



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“CONCEPTOS BASICOS PARA EL
DISEÑO DE POZOS DE INFILTRACION
DE 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 :
JOSÉ MIGUEL ARELLANO JUÁREZ**



FES Aragón

ASESOR: ING. GABRIEL ALVAREZ BAUTISTA

MÉXICO

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

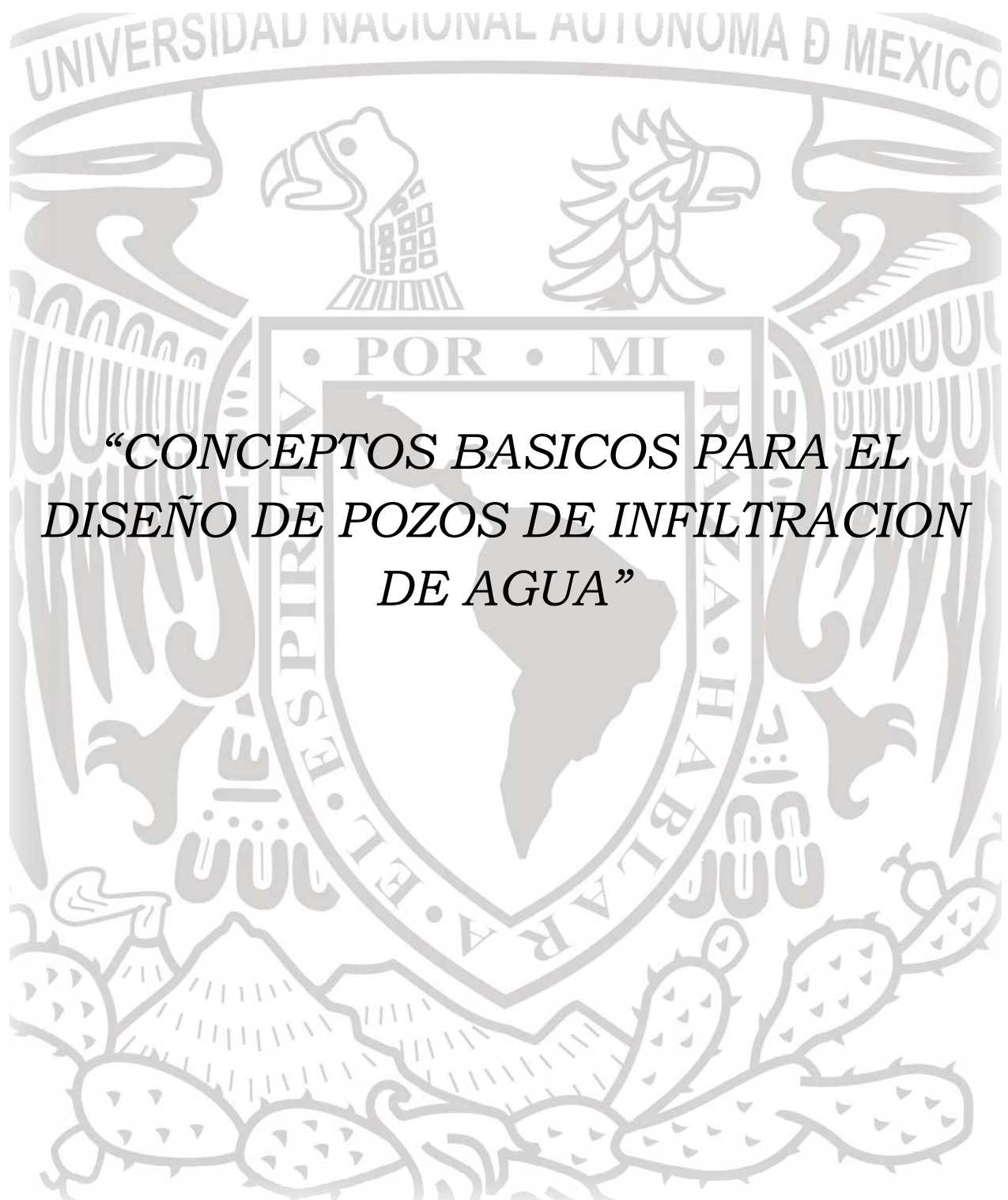


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

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.



*“CONCEPTOS BASICOS PARA EL
DISEÑO DE POZOS DE INFILTRACION
DE AGUA”*

INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1

“ASPECTOS GENERALES”

- 1.1).- EQUIPO DE PERFORACION
- 1.2).- PROGRAMA DE PERFORACION
- 1.3).- REGISTRO DE PENETRACION
- 1.4).- CONSTRUCCION
- 1.5).- CLASIFICACION GENERAL DE LAS FORMACIONES
- 1.6).- TERMINACION DE POZOS
- 1.7).- “PRUEBA DE VERTICALIDAD”
- 1.8).- OPRACIONES ESPECIALES
- 1.9).- DISPOSICIONES GENERALES
- 1.10).- DESARROLLO Y AFORO DE POZOS O PRUEBA DE BOMBEO

CAPITULO 2

“TRABAJO DE CAMPO”

- 2.1.- GEOHIDROLOGIA
- 2.2.- GEOFISICA
 - A).- EXPLORACION GEOFISICA
 - B).- METODO GRAVIMETRICO
 - C).- METODO MAGNETICO
 - D).- METODO SISMICO
 - E).- METODO ELECTRICO

2.3.- RELACIONES DE CAIDA POTENCIAL

2.4.- PROCEDIMIENTO DE CAMPO

2.5.- SECCION DE GEOELECTRICOS

2.6.-SONDEOS GEOELECTRICOS

CAPITULO 3

“ENSAYES DE LABORATORIO”

3.1.1.- “ANALISIS GRANULOMETRICO”

3.1.2.- PREPARACION DE LA MUESTRA PARA LA PRUEBA

3.1.3.- PESO Y TAMIZADO

3.1.4.- GRAFICAS

3.1.5.- TERMINOS DESCRIPTIVOS

3.1.6.- PENDIENTE Y FORMA DE LA CURVA

3.2.1.- “ANALISIS QUIMICO”

3.2.2.- CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO CONDUCTIVIDAD

3.2.3.- SODIO

CAPITULO 4

“DISEÑO DE POZOS DE INFILTRACION”

4.1.)- DISEÑO Y TERMINACION DE POZO

4.2.)- SONDEO GEOELECTRICO

4.3.)- REGISTRO ELECTRICO

4.4.)- ANALISIS GRANULOMETRICO

4.5.)- CORRELACION DE ESTUDIOS

4.6.)- DISTRIBUCION DE LA TUBERIA ADEME

4.7.)- DESARROLLO

- 4.8).- TRATAMIENTO QUIMICO
- 4.9).- DISPERSOR DE ARCILLAS
- 4.10).- HIELO SECO
- 4.11).- ACIDO CLORHIDRICO
- 4.12).- TRATAMIENTO NEUMATICO
- 4.13).- TRATAMIENTO MECANICO

CAPITULO 5

“PROCESO CUNSTRUCTIVO”

- 5.1).- GENERALIDADES DE PRUEBA DE PERMEABILIDAD PARE EL DISEÑO DE POZOS DE ABSORCION
- 5.2).- PERFORACION
- 5.3).- METODOS DE PERFORACION
- 5.4).- SELECCIÓN DE QUIPOS DE PERFORACION ADECUADO
- 5.5).- EQUIPO DE PERFORACION PARA EXPLOTACION
- 5.6).- EQUIPO DE PERFORACION DE PERCUSION
- 5.7).- SECCION TRANSVERSAL DEL TREPANO
- 5.8).- EQUIPO DE PERFORACION ROTATORIO
- 5.9).-PULL-DOWN O MECANISMO PARA EJERCER PRESION DESCENDENTE EN LA HERRAMIENTA DE PERFORAR
- 5.10).- LODOS DE PERFORACION
- 5.11).- CEMENTACION
- 5.12).- PERFORACION CON AIRE

CAPITULO 6

“ESPECIFICACIONES DE CONTROL DE CALIDAD”

- 6.1).- DEFINICION
- 6.2).- MEDICION Y PAGO
- 6.3).- CONCEPTOS TRABAJO
- 6.4).- SUMINISTRO DE TUBERIAS DE ADEME Y CEDAZOS
- 6.5).- COLOCACION DE TUBERIAS DE ADEME
- 6.6).- SUMINISTRO DE GRAVA PARA FILTROS
- 6.7).- COLOCACION DE GRAVA PARA FILTROS
- 6.8).- LAVADO PRELIMINAR DEL POZO
- 6.9).- LIMPIEZA Y AGITACION MECANICA DEL POZO

CAPITULO 7

“CONCLUSIONES”

BIBLIOGRAFIA



INTRODUCCION

El presente trabajo nace con el propósito de proporcionar a los ingenieros las especificaciones de bombeo para tener un servicio calificado, en servicio y asesoría técnica, de esta manera solucionar los problemas que se les presenten, en los sectores como lo son el municipal, industrial, turístico (hoteles, balnearios, centros recreativos) y el agrícola solucionando problemas y dando alternativas de mantenimiento correctivo, predictivo y preventivo.

Debido al crecimiento de la mancha urbana en la ciudad de México y metropolitana; una de las mayores preocupaciones es la gran demanda del vital líquido el abastecimiento y suministro del agua, hemos tenido la necesidad de extraer más agua de los mantos acuíferos que se tenía contemplada para cubrir esta gran necesidad. Por lo que nos hemos dado a la tarea de empezar un programa piloto en la zona sur de la ciudad de México para empezar a recargar los mantos acuíferos del subsuelo proyectando pozos de infiltración de agua en específico la zona de Padierna ya que por sus estudios hidrológicos que presenta esta zona es la más óptima y adecuada por lo que nos arroja los mejores resultados para dicho proyecto.

Servirá como material para desarrollar nuevos modelos de equipos con más eficiencias, y permitiendo desarrollar nuevos productos que satisfagan las necesidades de campo.

Antes de hablar sobre la perforación manual de pozos profundos es importante conocer algunos aspectos generales sobre el origen de las aguas subterráneas y sobre los acuíferos, y también enfatizar en la responsabilidad que tienen sus usuarios de protegerlos y conservarlos para que puedan ser aprovechados por las generaciones futuras.

Las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas provienen de la infiltración en el terreno de las aguas lluvias o de lagos y ríos, que después de pasar la franja capilar del suelo, circulan y se almacenan en formaciones geológicas porosas o fracturadas, denominadas acuíferos.

Los acuíferos desempeñan un papel fundamental tanto como conductores de las aguas desde sus zona de recarga hasta lagos, ríos, manantiales, pantanos captaciones construidas por el hombre y como almacenadores de estos recursos que posteriormente pueden ser aprovechados para satisfacer las necesidades de abastecimiento de sus usuarios.



Existen básicamente dos diferentes tipos de acuíferos:

Acuíferos libres, son generalmente someros, donde el agua se encuentra relleno por los poros y fisuras por acción de la gravedad. La superficie hasta donde llega el agua es denominada superficie freática y en los pozos es conocida como nivel freático. (Ver figura 1)

Acuíferos confinados, en estos acuíferos el agua se encuentra a presión entre capas impermeables, de modo que si se extrae agua no queda ningún poro vacío, sólo se disminuye la presión del agua que colabora con la sustentación de todos los materiales, pudiendo en casos extremos, llegar a producirse asentamientos del terreno. La superficie virtual que se formaría si se perforaran infinitos pozos en el acuífero confinado se denomina superficie piezométrica y dentro de un pozo es conocida como nivel piezométrico. Existen también otros acuíferos denominados semiconfinados cuando las capas que lo limitan son de muy poco espesor o semipermeables.



FIGURA 1

Tipos de acuíferos

Los acuíferos son explotados a través de varios tipos de captaciones, entre las cuales las más comunes son:

Pozos profundos, perforados a través de muchas técnicas y que generalmente requieren de grandes equipos de perforación.

1.- Aljibes, que son pozos poco profundos generalmente excavados a mano y algunas veces revestidos en piedra, ladrillo o cemento.



2.- Manantiales, que son exposiciones naturales de las aguas subterráneas en superficie y que son aprovechados directamente, sin necesidad de grandes obras.

La elección de alguna de estas formas de acceder a los acuíferos dependerá tanto de las características hidrogeológicas de la zona en particular, como de las necesidades de abastecimiento de agua y de las condiciones socioeconómicas de la región.

Una de las grandes ventajas de las aguas subterráneas es que generalmente son de buena calidad para consumo humano por estar protegidas naturalmente por capas de suelos o rocas que tienen la capacidad para atenuar, retardar o retener algunos contaminantes, además de ser menos susceptibles que las aguas superficiales a cambios climáticos.

Por otro lado, una vez contaminadas las aguas subterráneas como consecuencia de alguna actividad en la superficie (agrícola, industrial, disposición residuos y de efluentes, etc) será casi imposible o demasiado costosa su recuperación. Por lo anterior cuando accedemos a estos recursos hídricos implícitamente nos debemos comprometer con su protección y conservación para garantizar su aprovechamiento futuro.

Descripción general de la técnica de perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro

La perforación manual de pozos profundos se realiza mediante una técnica relativamente fácil, rápida, económica. Esta técnica fue adaptada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y combina los sistemas de rotación y percusión, donde el origen de la fuerza motriz es la fuerza humana de los operadores o perforadores.

Como se muestra en la Figura 1, el equipo de perforación esta integrado por una Torre de Perforación, un sistema para rotación (broca, tubería y manija), un sistema de percusión y un sistema de inyección de lodo (fosas de lodo y bomba de lodo).

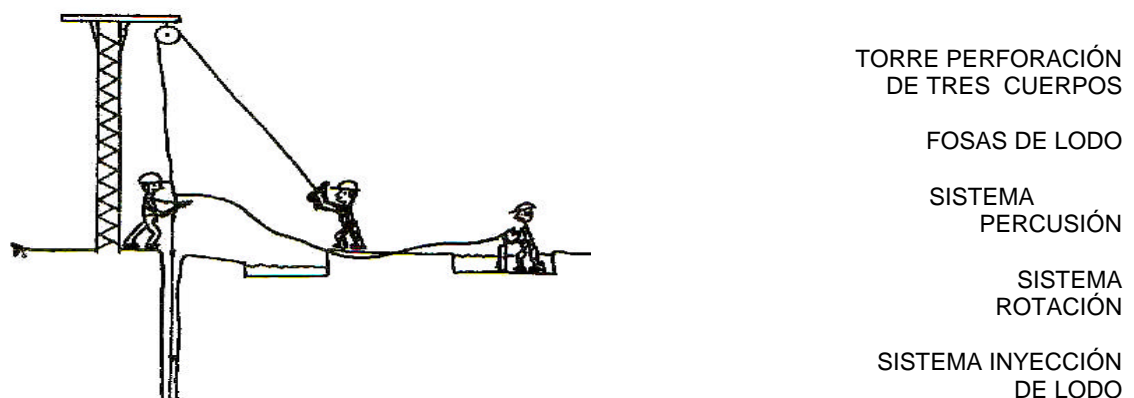


FIGURA 2



SISTEMA DE PERFORACIÓN MANUAL DE POZOS PROFUNDOS

Según varios documentos del CEPIS-OPS-OMS, se ha logrado perforar con esta tecnología hasta 90 m de profundidad en terrenos no consolidados y libres de material rocoso, con un rendimiento máximo de 30 m de perforación en 8 horas y con un grupo de trabajo compuesto por 5 operarios.

Las perforaciones generalmente se realizan hasta una profundidad que oscila entre 3.5 y 6 m después de hallado el nivel freático; bajo el cual se ubica la bomba encargada de llevar el agua a la superficie.

Las brocas de perforación tienen diámetros de 3 1/2" o de 5 1/2" a 6", para entubar o encamisar el pozo con tubería de 2" o 4" respectivamente.

Las bombas manuales de agua instaladas en los pozos, tienen una capacidad de extracción de hasta 0.6 litros por golpe (presión de la manija). Sin embargo debe recordarse que los caudales a extraer de un acuífero no sólo dependen de la capacidad de las bombas, también de las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos, la buena construcción y estado del pozo, la limpieza de los filtros, entre otros.

En el proceso de construcción de estos pozos existen una serie de etapas previas y posteriores a la perforación, como se menciona a continuación:

Etapas Previas

Inicialmente se debe seleccionar el sitio apropiado para la perforación, lo cual incluye además de la concertación con la comunidad, una serie de estudios hidrogeológicos previos que ayuden a identificar los posibles acuíferos e interpretar cual es su disposición en la subsuperficie. El sitio también debe estar alejado de las posibles fuentes de contaminación de las aguas subterráneas.

Preparación y montaje de los equipos de perforación con todas las especificaciones técnicas (Torre de perforación, barras o tubería de perforación, broca, bomba de lodo y bomba de agua)

Etapas de Perforación

Una vez contruidos y montados todos los equipos de perforación, se procede a su instalación en el sitio seleccionado y se inicia la etapa de perforación.

Instalación del equipo de perforación, lo que incluye anclaje de la torre de perforación, instalación de la manija o agarrador en forma de "T", los tubos de perforación y la broca, la excavación de las fosas de lodo, instalación de la bomba de lodo y de la manguera de inyección. (ver figura 2).



Posteriormente viene la etapa de perforación en sí, que consiste en un proceso combinado de rotación y percusión basado en la fuerza de los operadores o perforadores.

Etapa Posterior a la Perforación

Esta etapa incluye la limpieza del pozo, el entubado del pozo, la instalación del sello sanitario, la instalación de la bomba de agua y del cabezal.

Finalmente se deben tener en cuenta unas recomendaciones sobre el cuidado y mantenimiento preventivo de las instalaciones y sobre control de la posible contaminación del sitio.

Cada uno de estas etapas serán tratados detalladamente en los siguientes capítulos.

CAPITULO 1

“ASPECTOS GENERALES”

Especificaciones Tecnicas generales para construcción y rehabilitación de pozos.

Se entenderá por “perforación de pozos” al conjunto de trabajos, operaciones y/o maniobras que se efectuaran, mediante el uso de equipo, herramientas y accesorios de perforación para perforar pozos profundos destinados ya sea a la exploración o explotación de aguas subterráneas.



1.1.- Equipo de perforación

- a).- Para la perforación de estos pozos podrán emplearse equipos tipo percusión o rotatorio, utilizando como fluido de perforación en estos últimos, agua, lodos bentoníticos de baja viscosidad, aire y combinación de éstos, sean de circulación directa, inversa o neumáticos.
- b).- El equipo empleado en cada caso, deberá tener la capacidad suficiente para alcanzar la profundidad que se especifique con el diámetro "Ø" de barrena que se señale.
- c).- Los equipos de perforación de cualquier tipo, deberán estar provistos de los aditamentos necesarios para realizar pruebas de productividad y de estabilización de niveles de lodos o agua, ejecutadas por medio de cuchareo, sifoneo o circulación de fluidos que en su caso deberá ordenar por escrito el Residente antes de correr registros eléctricos o proceder a dar instrucciones para las ampliaciones y ademado de los pozos.
- d).- Cada equipo de perforación del tipo rotario deberá contar con los accesorios necesarios para la medición de viscosidad y densidad de lodos.

1.2.- Programa de perforación.

El Contratista no deberá iniciar ninguna obra sin la orden escrita del residente designado en la que se especificará:

- a).- La localización precisa de la obra.
- b).- Diámetro de la exploración (8" a 12" nominales únicamente) y profundidad tentativa de la misma.
- c).- En cada perforación, invariablemente se instalará un conductor o contra ademe, utilizando tubería de acero, tambores de 200 litros o tubería PVC, debidamente fijada, cementando el espacio anular entre ésta y la perforación.
- d).- Una vez alcanzada la profundidad total de la exploración, o en su caso la profundidad a partir de la cual se reducirá el diámetro "Ø" de la perforación, se procederá a realizar las pruebas anotadas en 1.3 y cuando se ordene por escrito, se correrán en el pozo uno o varios registros que podrán ser: eléctricos, de rayos gamma, de neutrones, sónico, de molinete hidráulico, de temperatura o de calibración de diámetro.



1.3.- Registro de penetración:

Durante la perforación, el Residente deberá llevar un registro cuidadoso de la resistencia a la penetración.

Si el equipo es de tipo percusión esta resistencia se medirá por el número de golpes dados para avanzar cada metro o por el tiempo efectivo de perforación en avanzar cada metro.

Si el equipo es de tipo rotatorio, la resistencia a la penetración se medirá por el tiempo efectivo de perforación para avanzar cada metro, registrando el peso sobre la barrena ó el diámetro y longitud de lastrabarrenas (dril collars), indicando tipo y diámetro “Ø” de la barrena, así como las revoluciones por minuto de la mesa rotatoria.

Servirá de base para clasificación cuando se pierda circulación.

Muestreo:

Durante la perforación, el contratista deberá obtener muestras de los materiales atravesados a cada 2 metros de avance en la perforación.

Además, se tomarán muestras adicionales en los cambios de Formación Rocosa.

Las muestras obtenidas deberán guardarse en frascos de vidrio suministrados por el Contratista, etiquetándolos con el nombre o número progresivo de la muestra y profundidad a la que corresponda.

La Resistencia deberá almacenar todas las muestras durante un período mínimo de 2 años.

Para obtener cada muestra, se procederá en la siguiente forma:

- a.- Si el equipo de perforación es de tipo percusión, una vez alcanzada la profundidad de muestreo se tomará esta mediante cuchara de charnela, de charnela, procurando que la muestra sea representativa del fondo del pozo.
- b.- Si el equipo es de tipo rotatorio, de circulación directa, se tomará la muestra de canal del material cortado que llegue a la superficie.
- c.- Si el equipo es de tipo rotatorio, de circulación inversa, la muestra se tomará directamente en la descarga del retorno de la circulación, utilizando para esto una malla suficiente cerrada.

Cuando se prevea la existencia de acuíferos salinos, se deberá llevar un registro de mediciones de resistividad de los lodos, de acuerdo a las indicaciones por escrito del residente.



Con las muestras de los materiales cortados durante la perforación, la resistividad de los lodos y con el auxilio de los registros que se hayan corrido de acuerdo con el inciso 2.3, el residente formará el corte litológico definitivo y de inmediato el proyecto de terminación del pozo.

Para esto último deberá verificar la estabilización del nivel estático y en su caso realizar las pruebas de productividad anotadas.

1.4.- Construcción:

Durante la construcción de cada pozo, deberá, llevarse un registro cuidadoso en las formas aprobadas por la Institución, el que invariablemente deberá ser firmado al término de cada turno de trabajo, en cada una de sus hojas, por el Inspector de la Institución y el perforador o el Jefe de Pozo de la Contratista.

