrológico algunos factores que determinan el éxito o fracaso en la perforación de un pozo son numerosos, entre los cuales los más significativos son:

- a).- Muestra, para conocer la litología de la formación, que redundará en un buen diseño del pozo.
- b).- El equipo de perforación, se deberá conocer su capacidad, limitaciones y estado actual.
- c).- El clima aunque no se ha mencionado el tipo de problemas que acarrea el clima en estos trabajos, es de vital importancia ya que el calor, el frío y la lluvia afectan el rendimiento de la perforación.
- d).- El personal, éste debe contar con experiencia y capacidad suficiente, para resolver los problemas más comunes en la perforación como son: los derrumbes, pérdidas de circulación, atrapamiento de la herramienta y las desviaciones, independiente de las pescas que se presenten durante la ejecución del trabajo.

Por lo que respecta a la rehabilitación de pozos, se cree que una medida adecuada será la de realizar las mediciones previas, antes de ejecutar cualquier trabajo en el pozo, ya que nos proporciona una información valiosa respecto al pozo y el equipo de bombeo simultáneamente, afortunadamente ya se esta ejecutando esta medición en bloque en los pozos de la zona de lerma.

7.3 Localización de los pozos.- Los pozos dependiendo de la utilidad que se le de al líquido que se extraiga de él, deberá ser localizado en la parte más alta si se destina para riego, ya que de esta forma el agua será conducida por gravedad para su distribución en la zona de cultivo, aún cuando el agua sea utilizada para abastecimiento de una población, es recomendable construir el pozo en la parte alta, ya que así se evita el problema de la contaminación por la formación de charcos al rededor del pozo, además se tendrá un buen sistema de drenaje, los pozos deberán ser localizados lejos de las fuentes de contaminación como son: los basureros de la red de alcantillado, de fosas sépticas y de zonas que reciben aguas residuales sin ser tratadas previamente.

Nunca está por demás recalcar la necesidad de proporcionar protección sanitaria para todas las fuentes de agua del subsuelo, se encuentren o no en uso inmediato, ya que tales fuentes pueden ser utilizadas en un futuro no muy lejano, debido a la escasez con que se cuenta de agua se debe crear conciencia en la población y aún más en las autoridades del problema de la contaminación del agua para que no se presenten casos, como lo sucedido en la zona de Almoloya, Edo. de México, donde se había permitido la creación de un basurero en la zona donde se encuentran pozos que abastecen de agua al Distrito Federal.

En el aforo de los pozos perforados y rehabilitados se toman muestras para su análisis físico-químico y bacteriológico, para determinar si es apta para ser consumida por el hombre, es necesario que los pozos que ya se encuentran en operación aportando el agua para consumo humano, sea muestreada periódicamente para cerciorarse de su calidad, aquí puede hacerse extensivo al sistema o sea no solo a la fuente sino a las líneas de conducción, tanques de almacenamiento y red de distribución, en lo que concierne a las autoridades encargadas de suministrar el líquido a la población, toca a

los usuarios mantener en buen estado de limpieza la cisterna (si se cuenta con ella) y tinaco de su domicilio, ya que es aquí donde se presenta el mayor índice de contaminación, aún cuando el agua de la red municipal sea entregada sin contaminar.

Acude a la mente el problema de la escases y del desperdicio que se tiene del agua, comenzando por la red de distribución en que la tubería es tan vieja y por lo tanto origina innumerables fugas, algunas no visibles ya que el líquido circula hacia el drenaje, otra de las causas es el hundimiento diferencial de la ciudad por sobre-explotación del agua en el subsuelo, esto hace que la tubería se rompa originando un desperdicio enorme de líquido.

Además, por las válvulas de seccionamiento que no se les ha dado el mantenimiento adecuado fluye gran cantidad de agua que se va por el drenaje a través del desfogue con que cuentan las cajas de válvulas, aún así se cree que donde se presenta el mayor porcentaje de desperdicio de agua debido a fugas es en el interior de las habitaciones, por tal motivo el gobierno prepara periódicamente campañas para crear conciencia en la población sobre este problema, en el que un solo empaque es suficiente para ahorrar gran cantidad de agua.

Se está conciente de la humildad de esta tesis cuyo objetivo como se dijo al principio es despertar inquietud de los estudiantes que quieran penetrar a esta rama de la Ingeniería Civil, que se cree será una actividad de gran utilidad para el desarrollo de nuestro país.

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

ASOCIACION GEOHIDROLOGICA
MEXICANA

FORO SOBRE DISEÑO, TERMINACION
Y MANTENIMIENTO DE POZOS
PALACIO DE MINERIA
MARZO 1984.

B. I. VOZVIZHENSKI
O. N. GOLUBINTZEV
A. A. NOVOZHILOV

PERFORACION DE EXPLORACION
EDITORIAL MIR
MOSCU 1982.

CUSTODIO EMILIO
LLAMAS MANUEL RAMON

HIDROLOGIA SUBTERRANEA
TOMOS I y II
EDICIONES OMEGA S.A.
BARCELONA 1976.

D. P. KRYNINE-W-R
JUDD

PRINCIPIOS DE GEOLOGIA Y GEO
TECNIA PARA INGENIEROS
EDICIONES OMEGA S.A.
BARCELONA 1972.

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION
FACULTAD DE INGENIERIA
U.N.A.M.

FACTORES DE CONSISTENCIA DE
COSTOS Y PRECIOS UNITARIOS
1983.

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

CURSO SOBRE PERFORACION DE -
POZOS PARA AGUA, 1982.

G. CASTANY

PROSPECCION Y EXPLOTACION DE
LAS AGUAS SUBTERRANEAS
EDITORIAL OMEGA, 1976.

JUAREZ BADILLO, RICO
RODRIGUEZ

MECANICA DE SUELOS TOMO I
LEMUSA, MEX. 1976.

MURGUIA VACA ERNESTO

INGENIERIA SANITARIA
FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

RAY K. LINSLEY
JOSEPH B. FRANZINI

INGENIERIA DE LOS RECURSOS
HIDRAULICCS
CECSA, MEX. 1979.

ROLANDO SPRINGALL G.

HIDROLOGIA PRIMERA PARTE
FACULTAD DE INGENIERIA
1970.

S A R H

PERFORACION DE POZOS PARA RIEGO.

TINAJERO G. JAIME

CURSO DE GEOHIDROLOGIA
EN LA FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

ULRIC P. GIBSON
REXFORD D. SINGER

MANUAL DE LOS POZOS PEQUEÑOS
LIMUSA, MEX. 1976.

VARGAS ALCANTARA
VICENTE

TECNICOS Y ANALISIS DE COSTOS DE
POZOS PROFUNDOS Y AGUAS SUBTERRA
NEAS.
LIMUSA, MEX. 1976.

VIEJO ZUBICARAY MANUEL

BOMBAS TEORIA, DISEÑO Y APLICACION
LIMURA, MEX. 1981.