En dichos registros deberá consignarse lo siguiente:

- a.-** Clase, marca y tipo del equipo de perforación y en su caso marca y capacidad del compresor y de la bomba de lodos.
- b.-** Nombre o número de identificación del pozo.
- c.-** Localización correspondiente.
- d.-** Fecha y hora de iniciación o de terminación de cada turno de trabajo.
- e.-** Horas efectivas de trabajo en cada turno, suspensiones ocurridas y causas que las motivaron.
- f.-** Profundidad a la que se encuentre el agua o en la que se aprecien pérdidas parciales o totales de circulación. Recuperaciones.
- g.-** Nivel de agua o de lodo en el pozo al iniciar y terminar cada turno de trabajo.
- h.-** Cambio de barrenas en equipo rotatorio, anotando si es nueva, reparada y su estado de uso; además de su tipo o afilado en equipo de percusión.
- i.-** Anotar también en el registro diario de perforación, el número progresivo de cada muestra con las profundidades a las que corresponde y el material de que se trate, según clasificación de campo. Cuando se espere la presencia de acuíferos salinos deberán tomarse registros de cambios de resistividad en el fluido de perforación, anotando también la resistividad del lodo en las fosas y del agua suministrada.
- j.-** Todas aquellas observaciones adicionales que pueden proporcionar información respecto al comportamiento de la perforación tales como variaciones bruscas del nivel de agua o lodo, pérdidas de circulación, descomposturas del equipo causas, consumos de bentonita y agua, derrumbes, etc., pruebas de estabilización de nivel y de productividad con sifoneo, circulación y cuchareo.



1.5.- Clasificación General de las Formaciones:

Geológicas para formular estimaciones de trabajos de perforación de pozos:

a.- Material tipo “ I ”

Arcilla
Arenas y gravas
Limos
Tobas re-depositadas
Depósitos lacustres
Pómez, lapilli y cenizas volcánicas.

b.- Material tipo “ II ”

Areniscas
Conglomerados y brechas
Lutitas
Pizarras
Calizas y dolomitas
Rocas metamórficas
Tobas no re-depositadas
Tezontle

c.- Materiales tipo “ III ”

Rocas ígneas extrusivas sanas
Rocas ígneas intrusivas sanas
Cuarzitas
Cantos y boleos inestables
Aglomerados volcánicos
Calizas

1.6.- Terminación de pozos:

Una vez que se compruebe la estabilización del nivel de agua en el pozo después de pruebas de productividad, utilizando el corte litológico elaborado con las muestras de las formaciones obtenidas durante la perforación y complementando con el registro eléctrico o de otros tipos que se ejecuten, el Residente determinará si la perforación es positiva o negativa y en consecuencia hará el proyecto de terminación con las ampliaciones correspondientes, además, engravado y cementación del pozo en su caso.



a).- Ampliaciones:

Estas comprenden los trabajos necesarios para proporcionar las dimensiones definitivas al pozo, conforme al diseño que ordene por escrito el Residente

Las ampliaciones se liquidarán con los conceptos de precios unitarios contenidos en el catálogo, aplicando directamente los correspondientes a los diámetros definitivos, independientemente que el Contratista haya realizado el trabajo en uno o varios pasos.

Cuando la perforación exploratoria se realice en 20.32 cm (8" nominal) de diámetro " Ø " y el pozo se termine con un diámetro igual o mayor a 30.48 cm (12" nominal) de diámetro "Ø", para fines de pago se estimará únicamente la perforación según conceptos contenidos en el catálogo de conceptos y precios unitarios y la ampliación a diámetro definitivo que proceda, según los conceptos respectivos del mismo catálogo.

b).- Ademado:

El Residente indicará por escrito la posición, diámetros, espesores, tipos y demás especificaciones de la tubería para ademe, lisa y cedazo, destacando la longitud correspondiente a la cámara de bombeo.

Las especificaciones de las tuberías para ademe lisas y cedazos con excepción de los tipos P.V.C., o de los cedazos tipo rejilla estarán bajo normas A.P.I. – 5LX ó A.S.T.M., A-53 y A-120.

Serán fabricados con lámina nueva y cada tramo deberá estar biselado a 30° en sus extremos, presentando una sola costura longitudinal soldada eléctrica y automáticamente a tope. Sólo en la tubería tipo canastilla se aceptará como máximo una sola costura transversal. La longitud de cada tramo será como mínimo de 6.10 metros (20') o bien aquella que la Residencia, ordene o autorice, obligada por el diseño del pozo; pero en ningún caso de cedazo, los extremos lisos tendrán una longitud mayor a 0.254 m (10").

La corrida de la tubería de ademe se realizará en una sola operación continuada previo acondicionamiento del pozo y previo acondicionamiento del pozo y para el soldado de los tramos se emplearán soldaduras de alta resistencia a la tensión (E 6011, 6012 ó 6013), en cordones de 1.587 mm (1/16") mayores que el espesor de la tubería, constituidos por lo menos de dos capas de soldadura, usando electrodos de diámetros igual o menor al espesor de la pared de la tubería, de acuerdo con las recomendaciones de la American Welding Society (AWS).

El ademe se formará con tramos completos de tubería y de cedazo soldados a tope.

La longitud total del ademe será tal, que sobre salga un metro del terreno natural.



1.7.- “Prueba de verticalidad”.

La tubería entrará holgadamente en la perforación y deberá girar libremente cuando esté suspendida, no debiendo ser hincada en ningún caso.

Invariablemente la columna de ademe y cedazo deberá quedar colgada mediante anclaje adecuado desde la superficie del terreno y cuando por problemas de construcción, se tenga la necesidad de telescopiar la tubería traslapando la de menor diámetro “Ø”, se usarán soltadores para mantenerla colgada mientras se coloca el filtro de grava.

En el caso de pozos compuestos por diámetros decrecientes, la parte inferior de cada intervalo estará provista de una zapata con objeto de proteger el filtro grava al proseguir la perforación.

La unión de los diversos tramos de ademe, cuando se trate de diámetros decrecientes, podrá estar provistos de los centradores necesarios.

El ademe deberá quedar centrado en la perforación para lo cual podrá estar provisto de los centradores necesarios.

Cuando los pozos requieran ademarse en toda su profundidad, ya sea a un solo diámetro o a diámetros decrecientes, será necesario que en el extremo inferior de la tubería más profunda, previamente a su colocación se fragüe en su interior un tapón de cemento de un metro de espesor.

a).- Filtro de grava:

Cuando en el programa de terminación se consigne la necesidad de colocar un filtro de grava para contener los finos de las capas acuíferas, el contratista deberá disponer de existencia suficiente de grava apegándose a lo siguiente:

La calidad de la grava se basará en su constitución petrográfica o mineralógica, redondez y uniformidad, lo que deberá ser verificado por la residencia al inicio de la obra.

La grava se proporcionará en la calidad y tamaño que ordene por escrito el residente cribada y lavada, y no se permitirá el inicio de una corrida de tubería de ademe sin disponer de la grava en el sitio.

No se aceptará material para filtro de composición calcárea y fácilmente alterable, se preferirá la grava de cuarzo. Tampoco se aceptará material triturado.

El filtro de grava se colocará por gravedad en el espacio anular entre la tubería de ademe y las paredes de perforación, facilitando su descenso mediante circulación de lodo diluido es decir de baja viscosidad.



b).-Lavado del pozo con circulación de agua limpia:

Se entenderá por este concepto a las operaciones que tendrá que efectuar el contratista para extraer del pozo los sólidos y coloides en suspensión contenidos como consecuencia de los trabajos de perforación.

En pozos perforados con circulación de lodo, se introducirá la tubería de perforación franca hasta el fondo del pozo, para circular agua exclusivamente, extrayéndola de tramo en tramo, hasta que por el pozo salga "limpia".

Si el pozo se perforó utilizando como fluido de perforación aire o agua, no se requerirá lavado primario. Solo se empleará el lavado de presión con agua o con aire si el material del filtro no bajó adecuadamente.

Si el pozo se perforó por el sistema de percusión y no se cuenta con equipo de lavado a presión, se realizará una agitación mecánica con cuchara o pistón, cuyo exterior deberá ser aproximadamente la mitad del diámetro "Ø" interior del ademe y se realizará lentamente, descendiendo paulatinamente en estaciones a cada tres metros, a partir del nivel estático.

Esta operación podrá realizarse también en pozos perforados con el sistema rotatorio, siempre y cuando así lo ordene el Residente:

c).- Dispensor de arcillas: Después de las operaciones anteriores se verterá al pozo un producto dispensor de arcillas en el volumen y concentración que la Residencia especifique.

d).- Registro electrico: Se podrán correr registros eléctricos o de cualquier otro tipo, de acuerdo con las instrucciones que dé por escrito el residente. Estos no podrán correrse sin su presencia y autorización, por lo cuál el contratista deberá darle aviso oportuno.

El original de dicho registro será entregado a la Residencia con un encabezado en el que se consignen los siguientes datos: Nombre, localización, diámetros y profundidades del pozo, número de corrida, resistividad del lodo o del agua dentro del pozo, viscosidad del lodo en segundos y su temperatura.

1.8.- Operaciones especiales:

Las operaciones especiales se definen como aquellas que eventualmente podrán realizarse por demandarlo el diseño del pozo o los problemas de perforación pudiendo ser estas las siguientes:



a).-Cementaciones:

Entre éstas se tienen las cementaciones primarias o tuberías de ademe, que se realizan por circulación directa por el método de doble tapón o por gravedad, pudiendo ser en este último caso por espacio anular o por el interior de la propia tubería de ademe, desplazando la lechada de cemento a través de la tubería de perforación o mediante el descenso de bolsas con cemento y su ulterior ruptura en el fondo.

b).-Estimulaciones de acuíferos:

Estas operaciones consistirán en la inyección de productos estimuladores de la permeabilidad en los acuíferos, los cuales se inyectarán por gravedad o por presión aplicada. Estas operaciones serán programadas por la residencia, a recomendación de la Contratista.

c).- Prueba de producción:

Cuando la residencia lo estime necesario, ordenará por escrito, pruebas de producción y/o muestreo de acuíferos en la perforación de diámetro “Ø” exploratorio, mediante cuchareo, sifoneo o inyección de agua.

1.9.- Disposiciones generales:

A las especificaciones y normas anteriores, se agregan las siguientes disposiciones generales:

El lodo de perforación, en caso de usarse, se elaborará con bentonita sódica de buena calidad y sólo en casos de problemas de salinidad se permitirá el uso de “atta pulgita”. No se aceptarán lodos elaborados con arcillas naturales.

Para la inspección de la obra, el instituto nombrará uno o varios inspectores cuya misión será exclusivamente de chequeo, inspección y anotación de las diversas maniobras, operaciones y/o trabajos que el contratista realice, pero en ningún caso podrá dar o recibir órdenes al o del Contratista. En cuanto a la supervisión de la obra, ésta será realizada por personal calificado de la Residencia debidamente acreditado por la misma, estando este personal autorizado para dar al Contratista las órdenes necesarias sobre el programa de trabajo.

Los pozos fuera de las tolerancias de verticalidad ya especificadas serán rechazadas al Contratistas, sin tener derecho a ninguna retribución.

Los pozos abandonados por el Contratista, causarán la reclamación jurídica y económica que la Institución considere aplicable dentro de los términos del contrato.



En caso de pozos que se den por terminados sin lograr la profundidad programada por causas imputables al contratista, el pago de la obra se condicionará a que el pozo resulte satisfactorio a juicio de la Institución. En caso contrario, el contratista no tendrá derecho a ninguna retribución cubriendo inclusive el costo del desarrollo o aforo del pozo, debiendo realizar el taponamiento superficial.

Si el volumen de grava para filtro resulta ser menor del teórico calculado, el Contratista, por su cuenta y riesgo, realizar operaciones adicionales a las ya descritas, condicionándose el pago del pozo a la producción de finos, los cuales de no controlarse en un desarrollo de 72 horas cuyo costo también cubrirá el Contratista, cancelaran cualquier compromiso de pago del Instituto.

Cualquier acción del contratista que ponga en peligro la durabilidad y productividad del pozo, a juicio de la Residencia, será motivo de rechazo de la obra sin remuneración para el Contratista.

1.10.- Desarrollo y aforo de pozos o prueba de bombeo

Definición y Ejecución: Desarrollo de un pozo es el conjunto de operaciones por medio de las cuales se logra un aumento de la porosidad y permeabilidad de las formaciones acuíferas circunvecinas al pozo, desalojando de ellas hasta donde es posible los materiales granulares finos empaquetan los intersticios de las formaciones y así mismo de lodos infiltrados en las formaciones acuíferas, en el caso de que se hubieran usado durante los trabajos de perforación.

En las presentes especificaciones se entenderá por desarrollo de un pozo al conjunto de operaciones que tendrá que efectuar el contratista para que utilizando una bomba

CAPITULO 2

“TRABAJO DE CAMPO”



2.1).- Geohidrología:

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

Es un hecho bien reconocido que en nuestro País muchas de sus regiones. No son igualmente favorecidas por la precipitación pluvial en cuanto a su abundancia y distribución anual. Así como por la existencia de corrientes naturales que puedan aprovecharse. Esto ha sido posible gracias al avance de la geohidrología en el campo de la investigación.

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

Durante el recorrido general de la zona, el geólogo recaba datos sobre el clima y precipitación pluvial de la región de que se trate así como de las condiciones que privan dentro del Área de estudio para definir las características fisiográficas y geológicas de la misma.

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



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

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

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

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



Por medio de los estudios hidrológicos se determinan forma expedita las direcciones y sentidos de flujo subterráneo mediante el empleo de pozos piezométricos y la obtención del gradiente hidráulico o bien, por medio de estudios geoquímicos basados en los cambios que se manifiestan en la composición química de las aguas subterráneas por el contacto de estas con las rocas por donde fluye.

Estos valores permiten la formación de cartas curvas isopiezométricas o de igual valor para una o varias características químicas del agua con las que es posible obtener un esquema general del flujo subterráneo, además de permitir identificar el origen y calidad de las mismas.

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

El coeficiente de permeabilidad mide la capacidad del material saturado por el agua para dejarla escurrir. La unidad de permeabilidad es el Darcy y la subdivisión más usual de esta el Milidarcy. Se dice que un medio poroso tiene una permeabilidad de un "Darcy" cuando permite el paso de 1 cm³/seg. De un fluido con viscosidad de un Centipoise a través de un área de 1 cm², con una presión diferencial de una atmósfera a una temperatura 15.5 °C y una viscosidad de un centipoise:

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

$$P = \text{Permeabilidad (M}^3 \text{ / día) / M}^2$$

$$I = \text{gradiente}$$

$$Q = \text{gasto (m}^3 \text{ / día)} \quad h = \text{diferencia de presiones}$$

$$A = \text{área (m}^2) \quad l = \text{longitud (m).}$$

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

$$T = P \cdot m$$

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

$$M = \text{espesor del acuífero (m)}$$

$$T = \text{Coeficiente de transmisibilidad (} \frac{\text{M / día)}{\text{m}^2} \quad m = \frac{\text{m}^2}{\text{día}}$$

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



2.2).- Geofísica:

Existen varias definiciones: una de ellas: es la ciencia que investiga la naturaleza física de la tierra. Otra, la considera como el conjunto de técnicas físico matemáticas aplicadas a la explotación del subsuelo, para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles, por medio de observaciones desde la superficie terrestre o bien, es la rama de la Física aplicada, que se ocupa del estudio de estructuras ocultas en el interior de la tierra y de la localización en el subsuelo de cuerpos delimitados por el contraste de algunas de sus propiedades físicas con las del medio circundante, por medio de observaciones realizadas en la superficie del terreno.

A).- Exploración geofísica

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

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

B).- Método gravimétrico

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

C).- Método magnético

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

D).- Método sísmico

La sismología se basa especialmente en las variaciones de la elasticidad y densidad que presentan los materiales que componen la corteza terrestre, utilizando para su aplicación ondas elásticas producidas artificialmente, dependiendo por lo tanto de la velocidad de



propagación de estas ondas a través de las rocas, siendo necesario para su empleo que exista un plano de contacto entre dos materiales de diferentes propiedades elásticas. De acuerdo con el carácter de las ondas cuyo tiempo de propagación es el que se mide, se ha desarrollado dos métodos diferentes; el de refracción y el de reflexión. El primero basa sus estudios en las ondas refractadas y el segundo en las ondas, detectadas en las superficie por los geófonos o sismómetros, los que conectados al sismógrafo, genera una gráfica de tiempo de recepción la que por conocimiento geológicos. El método de refracción es el más comúnmente empleado con fines de localización.

E).-Método eléctrico

Las estructuras geológicas pueden ser delineadas mediante la interpretación de sus reacciones con los campos eléctricos y electromagnéticos; sin embargo, lo limitado del poder de penetración del método, restringe su aplicación a aquellos accidentes estructurales comprendidos dentro de profundidades aproximadas de 500 m (actualmente ya existen equipos con penetraciones hasta de 1500 m. Que trabajan a frecuencia muy reducida).

2.3).-Relaciones de caída de potencial

Estas son una de las aplicaciones del Método Eléctrico; se funda en la propagación de una corriente eléctrica de muy baja frecuencia y de las características físicas del subsuelo.

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

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

De acuerdo con lo anterior las rocas compactadas presentaran una elevada resistencias al paso del flujo de la corriente; si son permeables opondrán baja resistencia. La que disminuirá aun más si contienen agua.

El procedimiento consiste en formar un campo eléctrico artificial en el subsuelo generándolo desde la superficie del terreno mediante el contacto de planchas metálicas llamadas electrodos de corriente y obtener potenciales inducidos a través del contacto



de los electrodos con la profundidad teórica de la exploración con los puntos de contacto de la fuente corriente y la distancia a los de captación del campo (electrodos de potencial). Permiten el cálculo y trazo de graficas que sirven para determinar las zonas de saturación y la profundidad a la que estas se registran, más no datos precisos sobre potencialidad de los acuíferos.

A).-EQUIPOS EMPLEADOS:

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

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

FUENTE DE ENERGIA

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

ELECTRODOS PRIMARIOS

Los electrodos primarios son dos, consiste en placas metálicas a las que están conectados unos pies cortos verticales dotados de agarraderas: estas placas se colocan en pequeñas excavaciones hechas ex profeso sobre la superficie del terreno previamente humedecidas con un electrolito formado con agua mas una sal (generalmente cloruro de sodio comercial) para disminuir la resistencia de contacto.

La distancia que separa los electrodos de corriente es aproximadamente 5 veces la profundidad teórica que se desee alcanzar y formara un ángulo recto con la línea de estudio.

ELECTRODOS SECUNDARIOS

Los tres electrodos secundarios o de potencial, son varillas de cobre de sección circular que deben enterrarse en el suelo lo más firmemente posible a fin de disminuir las variaciones en la resistencia de contacto y, en la misma forma que los electrodos primarios también se humedecen con agua, agregándole cloruro de sodio. La separación de estos electrodos esta en proporción de la distancia de la estaca central al electrodo de corriente. Los intervalos demasiado pequeños entre los electrodos. Por ejemplo: 0.50



m a 1.00 m., normalmente producen lecturas semejantes reportando curvas de gran continuidad y si estos son muy grandes de 10.00 m en adelante, pueden proporcionar lecturas con valores cuyas diferencias entre si sean tales que generen graficas de poca claridad y de interpretación sujeta a errores: por lo tanto es conveniente utilizar intervalos con distancias de mas o menos 3 m.

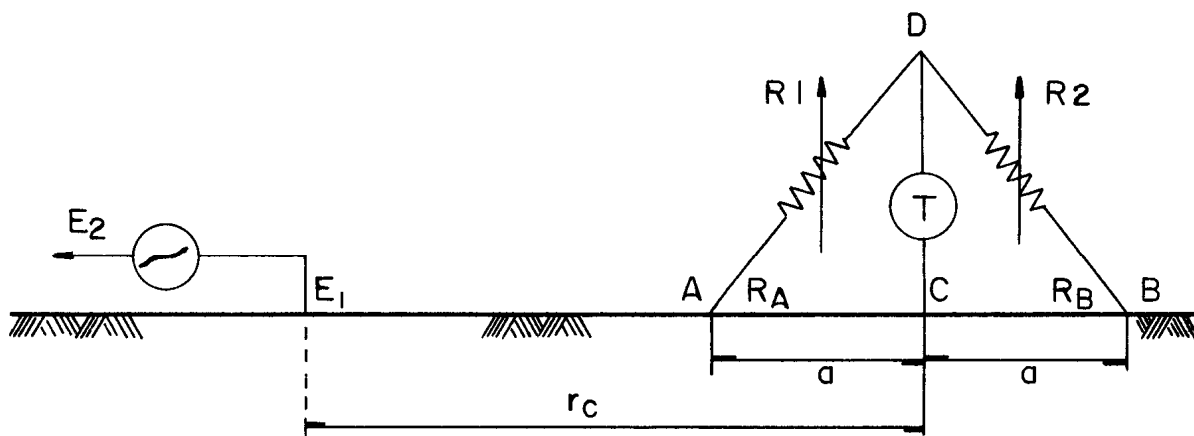
GRADIOMETRO DE RESISTENCIA

El radiómetro de resistencia permite obtener desde la superficie, por medio de mediciones de potencial, datos de las distancias resistividades aparentes de las rocas que constituyen el subsuelo.

Este aparato al que van conectados los tres electrodos de potencia A-B-C, mide el gradiente de potencial entre los electrodos de potencia C-A y C-B es decir, el gradiente o diferencia de potencial entre ambos.

Estas dos caídas de voltaje, se aplican a los brazos de un puente de corriente alterna provisto de un circulo de balanceo formado por resistencia y condensadores, que en si es un puente de Wheatstone con las innovaciones requeridas para estos fines.

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



ESQ . I

La fuente de energía eléctrica se conecta a los electrodos de corriente **E1** y **E2** teniendo cuidado de que el **E2** quede situado a una distancia tal, que únicamente la distribución del potencial debida a **E1** sea la considerada. El puente hace contacto con el terreno en tres puntos **A-C-B**; los brazos del circuito **AD-DB** tienen dos resistencias variables conocidas **R1** y **R2** y dos resistencias fijas de contacto **RA** y **RB** de los electrodos **A** y **B**. Cuando el puente este balanceado o equilibrio, el galvanómetro "T" permanecerá fijo.



2.4).-PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Existen varios procedimientos conocidos como Primera, Segunda y Tercera variante, cuya diferencia esta basada en la colocación de los electrodos sobre la línea de estudio, ya que la penetración se incrementa aumentando por etapas sucesivas la distancia que media entre el conjunto de electrodos primarios y secundarios.

PRIMERA VARIANTE

Una vez escogida la equidistancia “a” de acuerdo con la profundidad teórica que se desea alcanzar, los electrodos secundarios **A-C-B**, cuya separación es igual para ambos, permanecerán fijos y el electrodo de corriente ira recorriendo la línea de estudio que es un múltiplo “n” de la distancia “a” ocupando las posiciones sucesivas **E0 E1 E2.....En**, después de cada observación, de tal manera que estas queden ligadas entre si. La medida de las relaciones de los potenciales **A y B** logradas por el aparato en cada posición, proporciona los datos para calcular las relaciones de caídas de potencial por relación normal.

SEGUNDA VARIANTE

De la misma manera que en la Primera variante, la distancia que separa los electrodos **A-C Y C-B** es igual pero en este caso el electrodo “**C**” queda fijo y la equidistancia “a” va incrementándose al mismo tiempo que crece la distancia **rc** hacia el electrodo de corriente **E1**, conservando una relación fija $M = rc/a$, Generalmente a M se le da un valor igual a **3** para facilitar el calculo; sin embargo, los incrementos de “a” pueden ser cualesquiera, pero es conveniente que aumenten una misma cantidad.

TERCERA VARIANTE

En esta variante la distancia entre **A y C** es diferente de la que existe entre **C y B** las que van incrementándose durante el proceso de trabajo al aumentarse las distancias a **E1**, permaneció fijo el electrodo central **C**.

APLICACIÓN DE LA SEGUNDA VARIANTE

El método de relaciones de caídas de potencial aplicando la segunda variante, puede utilizarse tanto a secciones transversales como en sondeos geoelectricos: tienen como finalidad la localización de zonas mineralizadas, fallas, fracturas, diques, etc, En nuestro caso, la de las aguas subterráneas esencialmente.

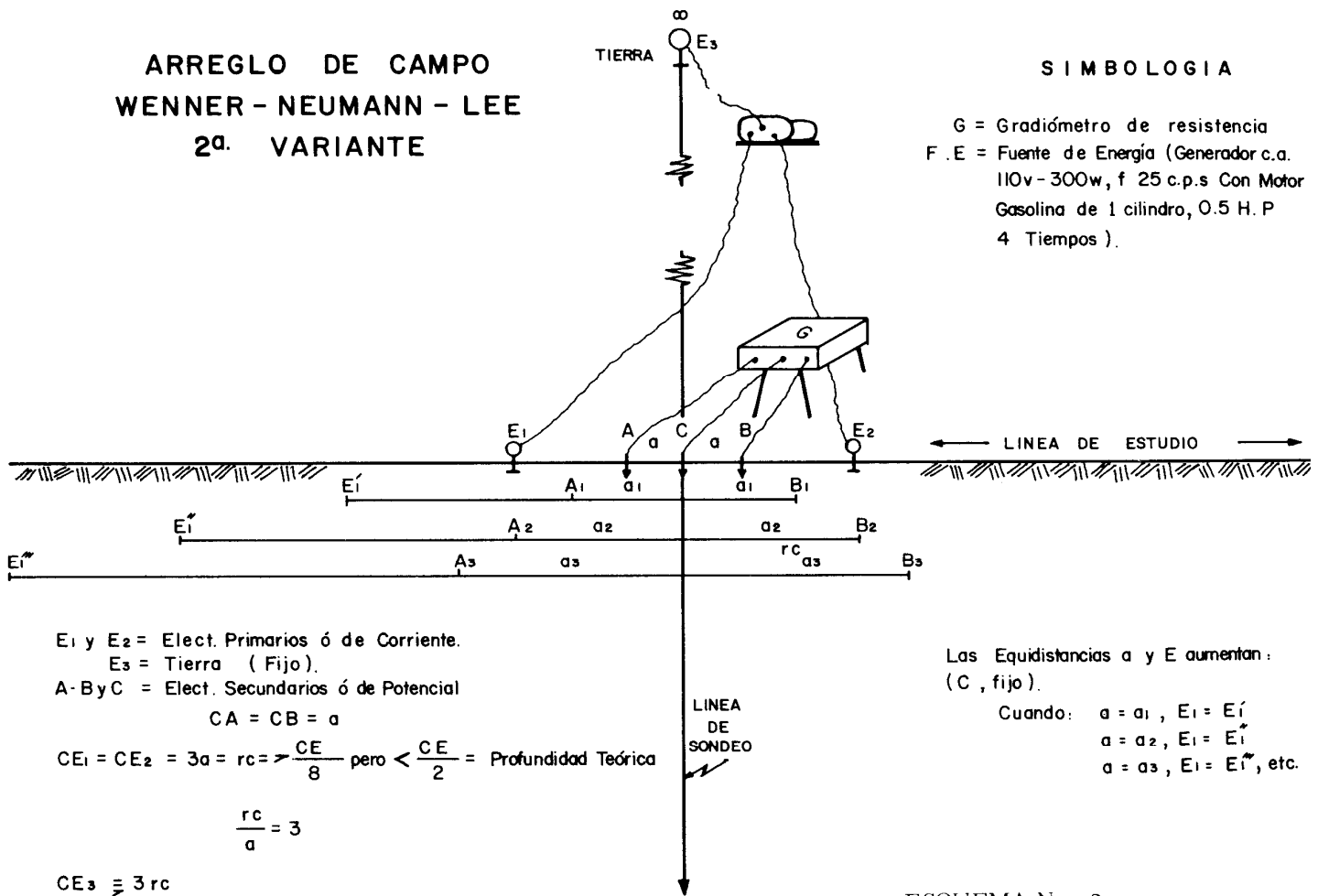
Con estudios de este tipo se puede investigar la existencia y/o continuidad de dichos accidentes.



2.5).-SECCIONES GEOELECTRICAS

Las secciones geoelectricas aplicando el método de relaciones de caídas de potencial en la localización de las aguas subterráneas (cuando no se trate de acuíferos confinados ya que estos casos bastara con sondeos), deberán correrse transversalmente al posible flujo de las aguas del subsuelo para determinar los lugares de máxima saturación su profundidad deberá fijarse mediante sondeos en los sitios que las propias secciones indiquen.

ARREGLO DE CAMPO WENNER - NEUMANN - LEE 2ª. VARIANTE



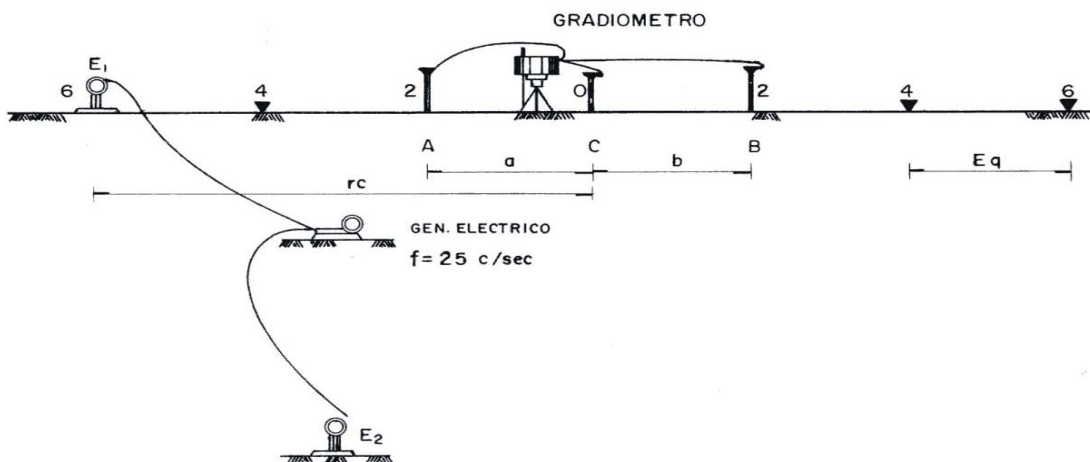
ESQUEMA No. 2



La técnica de operación de este método, consiste en efectuar, observaciones a lo largo de la línea previamente seleccionada, después que los intervalos de lectura, espaciamiento de electrodos de potencial y profundidad teórica por alcanzar (**rc**), hayan sido fijados. La sección se corre a profundidad constante, moviendo el conjunto de electrodos e instrumentos a lo largo de la línea, haciendo lecturas en los puntos de equidistancia establecida; la pertenece constante durante la exploración. Este proceso de observación se lleva a cabo de uno a otro extremo de la línea de estudio en doble sentido con objeto de eliminar posibles influencias de carácter superficial, debido a pequeños accidentes tanto topográficos como geológicos. De las lecturas obtenidas con el aparato y hecha su corrección por calculo, se obtiene la grafica promedio de los valores (**B/A F**) de relaciones de caídas de potencial, en la que finalmente se observan las anomalías eléctricas que por sus fuertes variaciones llaman la atención, mostrando los lugares críticos para considerarlos como zonas o puntos de accidentes geológicos a los que deben ponerse especial cuidado. Es de comprenderse que esta característica eléctrica de las rocas juega un papel muy importante en las caídas de potencial que registra el aparato, ya que las variaciones de resistividad están íntimamente ligadas con los cambios litológicos de las formaciones las cuales son perceptibles, como puede notarse en las graficas Nos.1 y 1°

Los que al correlacionarlos entre sí proporcionan la información requerida para los fines que se persiguen. Esto es de vital importancia ya que comúnmente para la localización del sitio donde se pretende perforar un pozo, se corre un solo sondeo geoelectrico

ARREGLO DE ELECTRODOS EN SONDEOS VERTICALES
(TERCERA VARIANTE)



ESQ. 3

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

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

RESULTADOS DE INTERPRETACIÓN.-

Terminado el trabajo de campo, se efectuaron los cálculos requeridos para lograr los valores de graficación para las curvas parciales de B/A F de relaciones de caída de potencial y obtener la grafica promedio de dichos valores. Con esos datos y dibujadas las graficas se puede observar que en la grafica promedio $r_c = 45m$. se tienen valores mínimos entre las estaciones 18 y 20, presentándose como curva plana entre las estaciones 2 y 14 con un máximo sobresaliente en las estaciones 15 y 16 también se pueden observar que es relativamente plana entre las estaciones 20 y 29.

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

			E ₁ al S 13° E		E ₁ al N 13° W		(Secc. No. 1)
Electrodos de Potencial			Relac. Obs	Relac. Corr.	Relac. Obs.	Relac. Corr.	Prom. Relac.
A	C	B	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A} F)$
0	3	6	0.770	1.540	0.590	1.180	1.360
1	4	7	0.810	1.620	0.570	1.140	1.380
2	5	8	0.760	1.520	0.490	0.980	1.250
3	6	9	0.680	1.360	0.570	1.140	1.250
4	7	10	0.650	1.300	0.570	1.140	1.220
5	8	11	0.775	1.550	0.425	0.850	1.200
6	9	12	0.710	1.420	0.410	0.820	1.120
7	10	13	0.685	1.370	0.475	0.950	1.160
8	11	14	0.396	1.396	0.442	0.884	1.140
9	12	15	0.681	1.362	0.479	0.958	1.160
10	13	16	0.730	1.460	0.400	0.800	1.130
11	14	17	0.720	1.440	0.430	0.860	1.150
12	15	18	0.830	1.660	0.360	0.720	1.190
13	16	19	0.842	1.684	0.368	0.736	1.210
14	17	20	0.780	1.560	0.450	0.900	1.230
15	18	21	0.715	1.430	0.835	1.670	1.550
16	19	22	0.700	1.400	0.820	1.640	1.520
17	20	23	0.698	1.396	0.422	0.844	1.120
18	21	24	0.663	1.326	0.387	0.774	1.050
19	22	25	0.640	1.280	0.220	0.440	0.860 (*)
20	23	26	0.655	1.310	0.585	1.170	1.240
21	24	27	0.710	1.420	0.510	1.020	1.220
22	25	28	0.690	1.380	0.570	1.040	1.260
23	26	29	0.693	1.386	0.617	1.234	1.310



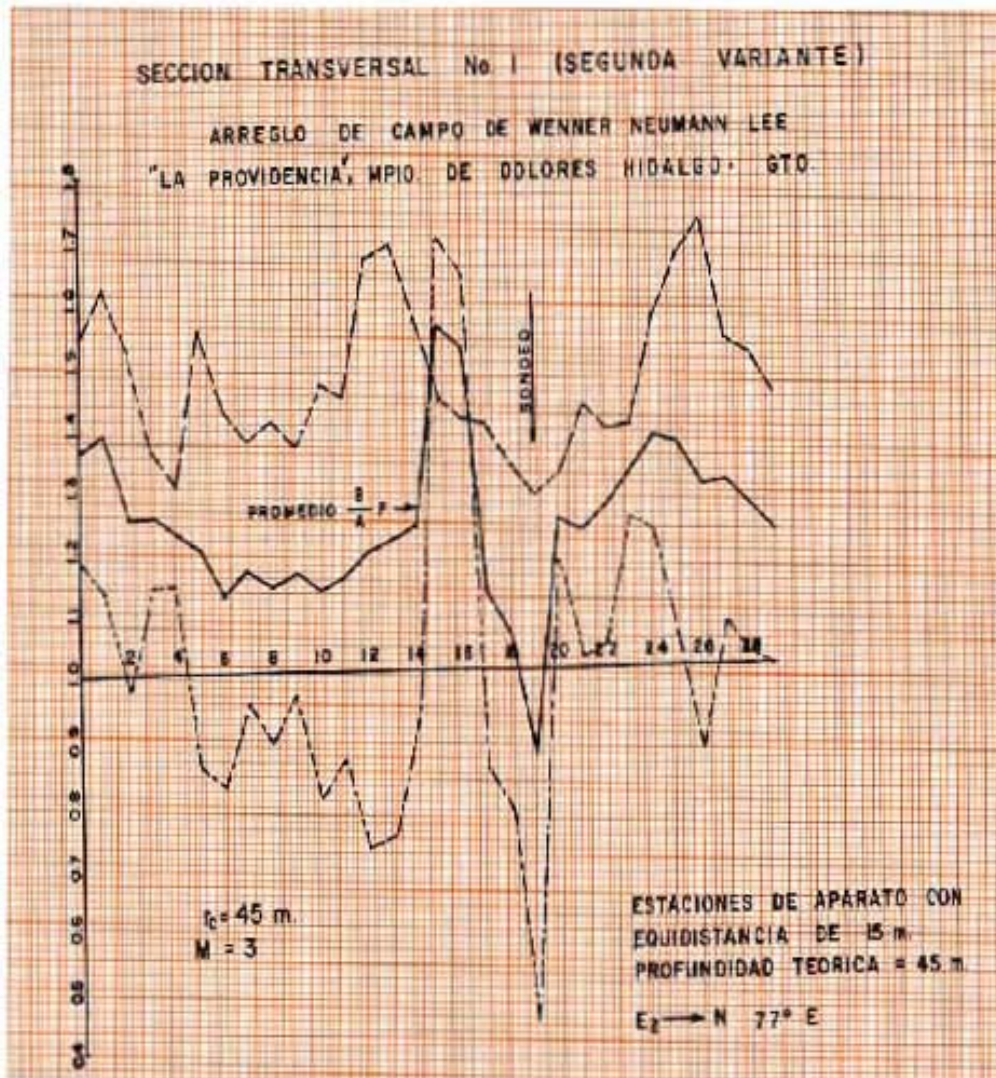
E_1 al S 13° E

E_1 al N 13° W

(Secc. No. 1)

Electrodos de potencial			Relac. Obs.	Relac. Corr.	Relac. Obs.	Relac. Corr.	Prom. Relac.
A	C	B	$(\frac{B}{A})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{\Delta})$	$(\frac{B}{A} F)$	$(\frac{B}{A} F)$
24	27	30	0.760	1.520	0.610	1.220	1.370
25	28	31	0.830	1.660	0.525	1.050	1.355
26	29	32	0.855	1.710	0.435	0.870	1.290
27	30	33	0.760	1.520	0.535	1.070	1.295
28	31	34	0.750	1.500	0.510	1.020	1.260
29	32	35	0.714	1.428	0.501	1.002	1.215

EQUIDISTANCIA ENTRE ESTACIONES = 15 m.
 PROFUNDIDAD TEORICA = 45 m.
 E_2 N 77° E.





CAPITULO 2



E₁ al S 13° E E₁ al N 13° W (Secc. No. 1A)

Electrodos de Potencial			Relac. Obs.			Relac. Corr.			Prom. Relac.		
A	C	B	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)
25	31	37	0.500	1.000	0.800	1.300	1.600	1.800	1.300	1.600	1.800
26	32	38	0.460	0.920	0.800	1.260	1.600	1.800	1.260	1.600	1.800
27	33	39	0.450	0.900	1.000	1.450	2.000	2.000	1.450	2.000	2.000
28	34	40	0.500	1.000	0.850	1.350	1.700	1.700	1.350	1.700	1.700
29	35	41	0.550	1.100	0.500	1.050	1.000	1.050	1.050	1.000	1.050

EQUIDISTANCIA ENTRE ESTACIONES = 15 m.
 PROFUNDIDAD TEORICA = 90 m.
 E₂ N 77° E.

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

Registro de observaciones en secciones Transversales Geométricas aplicando la Segunda Variante Rancho "La Providencia", Municipio de Dolores Hidalgo, Gro.

B₁ al S 13° E E₁ al N 13° W (Secc. No. 1A)

Electrodos de Potencial			Relac. (Obs.)			Relac. Corr.			Prom. Relac.		
A	C	B	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)	($\frac{A}{B}$)
0	6	12	0.800	1.600	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1	7	13	0.850	1.700	0.450	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
2	8	14	0.700	1.400	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
3	9	15	0.700	1.400	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
4	10	16	0.800	1.600	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
5	11	17	0.800	1.600	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
6	12	18	0.800	1.600	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
7	13	19	0.750	1.500	0.450	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
8	14	20	0.700	1.400	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
9	15	21	0.700	1.400	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
10	16	22	0.650	1.300	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
11	17	23	0.750	1.500	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
12	18	24	0.750	1.500	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13	19	25	0.750	1.500	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14	20	26	0.700	1.400	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
15	21	27	0.750	1.500	0.480	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960
16	22	28	0.750	1.500	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
17	23	29	0.800	1.600	0.460	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920
18	24	30	0.500	1.000	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
19	25	31	0.630	1.260	0.400	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
20	26	32	0.420	0.840	0.370	0.740	0.740	0.740	0.740	0.740	0.740
21	27	33	0.500	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
22	28	34	0.480	0.960	0.750	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
23	29	35	0.480	0.960	0.800	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
24	30	36	0.500	1.000	0.750	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500



III.4).-SONDEOS GEOELECTRICOS: Como en el caso de las secciones geoelectricas, al correr los sondeos generalmente se acostumbra aplicar la segunda variante utilizando el arreglo del campo de Werner Neuman Lee seleccionando los incrementos para “a”, “b”, y “rc”, que podrán ser diferentes para distintas profundidades u horizontes de acuerdo con el interés que se tenga por conocer con mayor detalle las propiedades geoelectricas del subsuelo a X o Z profundidades, dependiendo de la finalidad del estudio es decir, el conocimiento de zonas acuíferas mineralizadas, cavernosas, etc.

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

PROCEDIMIENTO DE CAMPO.-

Partiendo de la base que en los trabajos de campo, tanto para las secciones como los sondeos se emplea el arreglo Wenner Neumann Lee la ejecución de estos se realiza en forma similar; variando unicamente la posición del electrodo central C que en los sondeos permanece fijo desplazándose a lo largo de la linea de estacado los electrodos A, B y E1.

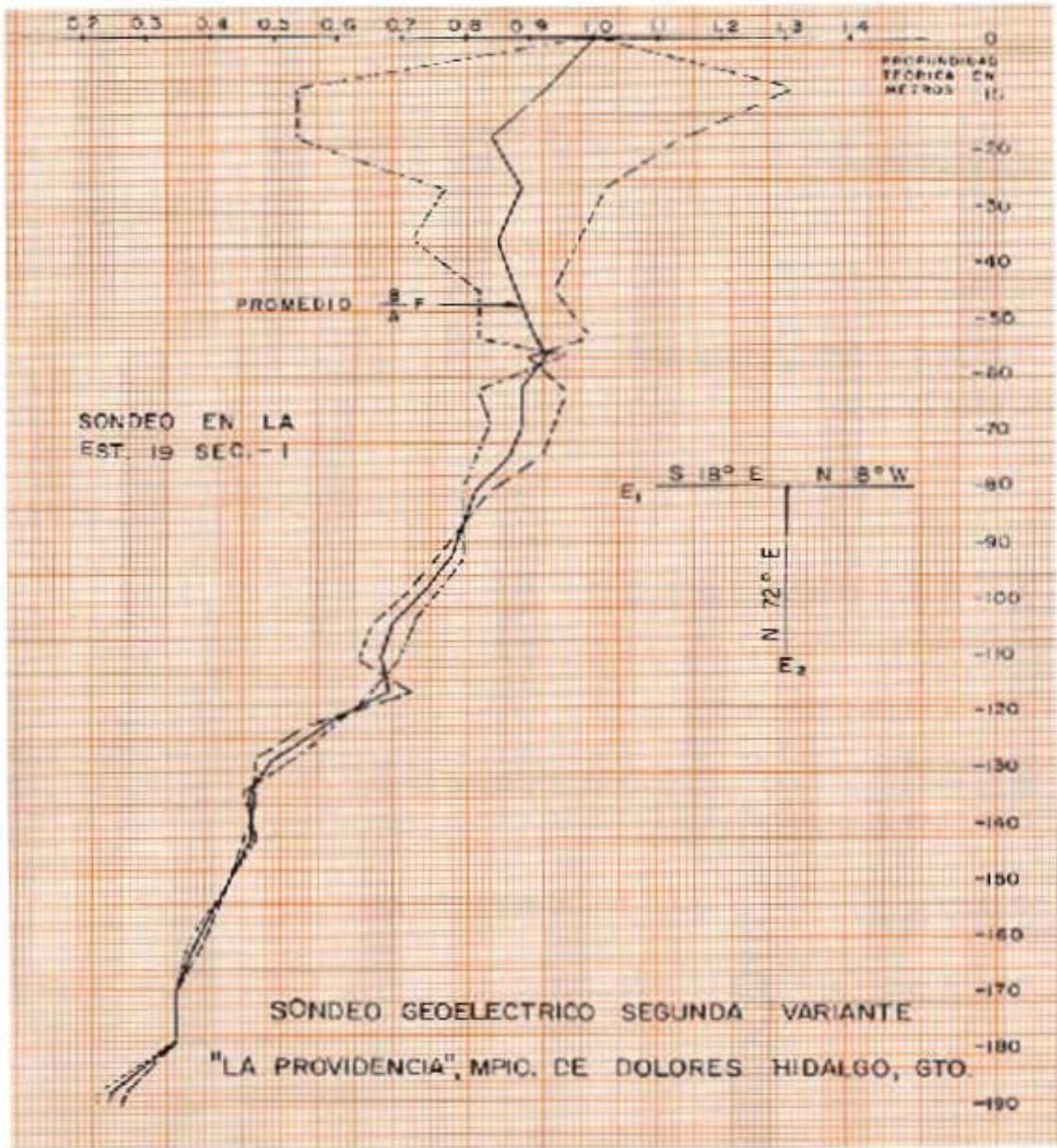
A diferencia de las secciones, en los sondeos no se alcanza una sola profundidad, sino que la inicial se ve incrementada hasta lograr la profundidad máxima fijada.

SOMDEOS.-

Logrados los valores B/A F de RCP y los incrementos para “rc” ambos se grafican en ejes coordenados utilizando el tercero y cuarto cuadrantes (trigonometricos), considerando los valores B/A F de RCP en el eje de las abcisas y en el de las ordenadas los incrementos para “rc”



ESCALAS.- La escala para distancias es comun escogerla 1: 2000 y para los valores de RCP. $1\text{mm} = B/A \times F$



CAPITULO 3

“ENSAYES DE LABORATORIO”



ANÁLISIS GRANULOMETRICO

3.1.1).- ANALISIS GRANULOMETRICO: Para el correcto diseño de la construcción de un pozo, es de suma importancia efectuar el análisis granulométrico de muestras de arena y grava obtenidas durante la perforación.

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

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

El perforador representa el papel mas importante en la secuencia anterior ya que cuando el toma muestras verdaderamente representativas de los materiales perforados, se obtienen resultados correctos.

La falta de cuidado en el muestreo es bastante perjudicial porque puede conducir a interpretación erróneas. Mucho es lo que falta por hacer para aplicar mejores métodos de muestreo y la construcción de pozos puede ser mejorada en la misma extensión en que pueda efectuarse un mejor muestreo.

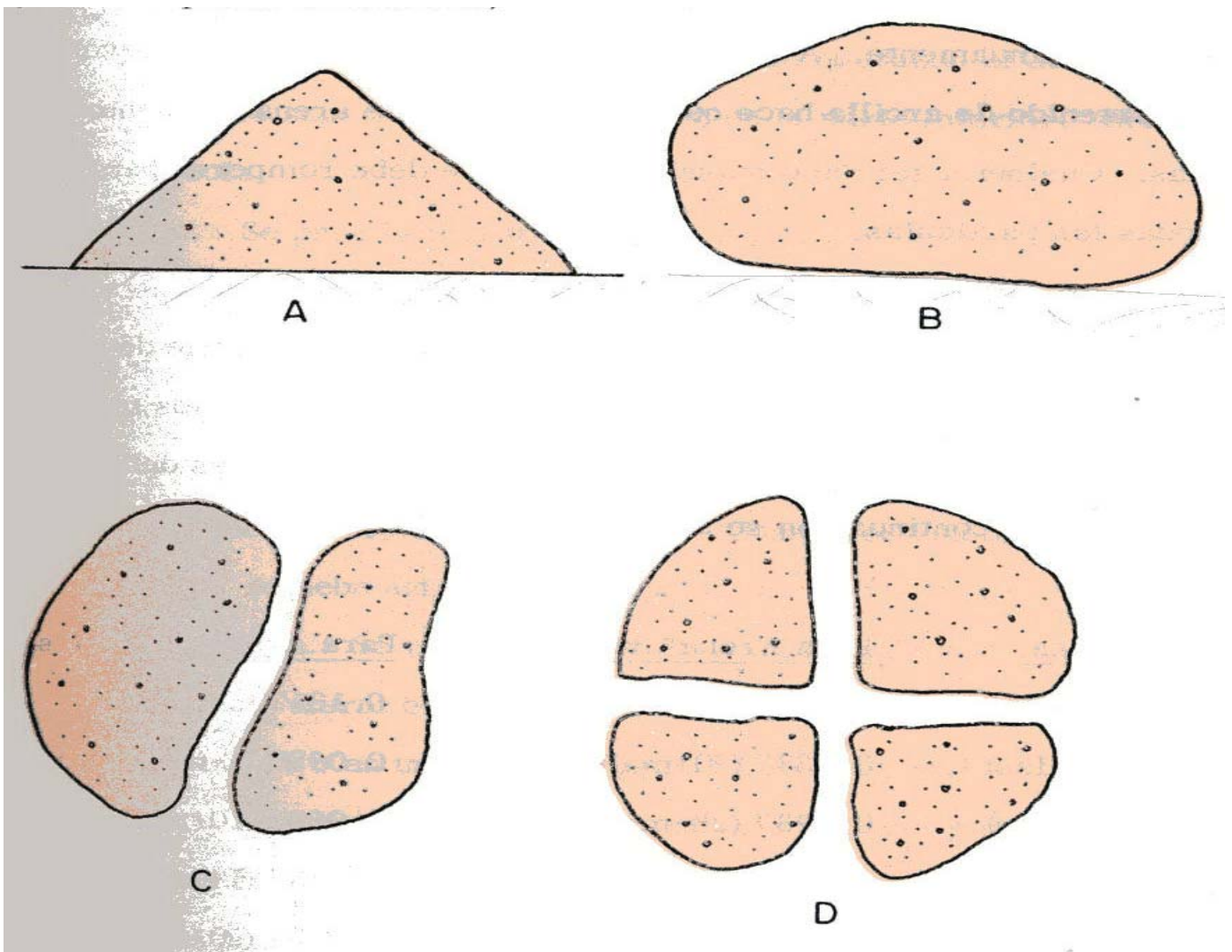
El equipo para el análisis de las muestras comprende, un juego de tamices estándar, una balanza de precisión para pesar y un pequeño plato para calentamiento. Generalmente se utilizan tamices de 8 pulgadas de diámetro con malla de alambre. El mejor tipo de balanza es aquella con aproximación al gramo. Se pueden emplear también balanzas con escala en onzas, pero estas son menos precisas.

3.1.2).- PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA LA PRUEBA: Para efectuar el análisis granulométrico, mézclase cuidadosamente la muestra original, Si el material esta húmedo, lo cual hace que las partículas finas y gruesas permanezcan unidas y no se separen utilice una pequeña cuchara para tomar la cantidad de muestra adecuada, normalmente de 0.500 a 1.000 Kg del material es una cantidad correcta si el material es arena fina debe usarse una muestra mas pequeña, aproximadamente 0.250 Kg. Con la cual se evita que los tamices de malla fina se sobrecarguen. Si la muestra esta seca, las partículas finas y gruesas no permanecerán mezcladas y tendrán a separarse o segregarse. Entonces la muestra seca debe cortarse por el **método de cuarteo**, para que la pequeña o reducida que se va a tamizar contenga la misma proporción de partículas de cada tamaño como en la original.

El método de cuarteo se describe a continuación y esta ilustrado con las figuras A – B – C – D.



- a) Viértase la muestra bien mezclada sobre una superficie lisa formando una pila en forma de cono.
- b) Allánese la pila y distribuya el material de tal suerte que tome la forma de torta grande.
- c) Divídase la muestra por la mitad
- d) Divídase cada mitad en cuartas partes
- e) Retírense dos cuartas partes opuestas y mézclense bien las dos restantes. Esta sera la muestra reducida (si esta aun muy grande, repitase el cuarteo).



Utilizar cualquier peso seco del material de la muestra reducida. No se intente preparar un peso exacto tal como 200, 300 o 500 gramos tomense aproximadamente 0.500 Kg



del material si es arena gruesa o mezcla de arena y grava o un poco menor si es arena fina.

Si la muestra reducida esta húmeda, séquese a bajo calor removiéndola continuamente. A medida que el material se seque obsérvese si algún contenido de arcilla hace que las partículas de arena permanezcan adheridas. Cualquier terrón o masa que se forma debe romperse para separar todas las partículas.

3.1.3).- PESO Y TAMIZADO: Selecciónense de cuatro a seis tamices con una serie de abertura de malla diferente. Los cuales separan la muestra en varios tamaños de partículas. La malla de mayor abertura no debe retenerse más del 20% de la muestra. A continuación se siguen varios grupos de serie de tamices.

Para Arena Fina	Para Arena Gruesa	Para Arena Y grava
0.023" (28-mallas)	0.046" (14-mallas)	0.131" (6-mallas)
0.016" (35-mallas)	0.033" (20-mallas)	0.093" (8-mallas)
0.012" (48-mallas)	0.023" (28-mallas)	0.065" (10-mallas)
0.008" (65-mallas)	0.016" (35-mallas)	0.046" (14-mallas)
0.006" (100-mallas)	0.012" (48-mallas)	0.033" (20-mallas)
CHAROLA	0.008" (65-mallas)	0.023" (28-mallas)
	CHAROLA	0.016" (35-mallas)
		0.012" (48-mallas)
		CHAROLA

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

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

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

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



cada caso el peso acumulado del material. Por ultimo agregue el material mas fino retenido en la charola y pésese. Este valor del peso acumulado deberá coincidir aproximadamente con el peso original de la muestra (dentro de un margen de dos a tres gramos).

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

3.1.4).- GRAFICAS: Los valores obtenidos por el metodo descrito, se transportan a un papel milimetrico en el que sean trazado coordenadas de tamaño de partícula-porciento retenido con ellos se traza una curva que muestra la distribución de los tamaños de los granos que contiene la muestra, desde el fino hasta el grueso. Los porcentos retenidos acumulados de cada tamiz o malla representan un punto de la curva en el papel milimétrico relacionado con la abertura de malla en milésimas de pulgada.

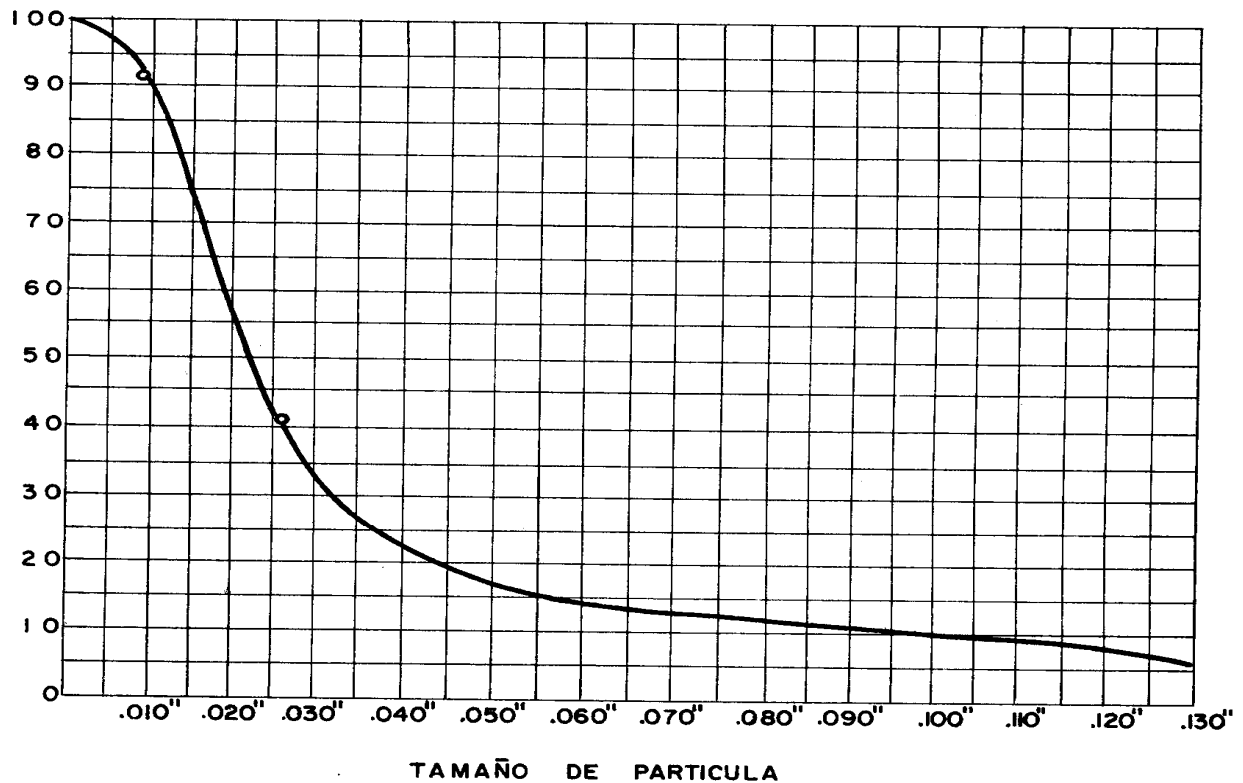
Ejemplo: Supongamos que se obtuvieron en el laboratorio los siguientes datos:

Abertura del Tamiz	Pesos retenidos acumulados	Porciento retenido
0.046"	65 gramos	17
0.033"	106 gramos	28
0.023"	179 gramos	47
0.016"	266 gramos	70
0.012"	312 gramos	82
0.008"	357 gramos	94
Charola	380 gramos	100



La ordenada representa el porcentaje retenido acumulado y la abscisa la abertura del

CURVA No. 1



ESQUEMA No. 8

tamiz o tamaño de la partícula. Esto no es estrictamente cierto y a que las partículas de arena no son esféricas, por lo tanto se designa como el tamaño de la partícula el de la abertura de la malla.

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

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



Como puede apreciarse en la grafica del análisis de la arena los materiales que se cortan durante la perforación están formados por una variedad de tamaños de partículas, existiendo entre los limites de los tamaños de las partículas mas pequeñas a las mas grandes medidas intermedias que se pueden distribuir de diferentes maneras, cambiando la forma de la grafica en cada distribución. Por lo tanto se han tomado como elementos esenciales para la descripción completa del grado de un material, la finura la pendiente de la grava y la forma característica de la curva.

Cada uno de estos elementos puede cambiar independientemente uno del otro, lo cual hace necesario que se usen los tres para tener una idea fija de la graduación del material.

La finura o grueso de un material granular se puede dividir en arena fina, arena gruesa, grava fina, grava gruesa. La decisión anterior se presenta a confusiones, ya que algunas personas pueden clasificar un material como arena gruesa y otras al mismo material como grava fina.

Con el objeto de definir en forma especifica cada uno de los materiales atendiendo al tamaño del grano, se han adoptado dos clasificaciones, misma que se aplica en el campo de acuerdo con la conveniencia y propósitos de nomenclatura de los materiales.

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

Parte de estas clasificaciones se presentan en la tabla siguiente:

LIMITES DEL TAMAÑO DEL GRANO CLASIFICACION

Material	MIT	Bureau of Soils
Grava fina	0.080" a 0.380"	0.040" a 0.080"
Arena gruesa	0.024" a 0.080"	0.020" a 0.040"
Arena media	0.010" a 0.024"	0.010" a 0.020"
Arena fina	0.003" a 0.010"	0.004" a 0.010"
Cieno y Arcilla	Menor a 0.003"	Menos de a 0.002"

El servicio geológico de los Estado Unidos (U.S.G.S) ha usado por muchos años la clasificación del Bureau of Soils. Como algunos de los límites de tamaño son muy pequeños para emplearse en los trabajos de perforación, es preferible usar la



clasificación MIT que describe mejor las graduaciones de arena y gravas que forman la mayoría de los estrados productores del agua.

La curva del Esquema No. 8 indica que la muestra ensayada consiste en arena media y gruesa de acuerdo con la clasificación MIT.

Aplicando la misma clasificación para los materiales representados por las curvas 2-3-4 y 5 se tendría la siguiente nomenclatura.

Curva clase A	Arena Fina
Curva clase B	Arena Fina y gruesa
Curva clase C	Arena gruesa
Curva clase D	Arena y grava Fina

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

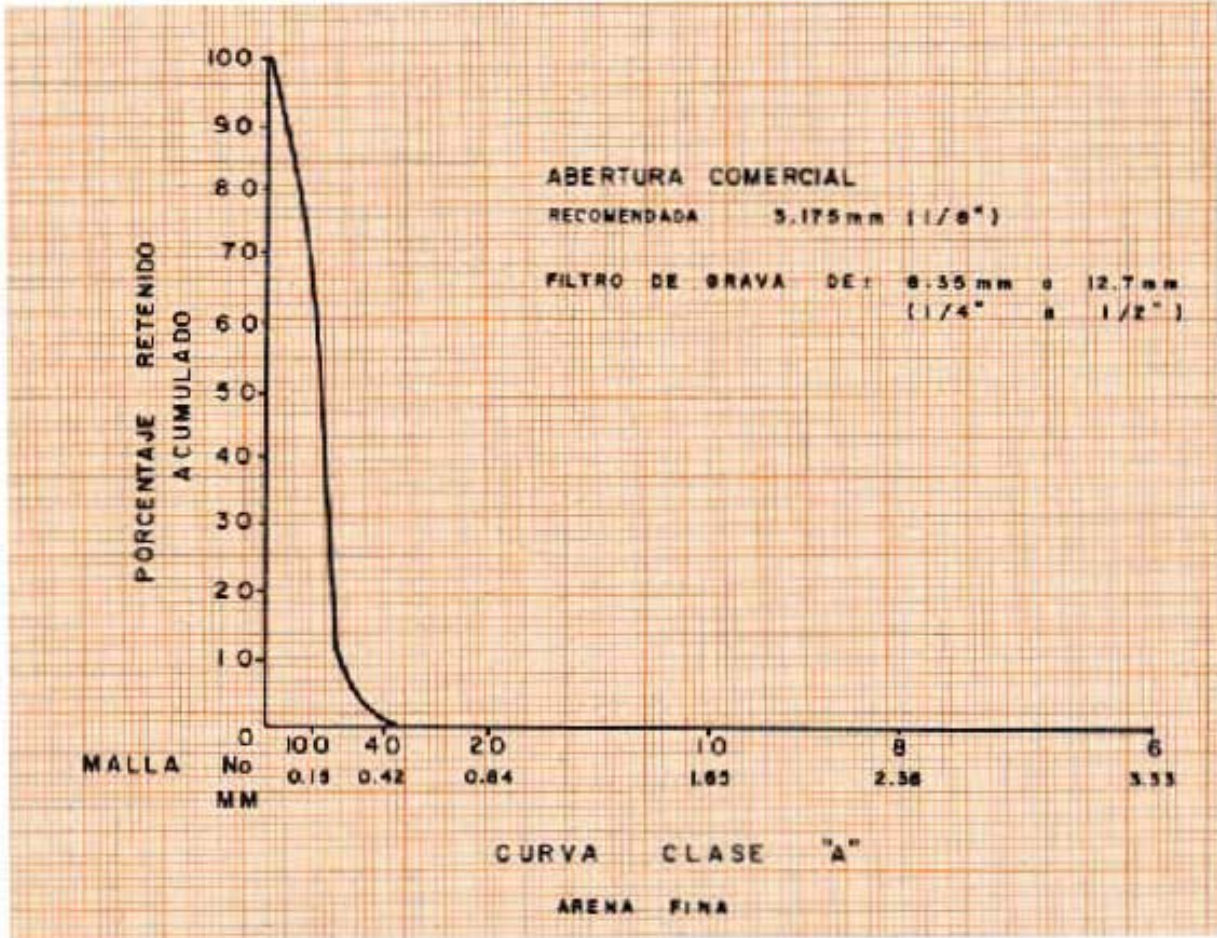
En las curvas de análisis de las arenas existe un punto específico como índice general de finura. Expresado como un tamaño de grano, este valor se usa frecuentemente para relacionar la finura o grueso de la arena con su permeabilidad o capacidad de producción de agua. Dicho valor se conoce como Tamaño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

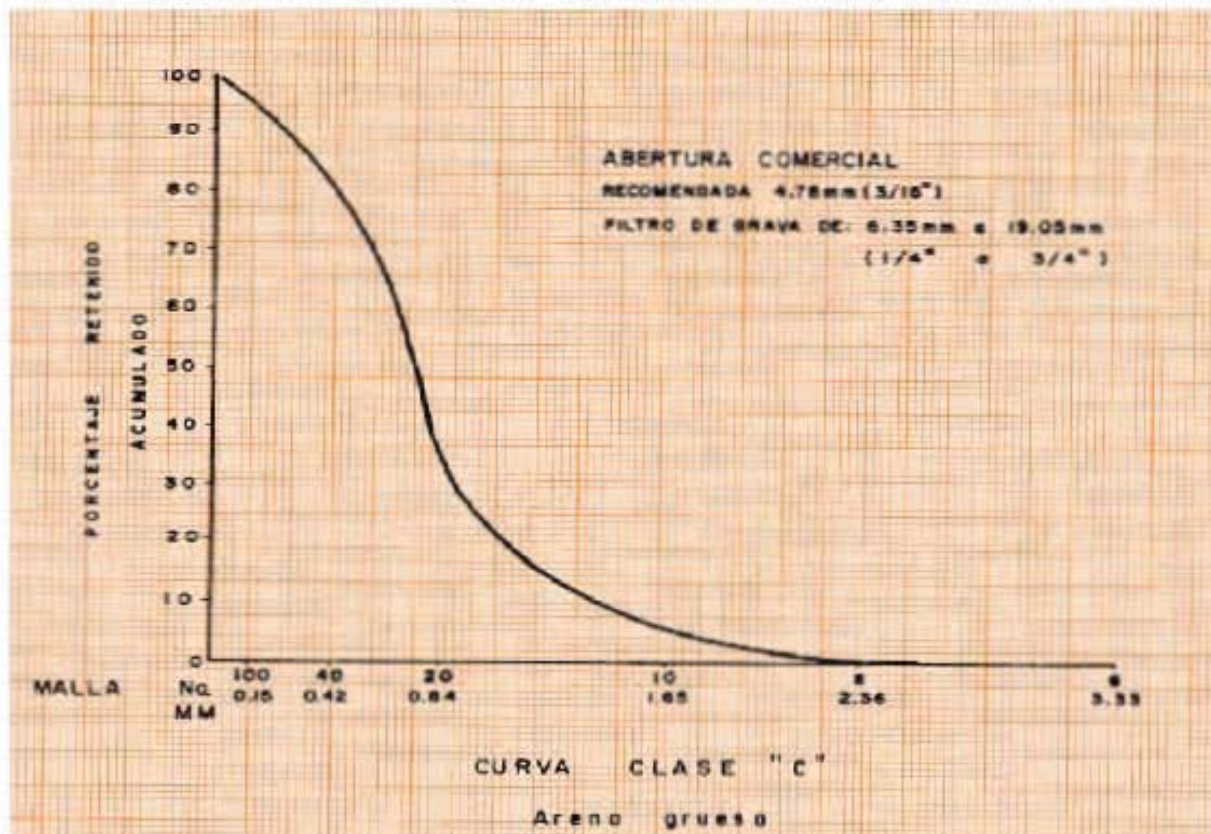
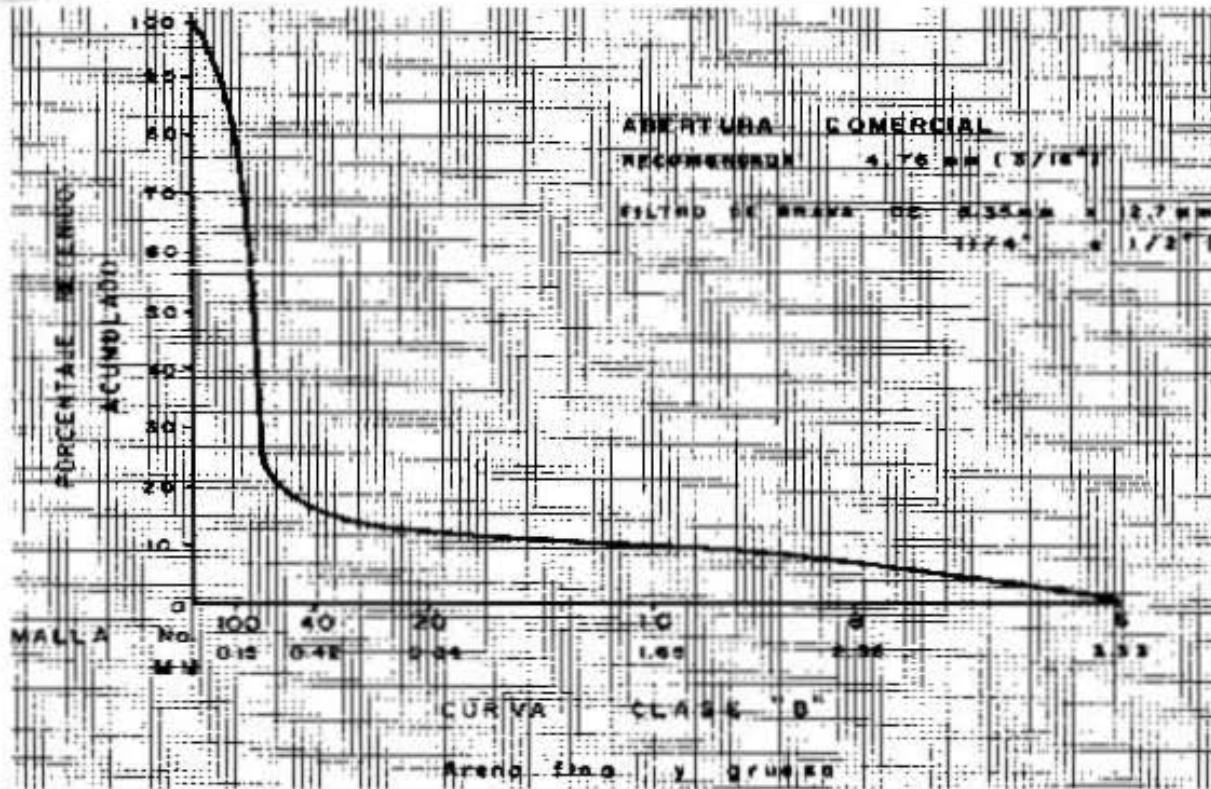
El término Tamaño Efectivo fue desarrollado por Allen Hazen en sus estudios sobre arenas para filtros en 1898. El lo definió como el tamaño de un grano de arena tal que el 10% de las partículas son más pequeñas (o más finas) y el 90% son mayores que ese tamaño.

En las curvas presentadas este valor corresponde al 90% retenido del Esquema No. 8 el tamaño efectivo de la arena es 0.010 de pulgada. Para la curva No. 2 (Clase A) el tamaño efectivo es de 0.003 de pulgada.

Otro valor usado frecuentemente como índice de finura es el que corresponde al 50% retenido, el cual para el esquema No 8 es de 0.022 de pulgada. Para las curvas de la clase A y Clase B el 50% del tamaño es 0.007 de pulgada en ambos casos.

Cuando se trabaja con materiales bastantes uniformes en los cuales la pendiente de la curva de análisis es bien pronunciada, el 50% del tamaño puede corresponder al tamaño promedio de la partícula de arena. Sin embargo, cuando la pendiente general de las curvas es llana o tendida, tal como la curva de la Clase D, el 50% no es un indicador adecuado de la cantidad de partículas finas o gruesas de la arena.







3.1.6).- PENDIENTE Y FORMA DE LA CURVA

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

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.023/0.010=2.6
40% RETENIDO	0.026
Tamaño efectivo	0.010

Para la curva de Clase B, el coeficiente de uniformidad es 2.05 y para la curva de Clase C el valor es 3.0.

El coeficiente de uniformidad es la pendiente promedio de la curva del material entre el 90% y el 40% de los tamaños de las partículas.

Entre menor sea su valor, mas uniforme será la graduación de la arena entre estos limites. Valores grandes representan una menor uniformidad.

En la misma forma que el tamaño efectivo el coeficiente de uniformidad esta limitado en la práctica a los materiales que regularmente tienen una graduación uniforme. Este puede ser usado solamente cuando el valor del coeficiente de uniformidad es menor de 5.0.

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

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

$$\sqrt{2.3} = 1.5$$

Para la curva de Clase C, el coeficiente de distribución es 1.4.

Para la curva de clase D, este es de 3.0

La curva del análisis granulométrico de la arena para la mayoría de los materiales granulares que han sido depositados en corrientes de agua y por acción de las olas tienen una forma de S. La curva se deforma cuando el material es una mezcla de arena y grava y el contenido de grava es alrededor del 15% o más. Las curvas No 1 y de las clases A y C son típicas de una distribución en S. La curva de la clase D es una curva típica de material con contenido de granos gruesos (parte derecha de la curva). Materiales cuya graduación den una curva en forma de S



tienen generalmente una porosidad mayor que aquellos materiales cuya curva es del tipo de apéndice (Clase D).

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

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

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

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

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

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



La capacidad de adsorción e intercambio de cationes que tiene un suelo se expresa generalmente en equivalentes químicos. Por ejemplo; el contenido de sodio en el agua se presenta en forma de carbonatos y se llama carbonato de sodio residual expresándose en unidades de mili equivalentes por litro. (meq / l).

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

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

A continuación se describe la manera en que deberán ser clasificadas esta agua en el laboratorio.

3.2.2.- CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO CONDUCTIVIDAD

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

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

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

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

❖ SODIO(R A S)

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



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

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

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

A).-LIMITES PERMISIBLES DE BORO PARA VARIAS CLASES DE AGUA DE RIEGO:

Clase por Boro	Cultivos sensibles	Cultivos semitolerantes	Cultivos Tolerantes
	PPM	PPM	PPM
1	0.33	0.67	1.00
2	0.33 A 0.67	0.67 A 1.33	1.00 A 2.00
3	0.67 A 1.00	1.33 A 2.00	2.00 A 3.00
4	1.00 A 1.25	2.00 A 2.50	3.00 A 3.75
5	1.25	2.50	3.75

B).- LIMITES DE CARBONATO DE SODIO RESIDUAL:

Aguas que contengan mas de 2.5 meq/lit de Carbonato de Sodio residual, no son apropiadas para fines de riego.

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

C).- INTRUSIÓN SALINA: En las zonas costeras donde el agua es extraída de formaciones de contacto con el agua de mar, hay ocasiones que se presentan problemas debido a la intrusión salina originando el abandono de los pozos afectados. A la relación piezomátrica entre el agua salada y de agua dulce se le conoce como Principio de Ghyden Herzberg llamado también Principio de las lentes convergentes y demuestra el fenómeno de la intrusión Salina, en el que, cuando las aguas dulces y las de mar entran en contacto directo o se encuentran separadas por una formación relativamente permeable, como consecuencia de una explotación irracional el agua de mar que es mas pesada tiende a desplazar el agua dulce que es mas ligera.



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

PRINCIPIO GHYBEN-HERZBERG

En el esquema No 9

h = Altura del agua dulce bajo el nivel del mar

t = Altura del agua dulce sobre el nivel del mar

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

$$H = h.t \text{-----} (1)$$

1 pie³ de agua de mar pesa 64.06 Lbs y

1 pie³ de agua dulce pesa 62.50 Lbs

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

64.06

----- = 1.025

62.50

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

H = altura de la columna de agua dulce = 1.025 L

Pero 1.025 = g

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

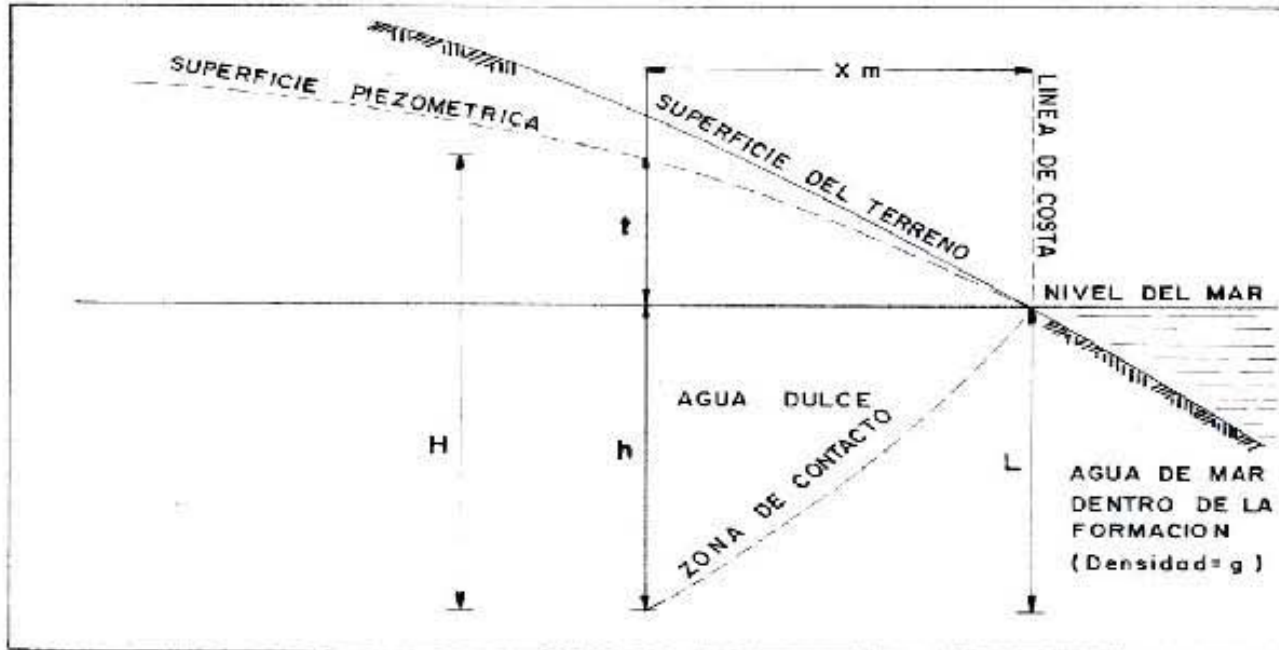
De las ecuaciones 1 y 2 se tiene

	$g.l = h + t$
y como	$L = h$
entonces	$gh = h + t$
desarrollando	$gh - h = t$
	$h(g-l) = t$

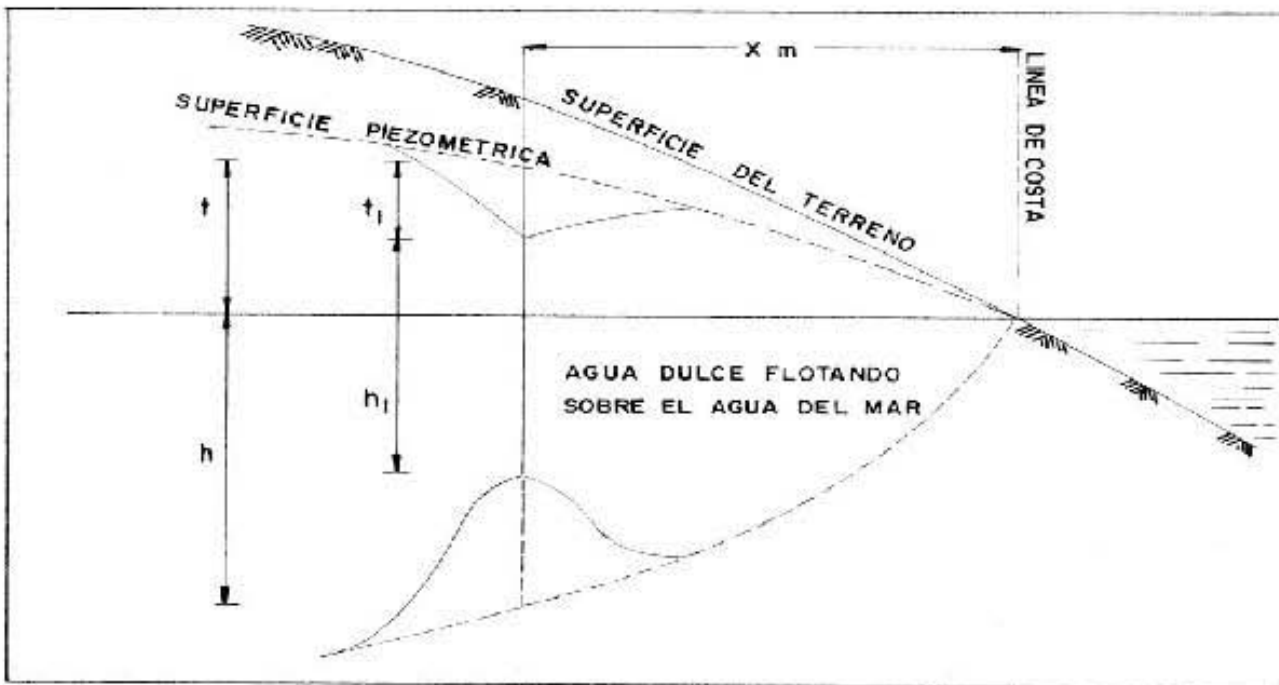
$$h = \frac{t}{g - l} \quad (3)$$

que es la expresión matemática del principio de Ghyben Herzberg

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



ESQUEMA No. 9



ESQUEMA No. 10



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

Sustituyendo en la ecuación (3) se tiene

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

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

Si en un punto localizado a X distancia de la costa se efectúa una extracción, en dicho punto se forman dos conos, uno de depresión en la parte superior y otro de succión en la parte inferior cuyos vértices son t_1 y h_1 respectivamente. Cuando $t = t_1$ y $h_1 = 0$ teóricamente el agua salada habrá llevado al nivel del mar provocando la destrucción del acuífero de agua dulce. Esquema No. 10.

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

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

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

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

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

Esta relación no siempre es cierta, debido a que el equilibrio no es rigurosamente hidrostático, sino hidrodinámico, por lo tanto el agua la masa flotante se mueve a través de la red de flujo y en este caso

la densidad(g) del agua de mar será igual a 1: luego $h_1 = \frac{t}{1 + 1}$

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

CAPITULO 4

DISEÑO DE POZO



4.1).- DISEÑO Y TERMINACIÓN DE POZO

Como su nombre lo indica el diseño y terminación de un pozo comprende las últimas etapas constructivas del mismo. Por lo que se refiere a la perforación debe ser vertical y conservar el diámetro estipulado en toda su longitud hasta alcanzar la profundidad establecida, las tuberías de adema deberán apegarse a las especificaciones generales y particulares dictadas al respecto sobre calidad de fabricación, diámetro, espesores, longitudes de tramo lisos y ranurado tipo numero de ranuras y abertura de estas, Áreas de infiltración por metro, etc. ubicación de los cedazos respecto a los acuíferos verticalidad del ademe; clasificación de las gravas para formación del filtro: cementaciones, etc. Así como a los métodos, sistemas y herramientas utilizados para su ejecución.

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

DISEÑO DE UN POZO

Para ilustrarlo anterior a continuación se describirán la correlación de estudios y diseño de construcción del pozo El durazno No.2 en el municipio de Jerez en el Estado de Zacatecas.

4.2).- SONDEO GEOELECTRICO

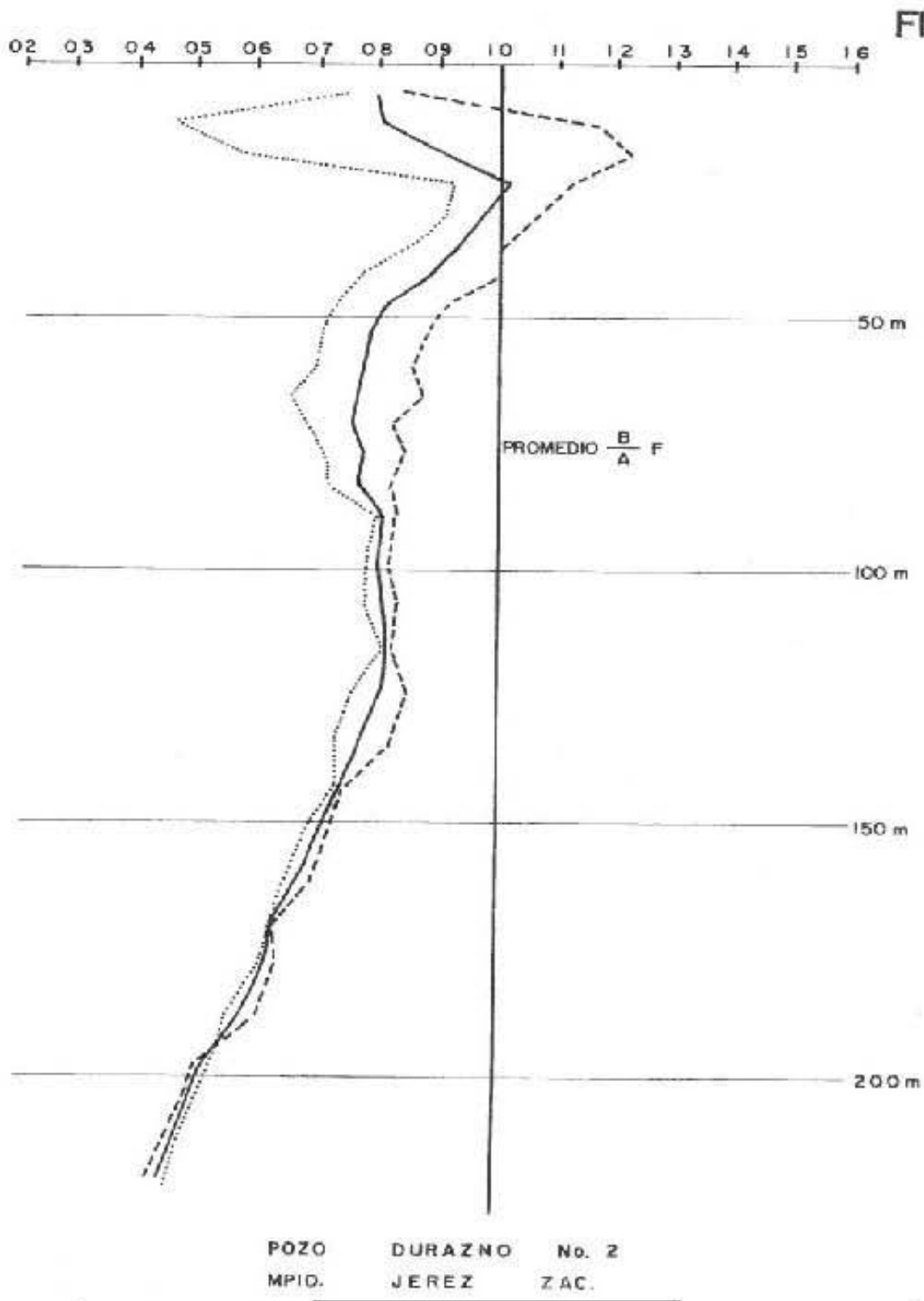
El sondeo geoelectrico efectuado se corrió a una profundidad de 220 m. aplicando el método de relaciones de caídas de potencial 2^a. Variante (Fig. 20)

Con los datos obtenidos se obtuvo una grafica que muestra hasta la profundidad aproximada de 25m. Un comportamiento anisotropico de las curvas, lo cual indica una diferencia en las características geoelectricas del terreno a esa profundidad (saturación, granulometría, compacidad, composición mineralógica, etc.) de los 25 a los 80 m. aproximadamente la anisotropia de las curvas tiende a disminuir y de los 80 m a la profundidad total se presenta una isotropía mas o menos definida, la cual puede indicar formaciones con características físicas similares.

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



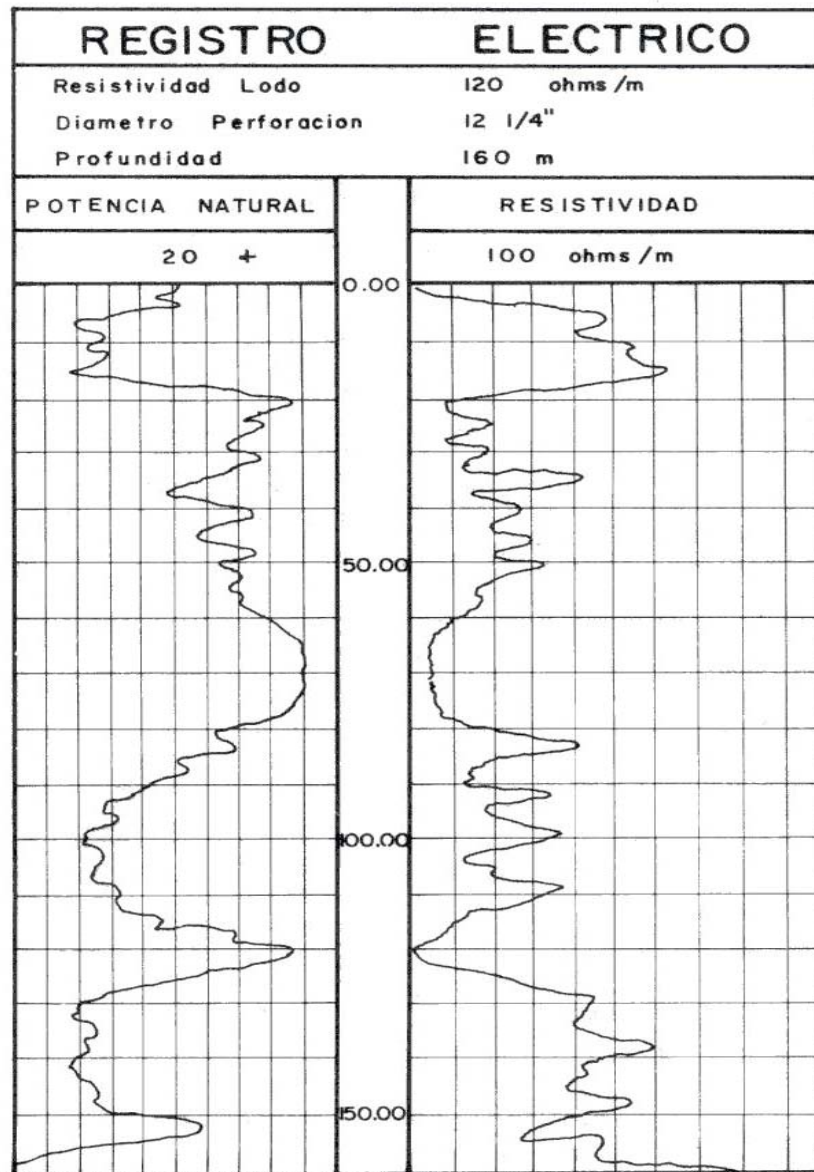
Con los resultados anteriores, se procedió a elaborar el programa de perforación, el cual consistió en efectuar una perforación con carácter de exploración a la profundidad de 160m en diámetros de 12/14".





El reconocimiento geohidrológico indico que la zona de El Durazno se encuentra localizada dentro de un valle en el que predominan las riolitas, este se encuentra formado por materiales detrilicos, tales como arenas, gravas, boleos, etc. Tomando en consideración que los materiales por atravesar son de acarreo se opto por emplear un equipo de perforación tipo rotatorio. Una vez efectuada dicha perforación se procedió con el auxilio de las muestras obtenidas, a formar el corte litológico.

FIG. 2 |



POZO DURAZNO No. 2
MPIO. JEREZ ZAC.

**CORTE LITOLOGICO**

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

4.3).- REGISTRO ELECTRICO Se empleo un aparato registrador Marca Widco de un electrodo, corriéndose hasta una profundidad de 160 m. tomando una curva de potencial natural y otra de resistividad con los siguientes resultados.(Fig. 21)

0 a 25 m	En este tramo las curvas de potencial natural y resistividad indican una formación permeable, constituida probablemente por gravas y boleos.
25 a 65 m	Formación constituida por arenas de grano medio a fino
65 a 73 m	Formación poco permeable, constituida de material arcillosos
73 a 120 m	Las curvas de potencial natural y resistividad, nos indican la presencia de un cuerpo poroso y permeable, constituido por arenas de grano medio a grueso con intercalaciones probables de gravas de poco espesor.
120 a 160 m	Formación constituida por intercalaciones de arenas gruesas y gravas. En el tramo comprendido de 155 a 160 m se aprecia un incremento de la porosidad y permeabilidad al tenerse un cuerpo formado probablemente por gravas, se considera conveniente profundizar el pozo hasta perforar completamente la zona de las gravas y tener un cambio de formación.

4.4).- ANÁLISIS GRANULOMETRICO

Por el método de cuarteo se analizaron 5 muestras, seleccionadas por la correlación del corte litológico y registro eléctrico con los siguientes resultados:

ANÁLISIS GRANULOMETRICO POZO EL DURAZNO NO. 2
Tramo 0 –25

No de malla	Peso retenido en gramos	% retenido parcial	% acumulado
6	217.30	21.73	21.73
10	214.60	21.46	43.19
20	202.70	20.27	63.46
40	72.40	7.24	70.70



60	39.40	3.94	74.64
100	24.40	2.44	77.08
Charola	229.20	22.92	100.00
Sumas:	1000.00	100.00	

Peso con el que se efectuó la prueba 1 000 grs.

Tramo 25 – 65

No de malla	Peso retenido en gramos	% retenido parcial	% acumulado
6	149.70	14.97	14.97
10	120.10	12.01	26.98
20	180.90	18.09	45.07
40	100.00	10.00	55.07
60	68.10	6.81	61.88
100	36.10	3.61	65.49
Charola	345.10	34.51	100.00
Sumas:	1000.00	100.00	

Peso con el que se efectuó la prueba 1 000 grs

Tramo 65 - 73

No de malla	Peso retenido en gramos	% retenido parcial	% acumulado
6	10.00	1.00	1.00
10	70.00	7.00	8.00
20	106.00	10.60	18.60
40	129.00	12.90	31.50
60	148.00	14.80	46.30
100	206.00	20.60	66.90
Charola	331.00	33.10	100.00
Sumas:	1000.00	100.00	

Peso con el que se efectuó la prueba 1 000 grs

Tramo 73 - 120

No de malla	Peso retenido en gramos	% retenido parcial	% acumulado
6	61.50	6.15	6.15
10	109.00	10.90	17.05
20	229.40	22.94	39.99
40	207.90	20.70	60.78
60	119.30	11.93	72.71



100	47.10	4.71	77.42
Charola	225.80	22.58	100.00
Sumas:	1000.00	100.00	

Peso con el que se efectuó la prueba 1 000 grs

Tramo 120 - 161

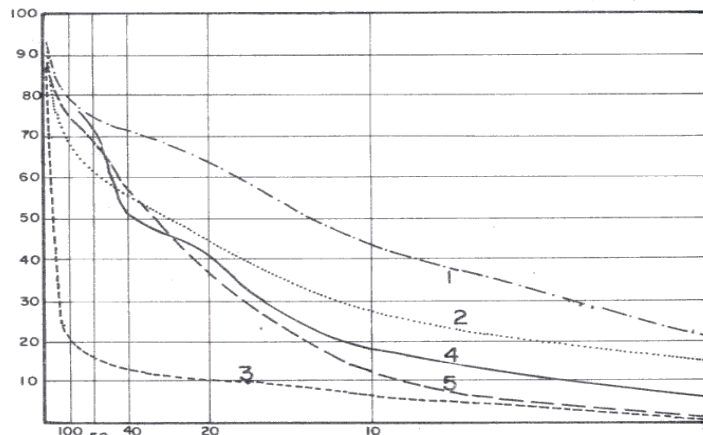
No de malla	Peso retenido en gramos	% retenido parcial	% acumulado
6	26.80	2.68	2.68
10	90.70	9.07	11.75
20	243.90	24.39	36.14
40	205.60	20.56	56.70
60	120.10	12.01	68.71
100	47.20	4.72	73.43
Charola	265.70	26.57	100.00
Sumas:	1000.00	100.00	

Peso con el que se efectuó la prueba 1 000 grs.

Graficando los datos obtenidos en las pruebas de granulometría se obtiene el esquema no. 11.

Al comparar las figuras de las curvas Tipo A, B, C y D con la obtenida en nuestras prueba se podrá observar una similitud de las muestras 1, 2, 4 y 5 con la curva Tipo D y la muestra 3 con la curva clase Tipo B.

ESQ. II ANALISIS GRANULOMETRICO



POZO DURAZNO No. 2 MPIO. JEREZ ZACATECAS



Al comparar al detalle las curvas Tipo B y D se podrá notar que en la primera se tiene 20% de material retenido en mallas 100 (0.006") y en la curva tipo D se tiene para las mismas condiciones 80%. Lo anterior indica que la muestra No 3 analizada corresponde de acuerdo a la clasificación MIT a arcilla y limos.

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

4.5).- CORRELACION DE ESTUDIOS.

Con el objeto de estar en condiciones de correlacionar los estudios efectuados se elaboro la Fig. 22 en la cual se podrá observar el sondeo geoelectrico, registro eléctrico y corte litológico.

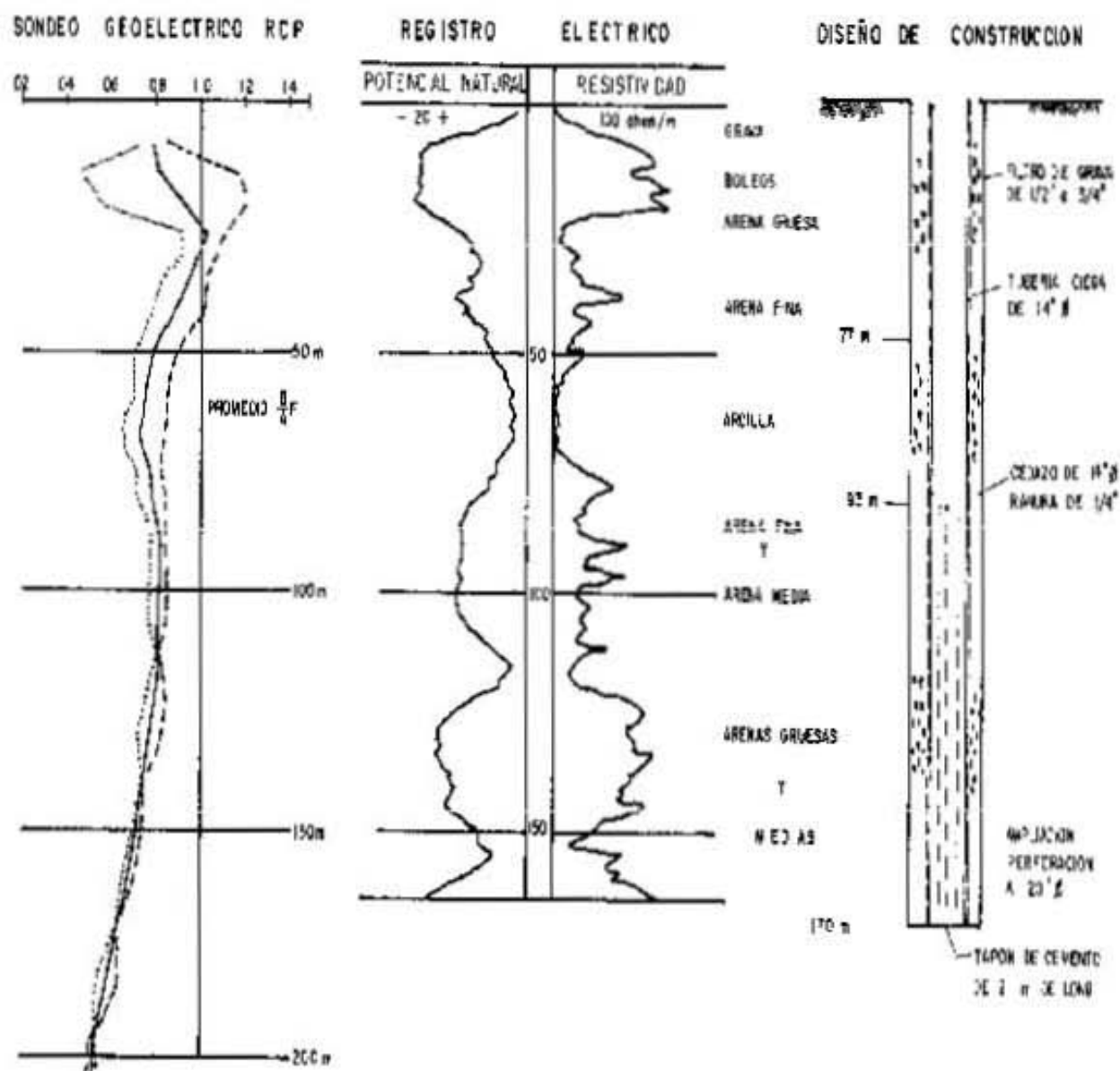
De la comparación de los mismos se podrá observar lo siguiente:

TRAMO

0 a 25 m	En El sondeo geoelectrico se presenta un comportamiento anisotropico de las curvas producido por una diferencia de las características geoelectricas originadas de acuerdo al registro eléctrico y el corte litológico de una formación no homogénea compuesta de gravas, arenas, boleos, etc.
25 a 80 m	En el sondeo geoelectrico se observa que la anisotropia general tiende a desaparecer. La curva de el registro eléctrico y el corte litológico indican una formación que tiende a ser homogénea. El tramo de arcilla comprendido de los 65 a los 73 m por su poco espesor no se encuentra definida en la curva del sondeo pero si el registro eléctrico y corte litológico.
80 a 125 m	El sondeo nos indica un cuerpo homogéneo que se confirma por el registro eléctrico y el corte litológico las arenas de grano fino a medio integran una formación uniforme.
125 a 160 m	El registro eléctrico y el corte litológico indican una formación de arenas medias a gruesas con pequeñas intercalaciones de arena fina y arcilla. Por su mayor permeabilidad es probable el acuífero de mayor potencia



FIG. 22 CORRELACION DE ESTUDIOS





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

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

- A).- DIÁMETRO DEL ADEME: De acuerdo a los pozos existentes en la zona, el gasto que se pretende obtener está comprendido entre 60 y 80 lps. Por lo que el diámetro del ademe recomendado será de 356 mm (14”).
- B).- DIÁMETRO DE PERFORACIÓN: Para alojar un ademe de 356 mm (14”) con un filtro de grava de un espesor de 76 mm (3”) se requiere un diámetro de perforación de 508 mm (20”).

AREA DE INFILTRACIÓN

$$Q = VAT: AT = \frac{Q}{V} = \frac{80\,000 \text{ cm/seg}}{3 \text{ cm / seg}}$$

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

Determinación de espesor total posible productor

Profundidad del pozo	170.00 m
Nivel de Bombeo probable	65.00 m
Formación arcillosa de 68 a 73 m	8.00 m
Longitud ademe liso para evitar	
Infiltración material fino	4.00 m
Log. Acuífero = Prof pozo – Zonas no Produc.	170
	-77.00 = 93.0 m

$$A = \frac{AT}{L.A.} = \frac{26.666.66 \text{ cm}^2}{93 \text{ m}} = 287 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Área de infiltración} = 287 \text{ cm}^2/\text{m}$$

4.6).-DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA ADEME

La distribución de la tubería de ademe quedara en la forma siguiente:

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

Especificación tubería ranurada

Ancho de abertura = 6.3 mm (1/4")
Área de infiltración = 287 cm²
Longitud total = 93 m

A).- TERMINACION DEL POZO: Comprende las operaciones necesarias para la terminación de un pozo en base a un diseño previamente elaborado.

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

B).-TAPON DE FONDO: Para evitar los arenamientos originados por la turbulencia del bombeo por el extremo inferior del ademe y forzar la entrada de los finos por las ranuras del cedazo durante el desarrollo, se coloca lo que se denomina tapón de fondo. En la porción inferior del ademe, se deposita una lechada agua – cemento cuyo volumen ocupara de 1.00 a 1.50 ml de dicha tubería el colocado se realiza en la superficie preferentemente, pero puede efectuarse dentro del pozo una vez colocada la tubería de ademe.

En ningún caso de deberán soldar placas de acero o cortar gajos en el extremo de la tubería en lugar del tapón de cemento, en virtud que el empleo de esta técnica, impide la profundización del pozo, en caso de ser necesario mientras que el tapón de cemento es fácilmente perforable.

C).- FILTRO DE GRAVA: Si los acuíferos explotables proceden de formaciones aluviales, en las que son frecuentes las intercalaciones de arcillas y arenas y gravas de diferentes tamaños, al realizar el diseño del pozo deberá programarse un espacio anular entre la tubería de ademe y las paredes del agujero, capaz de permitir la formación de un filtro de grava cuya función es impedir que los materiales finos de la formación sean arrastrados al interior del pozo durante el bombeo.

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

Las gravas destinadas para el filtro estarán lavadas, ser arredondeadas y del calibre que especifique el análisis granulométrico o de las aberturas del cedazo en este caso se



procederá en la siguiente forma: Para bancos con granulometría uniforme, se podrá utilizar el material que pasando por la criba de 19.05 mm (3/4") quede retenido en la de 4.76 mm (3/16"). Cuando en los bancos de agregados predominen los tamaños grandes, el filtro quedara compuesto por el 40% de materiales que pasen por la criba de 10.05 mm (3/4") y sean retenidos en la de 9.53 mm (3/8") y el 60% del material que pase por la criba de 9.53 mm (3/8") y sea retenido en la de 4.76 mm (3/16").

Los materiales seleccionados para el filtro deberán revolverse previamente a su colocación en el espacio anular y para vaciarlos tendrán que utilizarse palas manejadas a mano. Su volumen será equivalente al teórica calculado mas el 20% aproximadamente.

Cuando la perforación se ejecute con equipo rotatorio después de la colocación de la tubería de ademe y antes de iniciar el engravado se introducirá la tubería de perforación hasta el fondo del pozo y a través de ella se circulara agua limpia al mismo tiempo que se van depositando las gravas. A medida que estas vayan bajando la tubería de perforación se ira elevando por tramos de tal manera que su descarga quede siempre entre 1 y 3 m abajo del nivel del filtro.

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

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

Cuando se emplee aire comprimido la operación se realizara utilizando dos tuberías una de inyección y otra de descarga, debiendo tener ambas aproximadamente la misma longitud y como única condición, que al encontrarse sumergidas dentro del agua del pozo, la capacidad de la fuente de aire comprimido sea lo suficientemente capaz para que al ser inyectado se obtenga en la descarga una emulsión de agua aire que provoque el arrastre de los materiales que se encuentran en el interior del pozo. Iniciada la operación, las tuberías se harán ascender del fondo del pozo a la superficie a medida que el agua expulsada vaya saliendo limpia y libre de sólidos en suspensión continuándose así hasta llegar al contacto de la tubería ranurada con la tubería lisa.

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

D).- LAVADO PRIMARIO Y AGITACIÓN MECANICA DE POZO: Terminadas la perforación, ademe, engravado y cementacion si la hubiera se debera limpiar



perfectamente el interior del pozo, extrayéndose todos los materiales que hayan quedado como producto de estos trabajos. A esta labor se le llama lavado primario y para desarrollarla, si el equipo utilizado es rotatorio, se continuara circulando agua hasta que salga limpia a la superficie es decir, exenta de solidos y coloides depositados y en suspensión.

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

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

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

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

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

4.8).- TRATAMIENTO QUÍMICO: Consiste esencialmente en la aplicación de productos químicos, tales como dispersores de arcilla en la proporción y forma recomendadas por cada fabricante los que se pueden combinar con el tratamiento mecánico utilizando un pistón con cargas de hielo seco o inyectado de ácido clorhídrico.

4.9).- DISPERSOR DE ARCILLAS: Cuando se perforan materiales de origen aluvial utilizando equipos de perforación del tipo de percusión o rotatorio se emplean lodos de



perforación, generalmente a base de bentonitas y/o arcillas naturales con el objeto de producir un enjarre en las paredes del agujero y evitar que estas se derrumben.

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

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

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

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

El enorme volumen de gas sublimado no puede salir del interior del pozo en la misma proporción de su aumento de volumen, aparte de que la carga hidrostática del fondo del pozo en donde se supone que se realiza el cambio de estado (cuando menos de la mayor parte del hielo seco arrojado) retarda notablemente su salida, por lo que el gas penetra en las formaciones circunvecinas del pozo, en virtud de la fuerte presión que se origina en la cámara gaseosa confinada por la columna de agua de este en su avance hacia los acuíferos, el gas impulsa fuertemente grandes cantidades de emulsión agua gas, ejerciéndose así una intensa acción dinámica en los espacios intergranulares del filtro de grava y formaciones vecinas. Esta primera etapa del fenómeno generalmente termina cuando casi toda la columna de agua que existía en el pozo ha descendido, penetrando en los acuíferos en forma de emulsión, y al culminar esta etapa toda la masa desplazada hacia los acuíferos origina un poderoso gradiente hidráulico hacia el pozo, invirtiéndose entonces la dirección del flujo. Lógicamente se llega a un estado de equilibrio instantáneo entre la presión ejercida por el gas y el gradiente hidráulico establecido en los acuíferos, a partir del cual se establece un flujo, cuya velocidad es constantemente acelerada, y en el curso de unos cuantos minutos no solo se llena el pozo con la emulsión que regresa de los acuíferos, sino que incluso gran cantidad de emulsión agua gas es arrojada a gran altura sobre el brocal del pozo, arrastrando consigo todos los sólidos de pequeña granulometría, arcillas, arenas, etc. Cuando es arrojada una fuerte carga de hielo seco, este fenómeno se repite varias veces, con intervalos de unos cuantos minutos, a menos que se haya obturado el brocal del pozo.



por medio de una válvula en cuyo caso, se puede regular la presión hasta la magnitud deseada abriéndose la válvula en el momento conveniente para dar salida a la corriente ascendente que se inicia en el momento del cambio súbito de presión.

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

Cuando se abre la válvula de la cabeza de descarga del pozo, el nitrógeno en forma gaseosa arrastra los fluidos utilizados en el tratamiento. Las ventajas de este procedimiento son principalmente:

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

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

La capacidad del compresor y los diámetros de las tuberías de inyección y descarga, estarán supeditados a los diámetros y profundidades de los pozos por tratar. Generalmente el equipo recomendable por emplear para el desarrollo de pozos con profundidades aproximadas de 200 m y diámetro de ademe de 355 mm (14") será un compresor con capacidad de 500 pies³/min tubería de inyección con diámetro de 38.1 mm (1 ½") y tubería de descarga de 101.6 mm (4"). Ocasionalmente se puede adicionar al equipo un tanque para almacenamiento de aire con capacidad tal que permita una inyección constante.

4.13).- TRATAMIENTO MECANICO: Se puede realizar utilizando un pistón, apegándose a lo descrito en la agitación mecánica o por medio de un equipo de bombeo compuesto



de una bomba turbina para pozo profundo accionada por un motor de combustión interna, con capacidad del 50% mayor que la necesaria para el bombeo del caudal de explotación estimado.

El equipo requerido para la realización de esta forma de desarrollo, comprende además del de bombeo ya mencionado, un orificio calibrado provisto de su respectivo piezometro y escala de medición, así como una sonda eléctrica o neumática, esta última formada por una tubería hermética de cobre, aluminio o plástico de pared gruesa, con longitud igual a la de la columna de bombeo, a la que se acoplara durante su instalación un manómetro con caratula graduada en Kg/cm², una válvula de admisión y una bomba de mano para el inyectado del aire.

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

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

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



CAPITULO V

PROCESO CONSTRUCTIVO PERFORACIÓN



5.1).- Generalidades de pruebas de permeabilidad para el diseño de los pozos de absorción:

Para determinar las dimensiones que fijan volúmenes de líquido para absorción en función de la permeabilidad del terreno donde se colocarán el pozo o los pozos de absorción, se necesitan determinar los siguientes dos datos.

- 1.- Volúmenes de líquidos recibidos en 24 horas por el pozo de absorción provenientes del tanque o cisterna.
- 2.- Determinar la permeabilidad del lugar o lugares escogidos para la localización de los pozos.

El primer punto se determinará fácilmente, puesto que la descarga mínima del tanque o cisterna del pozo de absorción es su propio volumen.

El segundo punto se determina prácticamente descargando en el lugar escogido para un pozo una cantidad determinada de líquido observando el tiempo que tarda en absorberse.

Pero como la permeabilidad ésta en función de las superficies absorbentes, largo, ancho, altura en caso de ser rectangular o bien diámetro, altura en caso de ser cilíndrico, entonces hay que dejar una medida constante y las demás variables en función de las más indicadas.

Por ejemplo, si la capa absorbente tiene un espesor muy grande el diámetro del pozo será menor que en el caso de esa sea pequeña, porque así el diámetro tendrá que ser mayor.

Para determinar en forma aproximada la capacidad de un pozo de absorción se pueden utilizar los siguientes métodos:

A continuación se describen dos métodos de campo fáciles de realizar para la estimación aproximada de la capacidad de un pozo de absorción.

El primer método conocido como de Velocidad de infiltración (o equivalente a tipo Lefranc a gasto variable) como se muestra en la figura anexa, requiere del siguiente equipo:

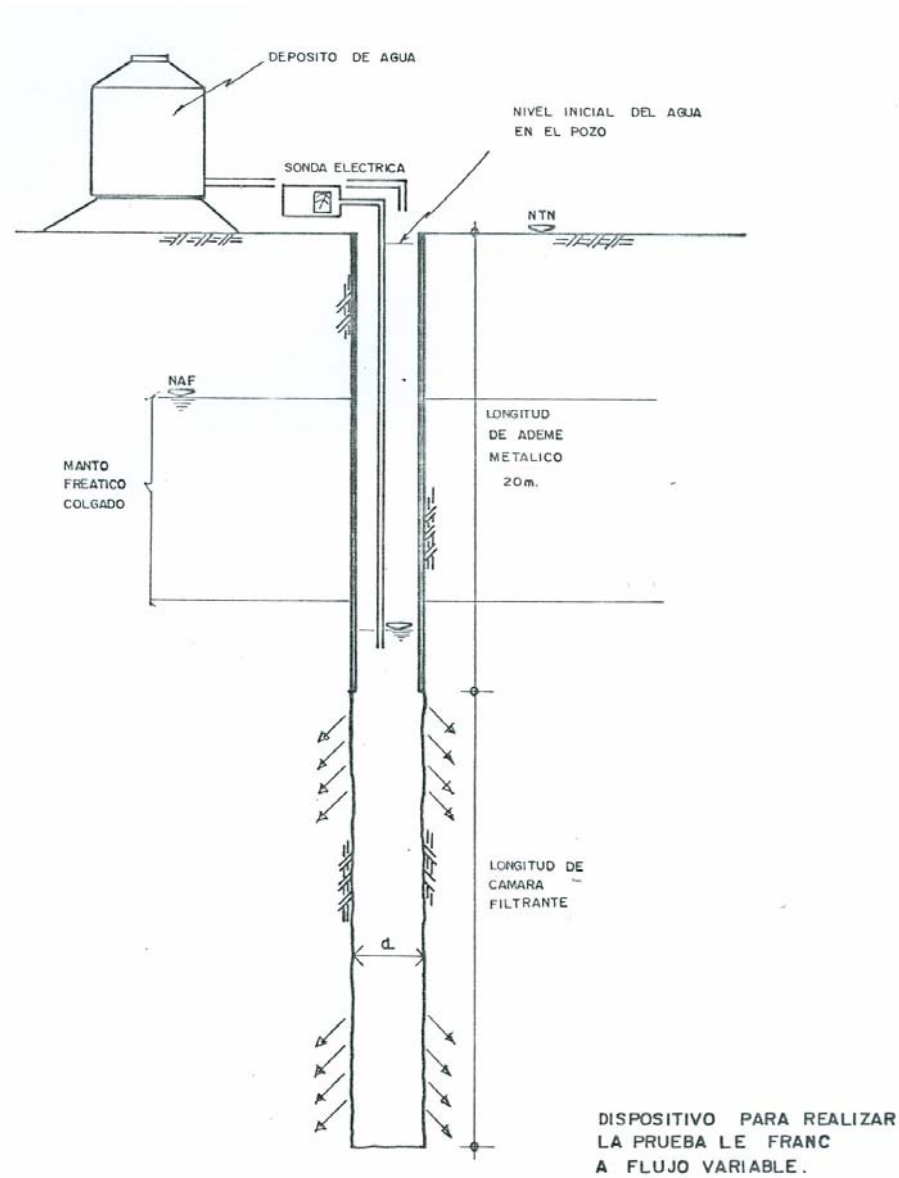


FIGURA PRUEBA LE FRANC DE GASTO VARIABLE

- Una o dos pipas ó tanques con agua con descargas controladas con válvula.
- Tubo de PVC de 10.16cm (4") de diámetro o mayor, para acoplar a la descarga de la pipa.
- Sonda eléctrica
- Cronómetro
- Canalón



En la figura anterior se muestra el proceso para descargar el agua del tanque al pozo de absorción, así como una serie de observaciones que deberán ser respetadas para la correcta obtención de resultados.

La secuencia a seguir para desarrollar este método se describe a continuación:

- 1.- Colocar en el brocal del pozo a 20cm de profundidad con respecto al nivel del terreno, una señal que sea fácilmente visible.
- 2.- Medir la profundidad del nivel freático. (Que para este caso se tiene hasta 2.3m de profundidad con respecto al nivel actual del terreno)
- 3.- Realizar las pruebas que sean necesarias para conocer la cantidad de agua que será necesario verter en el pozo de absorción hasta lograr su estabilización en la señal previamente localizada.

En cada prueba que se realice deberá llevarse un control que indique el volumen de agua vertida, con objeto de facilitar las maniobras a realizar para el aforo definitivo.

- 4.- A continuación se procede a realizar el aforo definitivo utilizando un volumen de agua suficiente para asegurar el desarrollo de la prueba.
- 5.- Una vez estabilizada el agua en el pozo a la señal mencionada se interrumpirá la descarga desviando el chorro, accionando simultáneamente el cronómetro.
- 6.- Utilizando una sonda eléctrica se efectuarán lecturas de la evolución del agua en el pozo para intervalos de tiempo de 1 minuto, o bien para tiempos menores, dependiendo de la rapidez con que evolucione el nivel del agua hasta recuperar el nivel freático. En el caso de que el abatimiento del agua en el pozo sea muy rápido, se marcarán en la sonda, diferentes niveles en el pozo y los tiempos correspondientes en que se efectúan las lecturas. Posteriormente se obtendrán las profundidades del nivel del agua asociada a cada marca de la sonda.

- 7.- Se calculará el gasto utilizando la siguiente expresión:

$$DL/\sqrt{Ta}$$

donde:

Q pozo= Gasto que es capaz de absorber el pozo en lts/seg

D= Diámetro del pozo en metros



L = Longitud del pozo en metros

T_a = Tiempo en minutos requeridos para obtener un abatimiento de 5cm en el pozo.

El segundo método es el llamado Método de coordenadas o de Purdue ó equivalente a prueba tipo Lefranc a gasto constante, como se muestra en la siguiente figura , el cual es el más adecuado para este caso y se requiere para su ejecución el siguiente equipo:

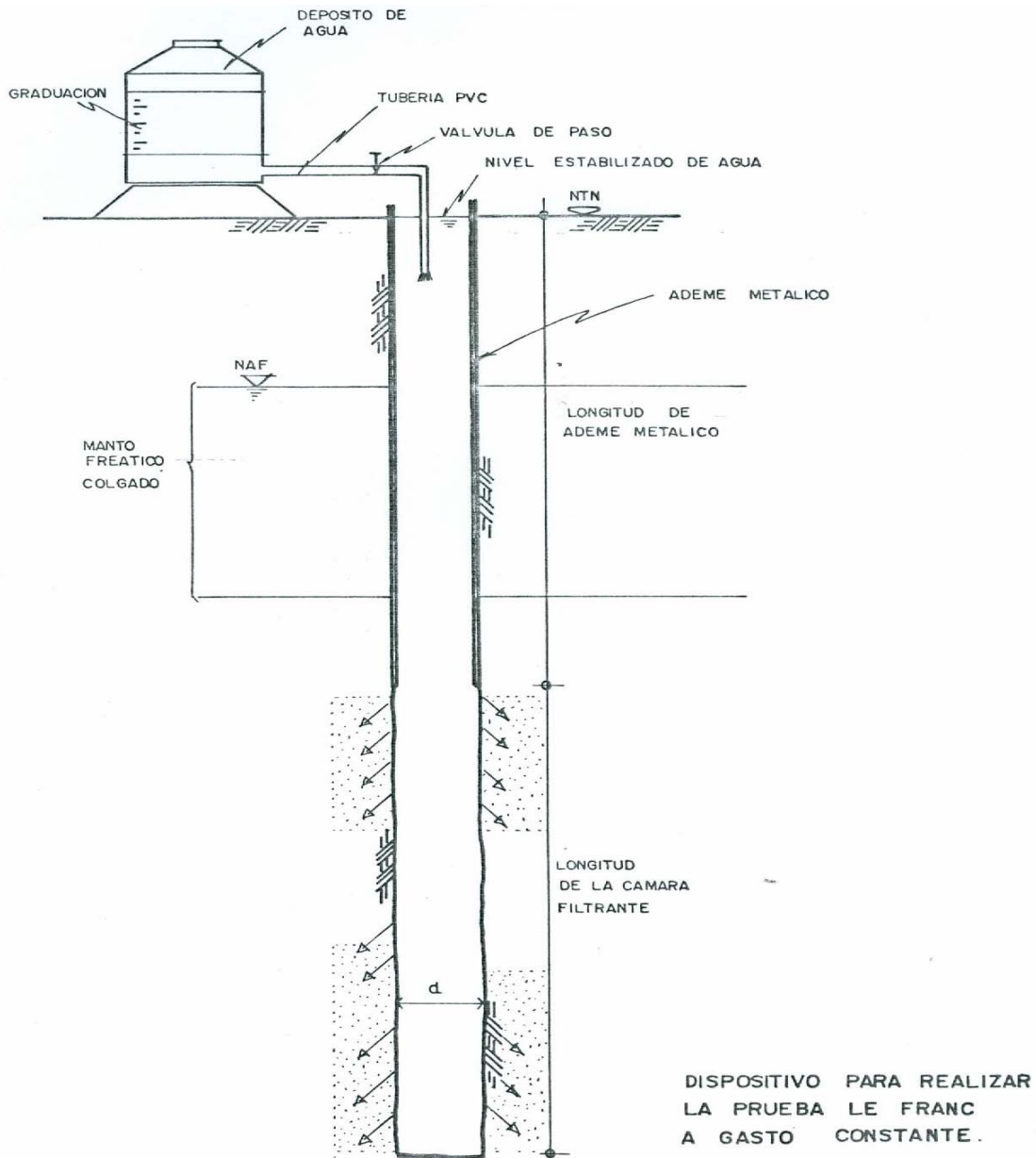


FIGURA PRUEBA DE LE FRANC GASTO CONSTANTE



- a) Una o dos pipas ó tanques de agua, con descargas controladas con válvula.
- b) Tubo de PVC de 10.16 cm (4") de diámetro mínimo, para acoplar a la descarga de la pipa.
- c) Válvula.
- d) Escuadra de carpintero.
- e) Canalón.

El procedimiento a seguir en este método es igual en los primeros cuatro pasos, al método de Velocidad de infiltración o tipo Lefranc a gasto variable descrito precedentemente, por lo que a continuación se describirán únicamente los pasos restantes:

5.- Estabilizar mediante operaciones el nivel del agua en el pozo hasta la señal previamente localizada dentro del mismo.

Para la ejecución de las pruebas de permeabilidad se consideraron las características estratigráficas y físicas del subsuelo, determinadas en el predio de interés mediante un sondeo de tipo penetración estándar realizado a 40m de profundidad, muestreando los materiales entre 20 y 40m, midiendo la resistencia de los materiales a ser atravesados.

Para determinar las características estratigráficas y físicas de los depósitos del subsuelo en el predio de interés, se efectuó una perforación a 40 m de profundidad, con la ubicación que se muestra en la figura 4, donde se construirán los pozos de absorción y el tanque de tormentas, y realizar el sondeo para conocer las características de los materiales del sitio de interés hasta 40 m de profundidad, y por consiguiente efectuar en esta perforación las pruebas de permeabilidad previstas.

Inicialmente se realizó una perforación entre 0 a 40 m de profundidad avanzando con broca tricónica sin muestreo hasta 15 m de profundidad, dado que en esta profundidad ya se tiene información de los materiales, posteriormente a partir de los 15m se realizó el sondeo de penetración estándar primero a 29 m de profundidad y después hasta 40 m de profundidad para la segunda prueba. En la figura 5 se presenta en forma gráfica los resultados del sondeo realizado.

En el sondeo penetración estándar se midió la realización de la prueba de penetración estándar que consiste en hincar 60 cm el penetrómetro estándar que es un tubo hueco de 5.1 cm de diámetro y 3.5 de diámetro interior, mediante el impacto de un martinete de 63,5 Kg de peso que cae libremente desde una altura de 76 ± 1 cm; el índice de resistencia a la penetración estándar de los materiales atravesados, corresponde al



número de golpes necesarios para hincar los 30 cm intermedios del penetrómetro estándar. En el interior del penetrómetro se obtienen muestras representativas alteradas.

La estratigrafía detectada es la siguiente:

Superficialmente se localiza bajo el piso de concreto, rellenos, pedacería de tabique rojo, cascajo y cimentaciones de piedra braza.

Bajo los rellenos, se localizaron estratos intercalados de limos arcillosos, arcillas poco limosas y lentes de arena limosa gris, que constituyen la costra o Manto superficial y que se profundizan hasta los 5.00 m, los cuales presentaron contenidos de humedad que se incrementan rápidamente con la profundidad de 30% hasta 140 % en promedio, con resistencias a la penetración estándar que decrece con la profundidad, desde 15 a 2 golpes; dentro de éstos depósitos, pertenecientes a la costra superficial es posible detectar estratos de arcilla lacustre, de poco espesor con altos contenidos de humedad.

Entre 5m y 9m de profundidad aproximadamente, se localizaron los estratos intercalados de las arcillas de origen volcánico lacustre mas compresible dentro del perfil estratigráfico, con los más altos contenidos de humedad, con valores hasta de un 440% con promedios del orden de 360%, y resistencias a la penetración estándar de 1 a 2 golpes; La presencia de éstos depósitos limita la capacidad de carga de cimentaciones superficiales.

De los 9m a los 13m de profundidad aproximadamente, continúan los depósitos arcillosos pero con contenidos de humedad menores, de 320% en promedio con mínimos hasta de 200%, debido a la presencia de vetas de arena fina negra y arenas de conchas, presentando resistencias a la penetración estándar de un golpe.

De los 13m a los 23m de profundidad aproximadamente, se localizaron estratos de arcilla lacustre, contenidos de humedad promedio de 260% y resistencias a la penetración estándar de uno a dos golpes con intercalaciones de vetas de vidrio volcánico y arena gris que se acusan en los perfiles estratigráficos por la reducción en el contenido de humedad e incremento en la resistencia a la penetración estándar.

De los 23m hasta 29m de profundidad explorada se detectaron capas intercaladas de arenas limosas y arcillas arenosas, encontrando lentes de ceniza volcánica a los 23 m. de profundidad con contenidos de humedad de 200% en promedio y resistencia a la penetración estándar de dos a seis golpes.



En la zona se detecta la denominada primera capa dura a 33m de profundidad, con la presencia de un estrato de limos arenosos, que presentan contenidos de humedad de 30% en promedio y resistencias a la penetración estándar máximas hasta 10 golpes.

La denominada formación arcillosa inferior y de acuerdo a la estratigrafía encontrada en sondeos cercanos al predio, se localiza entre 40m y 50 m de profundidad y está compuesta de estratos intercalados de arcillas volcánicas con contenidos de humedad promedio de 200%, con resistencias a la penetración estándar de 3 a 6 golpes.

Los depósitos profundos se localizan a partir de los 50m están compuestos de arenas y limos compactos, de alta resistencia y muy baja compresibilidad.

El nivel freático se encontró en el sondeo de exploración a una profundidad media de 2.3 m, se tuvo pérdida de fluido de perforación a los 18m y a los 23 m de profundidad, el cual se pudo recuperar cuando se ademo hasta 30 m de profundidad.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

Para determinar el gasto que es factible infiltrar a los materiales del subsuelo mediante pozos de absorción de diferente diámetro, se realizaron dos pruebas de permeabilidad del tipo Lefranc a gasto variable a 23 y 33 m de profundidad, donde se observa que el espesor de la cámara filtrante es de 6m y para la primera prueba quedo entre 23 y 29 m de profundidad y para la segunda prueba quedo entre 33 y 39 m de profundidad.

De acuerdo a la información obtenida del sondeo realizado en el sitio de interés se detectó el nivel de aguas freáticas a 2.3m de profundidad y en la fecha que se realizó la exploración.

En función de la experiencia que se tiene en el área circundante al sitio de interés, las pruebas de permeabilidad que son más adecuadas son las de tipo Lefranc a gasto variable, para ello se inyecta agua limpia al pozo perforado descargando en el lugar escogido para un pozo una cantidad determinada de líquido observando el tiempo que tarda en absorberse.

A continuación se describe la forma en que se realizaron las pruebas de permeabilidad.

Para la ejecución de las pruebas de permeabilidad se efectuó una perforación a 40m de profundidad denominado SPT-1 con la siguiente secuencia de perforación y realización de las pruebas:



- a) Inicialmente se realizó avance con broca tricónica de 2 15/16" de diámetro sin muestreo hasta 15m de profundidad.
- b) Posteriormente se continuó la perforación estándar hasta 29 m de profundidad, en donde se encontró un estrato arenoso poco limoso con gravillas de color gris verdoso entre 23 y 29m de profundidad. El sondeo de penetración estándar se realiza con la finalidad de conocer las características de los materiales atravesados buscando materiales granulares o roca que contengan un bajo porcentaje de finos para los cuales se estima que tienen una capacidad de absorción adecuada.
- c) Se procede a rimar con broca tricónica de 3 ½ " de diámetro hasta 29m de profundidad, únicamente utilizando agua limpia. Se hincó a la brevedad posible y hasta 23m de profundidad ademe metálico recuperable NW de 3" de diámetro interior, con objeto de ademar los materiales existentes hasta la profundidad mencionada.
- d) Posteriormente se inyectó agua a presión con la finalidad de retirar el lodo bentonítico empleado para estabilizar las paredes de perforación, suspendiendo la inyección de agua hasta que el brocal de la perforación se observe el retorno de agua limpia.
- e) Se efectuó la primera prueba de permeabilidad que se tenía contemplado entre 23 y 29 m de profundidad con las consideraciones establecidas anteriormente, en la que la cámara filtrante quedó a la misma profundidad.
- f) Concluida la primera prueba se procedió a profundizar a realizar una segunda prueba a la misma profundidad, pero considerando el suelo ya saturado, con la finalidad de conocer la capacidad de absorción de los materiales existentes en el estado seco en la que se encuentran y medir el gasto que será posible filtrar al subsuelo.
- g) La inyección de agua se realizó por un lapso aproximadamente de 30 minutos, tiempo en el cual se observó que retornaba agua limpia verificando que los materiales que constituirán a la cámara filtrante comprendida entre 23 y 29m de profundidad quede libre de todo elemento que pudiera interferir con la prueba de permeabilidad. Las pruebas de permeabilidad se efectuaron con flujo de agua variable a la perforación de acuerdo al siguiente procedimiento:



Para la prueba se colocó en el brocal del pozo a 20cm de profundidad con respecto al nivel del terreno, una señal que sea fácilmente visible, se midió la profundidad del nivel freático. (Que para este caso se tiene hasta 2.3m de profundidad con respecto al nivel actual del terreno)

Se realizaron las pruebas necesarias para conocer la cantidad de agua que era necesario verter al pozo de absorción hasta lograr su estabilización en la señal previamente localizada.

En la prueba que se realizó un control que indicará el volumen de agua vertida, con objeto de facilitar las maniobras a realizar para el aforo definitivo, utilizando un volumen de agua suficiente para asegurar el desarrollo de la prueba.

Una vez estabilizada el agua en el pozo a la señal mencionada se interrumpió la descarga desviando el chorro, accionando simultáneamente el cronómetro.

Utilizando una sonda eléctrica que se muestra en el reporte fotográfico se efectuaron lecturas de la evolución del agua en el pozo para intervalos de tiempo de 1 minuto.

Como el abatimiento del agua en el pozo fue relativamente rápido, se marcaron en la sonda, diferentes niveles y se tomaron los tiempos correspondientes en que se efectuaron las lecturas. Posteriormente se obtuvieron las profundidades del nivel del agua asociada a cada marca de la sonda.

En la figura anexa se muestra un croquis de instalación y realización de la prueba.

La segunda prueba de permeabilidad se realizó entre 33 y 39 m de profundidad

- a) Se continuó la perforación con avance con broca tricónica de 2 15/16" de diámetro sin muestreo hasta 30m de profundidad.
- b) Posteriormente se continuó la perforación estándar hasta 40 m de profundidad, en donde se encontró la primera capa dura de color gris entre 33 y 36 m de profundidad.
- c) Se procede a rimar con broca tricónica de 3 1/2" de diámetro hasta 39m de profundidad, únicamente utilizando agua limpia. Se hincó a la brevedad posible y hasta 30m de profundidad ademe metálico recuperable NW de 3" de diámetro interior, con objeto de ademar los materiales existentes hasta la profundidad mencionada.



- d) Posteriormente se inyectó agua a presión con la finalidad de retirar el lodo bentonítico empleado para estabilizar las paredes de perforación, suspendiendo la inyección de agua hasta que el brocal de la perforación se observe el retorno de agua limpia.
- e) Se efectuó la segunda prueba de permeabilidad que se tenía contemplado entre 33 y 39 m de profundidad con las consideraciones establecidas anteriormente, en la que la cámara filtrante quedo a la misma profundidad.

Perforación.

La perforación que es una de las condiciones más importantes para la ejecución correcta de una prueba Lefranc, se deberá hacer preferentemente con una perforadora rotatoria con broca de diamante para la extracción de núcleos de materiales, pero también con broca de tungsteno o triconica sin extracción de núcleos, aunque en este caso no fue necesario.

La broca deberá ser de diámetro de 3" (7.6 cm). Pero también se podrá utilizar broca de 4" o 4 ½".

Se deberá dejar de usar lodo bentonítico en la longitud donde se realizara la prueba, ya que con esto se taponaran los pequeños vacíos del material por probar. La perforadora con agua es indispensable, aunque esta condición no es suficiente porque con cualquier perforadora con más o menos intensidad, los sedimentos de los cortes se taponaran las paredes del pozo, este se evita, disminuyendo el lavado de la perforación.

Procedimiento.

De acuerdo a la naturaleza del terreno, dada por el método de perforación, se recomienda efectuar las pruebas LEFRANC de flujo variable.

En nuestro caso optamos con carga variable la cual consiste en inyectar agua limpia al pozo perforado descargando en el lugar escogido una cantidad determinada de líquido observando el tiempo que tarda en absorberse.

Lecturas de gasto variable.

En las pruebas de permeabilidad se obtuvieron los siguientes gastos de infiltración y los registros de campo se presentan en las figuras 6 y 7.



CALCULO DE PERMEABILIDADES.

Con los datos obtenidos en campo se procedió a determinar el coeficiente de permeabilidad de cada uno de los estratos del subsuelo en los que se realizaron las pruebas, aplicando la siguiente expresión ⁽¹⁾:

$$K = \frac{Q}{CH}$$

donde:

K: Coeficiente de permeabilidad del estrato, en m/seg.

Q: Gasto infiltrado en la cámara filtrante, en m³/seg.

H: Carga hidráulica media de la cámara filtrante, correspondiente al nivel de la estabilización del agua, en m.

C: Coeficiente de forma de la cámara filtrante, dado por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{2\pi d \sqrt{\frac{L^2}{d} - 1}}{2.3026 \log_{10} \left(\frac{L}{d} + \sqrt{\frac{L^2}{d^2} - 1} \right)}$$

siendo:

L: Longitud de la cámara filtrante, en m.

d: Diámetro de la cámara filtrante, en m.

A continuación se presentan los resultados de las permeabilidades obtenidas en los estratos en los que se realizó cada prueba:

PROFUNDIDAD DE LA CAMARA FILTRANTE (m)	PERMEABILIDAD K (m/seg)
de 23 a 29	1.54 X 10⁻⁶
de 33 a 39	3.40 X 10⁻⁷



Las permeabilidades obtenidas corresponden a considerar una permeabilidad media uniforme en los materiales que se encuentran al nivel en que se ubica la cámara filtrante.

Dado que el espesor en que se perforaron las cámaras filtrantes se tienen estratos de suelo granular con características de permeabilidad diferentes, las permeabilidades determinadas se deben de manera importante a la capa de mayor permeabilidad existente al nivel de la cámara filtrante.

En general se encontró que hasta la profundidad en que se efectuaron las pruebas de permeabilidad los materiales tienen un contenido de finos alto para hacerlos permeables, para las que se determinaron permeabilidades de 1.54×10^{-6} m/seg y 3.40×10^{-7} m/seg, respectivamente, que corresponden a permeabilidades con capacidades medias y bajas para ubicar en ellas pozos de absorción con gastos capaces de inyectar al subsuelo el agua que se pretende infiltrar, por lo cual se establece que los pozos deberán tener una profundidad mínima de 30 m de profundidad y que la cámara filtrante quede entre 23 y 29 m de profundidad.

Gastos de absorción.

De acuerdo a las pruebas de permeabilidad ejecutadas, se concluye que los materiales que ofrecen las mayores permeabilidades de los estratos explorados se encuentran entre 23m y 29m de profundidad.

Se calculo el gasto que es posible infiltrar al subsuelo a través de estos estratos, mediante la construcción de pozos de absorción de diferentes dimensiones de cámara filtrante, mediante la siguiente fórmula:

$$Q = KCH$$

donde:

Q: Gasto que es posible infiltrar con una carga hidráulica H, en m³/seg.

En los análisis se considero una permeabilidad de 1.54×10^{-6} m/seg, y una carga hidráulica de 29m, para una cámara de infiltración ubicada en el estrato localizado entre 23 y 29 de profundidad; obteniéndose los gastos de absorción que se indican a continuación, para diferentes diámetros de cada cámara filtrante:



PROFUNDIDAD DE LA CAMARA FILTRANTE (m)	DIAMETRO DEL POZO DE ABSORCION (m)	GASTO DE ABSORCIÓN DEL POZO (lts/mín.)
de 23 a 30	0.20	17.04
de 23 a 30	0.30	19.02
de 23 a 30	0.40	20.70
de 23 a 30	0.50	22.26
de 23 a 30	0.60	23.58
de 23 a 30	0.70	24.84
de 23 a 30	0.80	26.16
de 23 a 30	0.90	27.36
de 23 a 30	1.00	28.50

De acuerdo con los resultados anteriores y las dimensiones y operación de la cisterna de almacenamiento se escogerá la opción que económicamente resulte óptima. Estableciendo que entre 23 y 30 m de profundidad con respecto al nivel actual del terreno se deberá colocar la cámara filtrante y se podrá suministrar el gasto requerido dividido entre el número de pozos que se requiera por evento.

5.2).- PERFORACIÓN: La perforación de pozos profundos se puede definir como la horadación del terreno efectuada por medio de maquinas y herramienta mecánica a profundidades mayores de 30 m.

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

Con base en el resultado de los estudios geohidrológicos y geofísicos realizados, así como del recorrido de la zona por beneficiar, se sugiere el tipo y capacidad del equipo para la construcción de los pozos pudiendo ser de percusión neumático o rotatorio, de



circulación directa o inversa pero con capacidad suficiente para poder alcanzar las profundidades y diámetros especificados.

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

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

Los pozos para abrevadero tienen como finalidad beneficiar a pequeñas comunidades, generalmente asiladas de todo centro de población pero con gran arraigo a la zona donde se encuentran; lo anterior, obliga a realizar trabajos en aquellos lugares donde prevalecen dichas condiciones.

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

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

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

5.3).-METODO DE PERFORACIÓN: Existen diversos métodos o sistemas utilizados en la perforación de pozos para el alumbramiento de aguas subterráneas. El de persecución, llamado también a cable o de pulseta. El rotatorio, que en la actualidad emplea el de tipo convencional o de circulación directa que utiliza como fluido de perforación. La bentonita principalmente. Es también común el sistema de circulación inversa en la perforación de aluviones o materiales graduados (arenas y gravas).

Últimamente se ha difundido el empleo del aire como fluido de perforación: para ello varias empresas han diseñado equipos que parten del mismo principio con ciertas variaciones. Básicamente son equipos similares a los utilizados para circulación directa o inversa a los que se han adicionado, uno o varios compresores para la extracción de los recortes o ripios. Los de circulación directa utilizan la sarta común y como herramienta



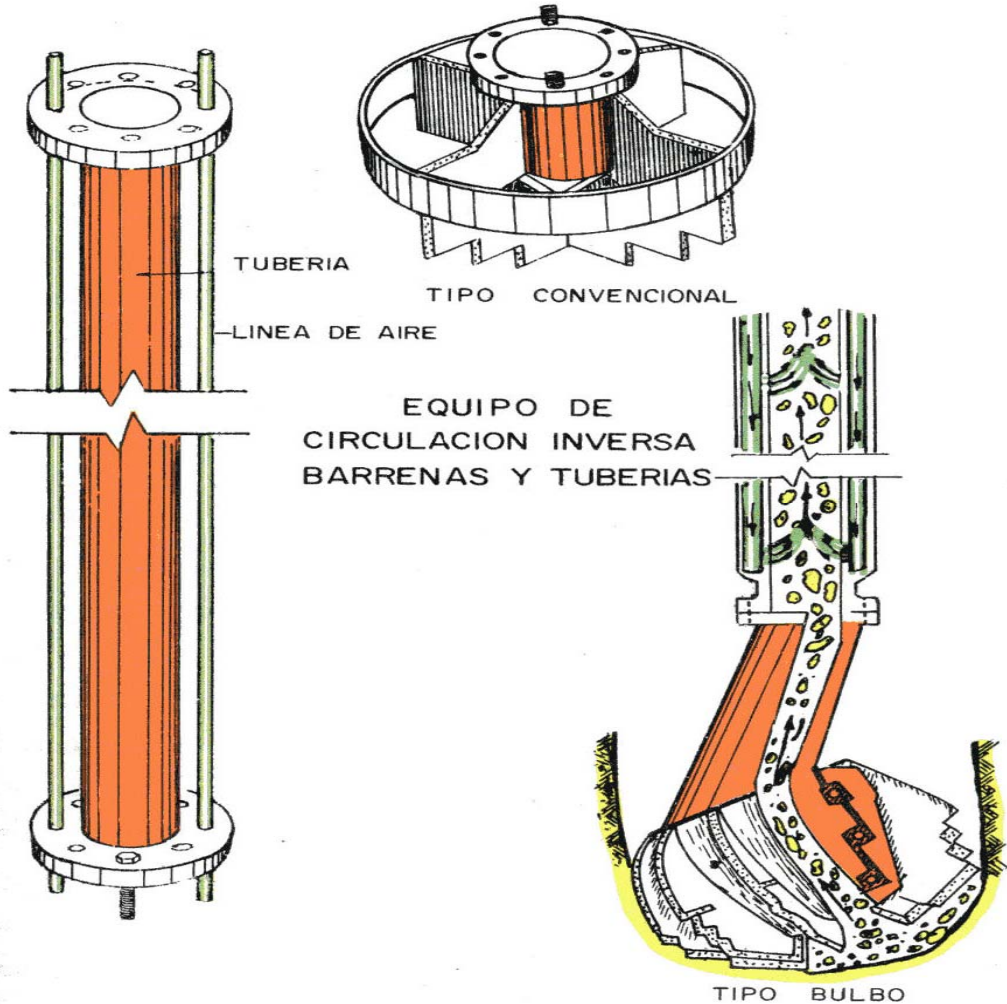
de corte las de tipo normal o un martillo de tipo especial con una barrena de diseño no convencional. En estos casos, inicialmente las barrenas fueron similares a las que se emplean en los trabajos de minería en forma de cruz con filos revestidos con carburo de tungsteno. A la fecha prácticamente han sido desechadas por otro tipo de barrena también no convencional en cuyas aéreas de corte o ataque tiene insertados botones de carburo de tungsteno.

Algunas perforadoras neumáticas son equipadas con un control de flotación en la mesa rotatoria cuyo diámetro máximo es de 216 mm (8 ½") como complemento, es necesario el uso del pull down. El control de flotación es ajustable y las velocidades de acuerdo con el manual de operación varían de 0 a 3.66 m/min (0 y 12 pies/min) Otras son operadas a base de observación del manómetro (presión de aire) y del peso (pull Down) El martillo emplea para cortar, barrenas del tipo convencional; de dientes o de roles con insertos de carburo de tungsteno. Para su operación esta diseñado de tal manera que en su interior por la acción del aire, actúa un pistón que golpea sobre la camisa produciendo el impacto y a fin de que los recortes no penetren dentro del cuerpo del martillo cuando la presión es inferior a 100 Lbs./pulg², tiene en la parte inferior del cuerpo una válvula check que se cierra automáticamente. En el primer caso, las barrenas mas comunes tienen diámetros de 152 mm (6") y 165 mm(6 ½") aunque actualmente se fabrican hasta de 254 mm (16") de diámetro y en el segundo hay martillos que emplean barrenas hasta de 508 mm (20") de diámetro.

Es importante hacer notar que al formularse los pedidos para la adquisición de las barrenas de botones, como en el caso de las convencionales, debe mencionarse la dureza de estos de acuerdo con el tipo de formación por atravesar. Cuando el fluido de perforación utilizado es unicamente aire, algunas perforadoras estan equipadas con bombas que a traves de la tubería de perforación inyectan pequeñas cantidades de agua que al entrar en contacto con el aire forman una emulsion que elimina o reduce el polvo que se produce al efectuar la perforación. Es muy recomendable el empleo de espumantes en estos trabajos ya que reducen el consumo de aire, lubrican y enfrían la barrena y facilitan la extracción de los ripios. Cuando las formaciones por perforar son arenas, gravillas y gravas hasta de 102 a 127 mm (4 a 5") de diámetro con gran permeabilidad y consecuentemente acuíferos altamente productores, es recomendable el empleo del sistema rotatorio de circulación inversa por la limpieza que presenta el agujero después de la perforación pues no existe contaminación por el empleo de lodos bentoníticos, los grandes diámetros a que normalmente se puede perforar y sobre todo por la velocidad de avance. Por lo tanto es muy importante antes de iniciar los trabajos contar a pie de pozo, con todos los materiales herramientas y equipos requeridos para estos. Este sistema presenta serias limitaciones por no ser posible utilizarlo en formaciones consolidadas, además de los grandes consumos de agua no disponibles en cualquier zona, ya que a diferencia del sistema rotatorio convencional, el fluido de perforación es agua que penetra al agujero por gravedad y es extraída con los recortes a traves de la tubería de perforación mediante la acción de una bomba centrífuga en vez de la de lodos comúnmente utilizada.

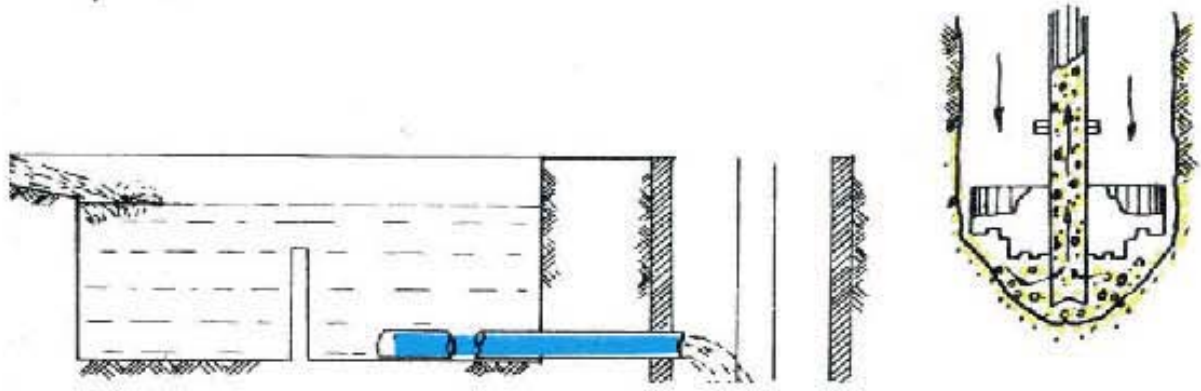
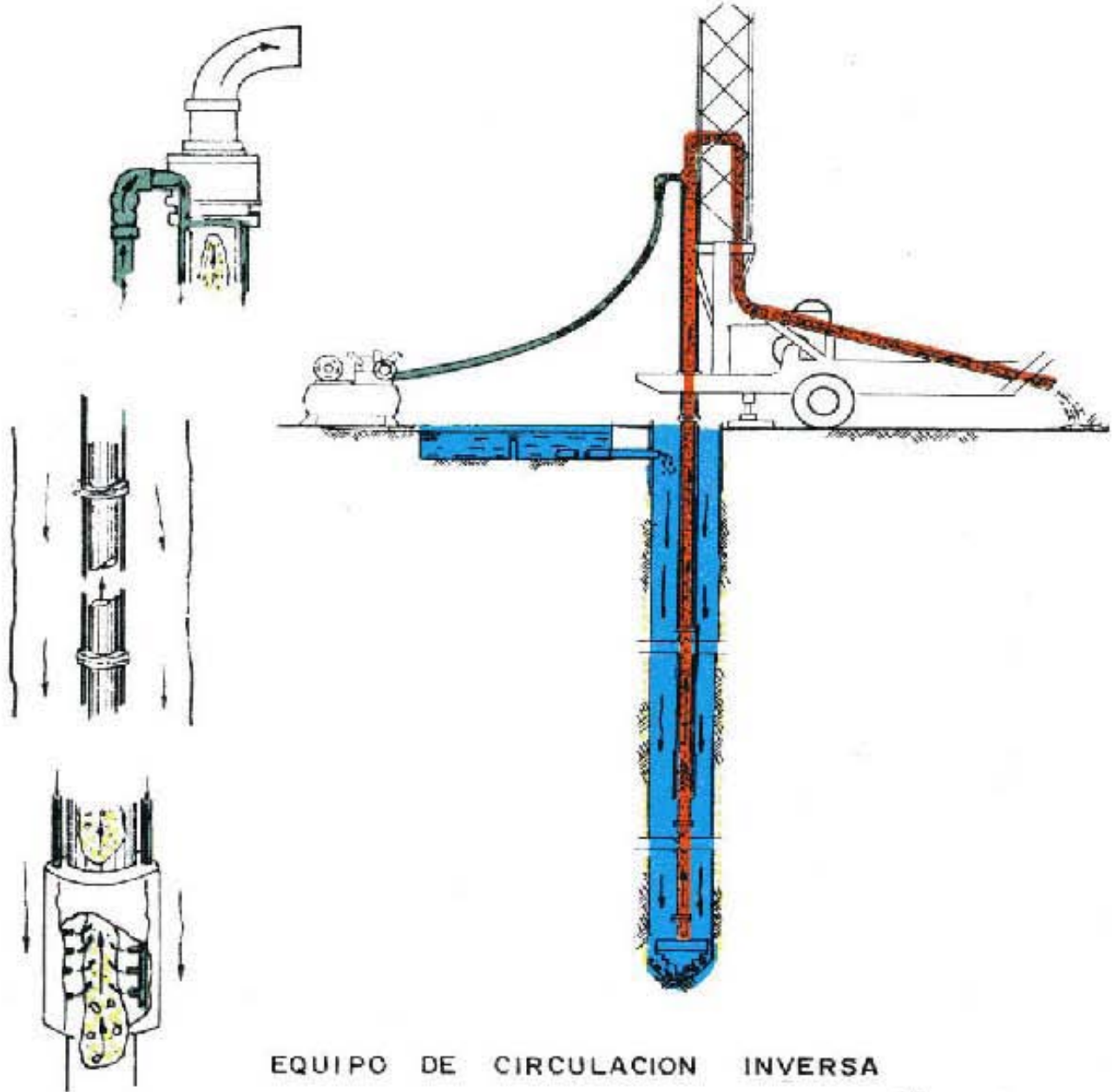


Las tuberías de perforación mas generalizadas en este sistema son las de 152 mm (6") de diámetro. La longitud de sus tramos es de 3.05m (10') y tienen en sus extremos



bridas que se unen por medio de tornillos y tuercas y un empaque intermedio para evitar fugas.

Si además de agua emplea aire con fluido de perforación. Las tuberías de inyección se instalan paralelas y diametralmente opuestas a la perforación, unidas a estas a través de las bridas. Su longitud total será igual a la de la presión que puede proporcionar el compresor, por lo tanto para poder continuar con la perforación debajo de ese nivel, es necesaria una alimentación continua de agua a través del espacio anular, misma que por diferencia de densidades ejercerá una presión mayor que la de la emulsión agua aire contenida dentro de la tubería. Hay ocasiones en que es conveniente mezclar el agua con un gel, bentonita o un esumante, con el cual se logra obtener determinada viscosidad, para la extracción de los recortes y relativamente estabilizar las paredes del agujero. Las barrenas que emplean son de diseño especial y de estas con las que se logran mejores resultados son las que tienen forma de bulbo.





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

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

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

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

Perforación	Tubería	Perforación	Lastrabarrenas
Directa	3 ½”	API I F	203 mm(8”)Ø
Inversa	6 5/8”	API F H	203 mm(8”)Ø
Neumático	4 ½”	API F H	152 mm(6”)Ø

Los equipos rotatorios neumáticos, emplean generalmente las trabarrenas de 152 mm (6”) diámetro máximo, por tener mesas rotatorias hidráulicas cuyo diámetro máximo es de 216 mm (8 ½”) y emplear el mecanismo de presión descendente (pull down) para el empleo del martillo.

5.4).-SELECCIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN ADECUADO: Para la selección del equipo de perforación adecuado se debe tener en consideración que la República Mexicana tiene un subsuelo formado por materiales rocosos que cubre toda la gama litológica. Lo mismo es hablar de formaciones ígneas., como sedimentación o metamórficas. En términos generales se hacen sugerencias para perforar con éxito las siguientes formaciones predominantes.



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

ROCAS SEDIMENTARIAS MARINAS.- Las más comunes son las calizas, margas, conglomerados, areniscas y lutitas. Tomando en cuenta que las calizas por su composición tienen una permeabilidad secundaria y localizada, solo mediante estudios hidrogeológicos detallados podrán perforarse con éxito. Puede emplearse el sistema de percusión o el rotatorio neumático con martillo y el doble tubo o Con-cor y el rotatorio convencional. Dentro del grupo de las rocas sedimentarias se consideran no productoras por su alto contenido de arcilla. Las lutitas y las margas y por lo que respecta a las areniscas, generalmente son acuíferas de acuerdo con su tipo de cementante, en consecuencia, solo se perforaran aquellos materiales que cubran a estas rocas en el caso anterior cuando presenten alternativas. Para estos casos se recomienda el empleo de equipos de perforación rotatorio directo.

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

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

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

Es muy importante considerar la finalidad de la perforación, ya que esta función directa con la selección del equipo adecuado es decir, su capacidad, herramienta por utilizar, tipo de fluido de perforación y en consecuencia el diseño del pozo. No es lo mismo



proyectar la perforación de un pozo con fines de riego en una zona conocida que otro para uso domesticos en una area desconocida.

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

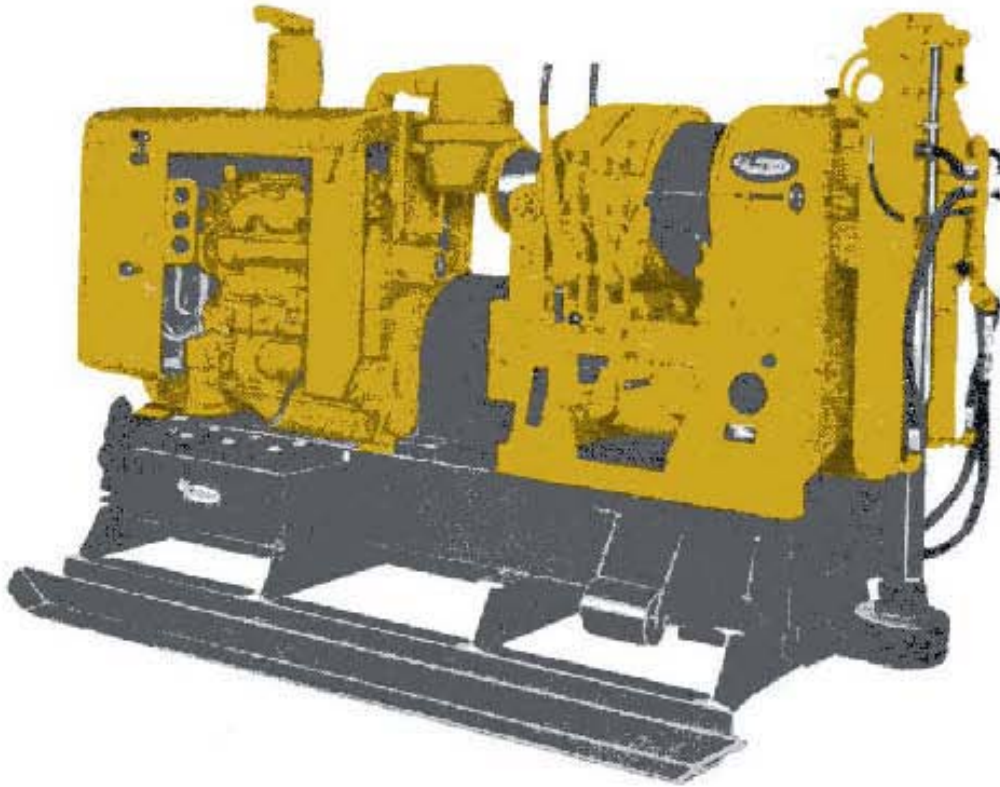
En algunas ocasiones se llegan a encontrar arcillas hidrófilas, llamadas tambien plasticas o hinchables que tienden a cerrarse y atrapar la sarta cuando se hidratan con el agua del lodo de perforación; en este caso una vez que son detectadas se debiera repasar el agujero hasta lograr que se tenga un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

5.5).-EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE EXPLOTACIÓN: Como complemento a los estudios geohidrologicos es recomendable por su bajo costo y la información que proporcionan, exploraciones con equipo denominados "Perforadoras de Exploración o Diamante". Los hay de 3 tipos: percusión, rotación y combinados. Con los primeros se logran diámetros de +- 50.8 mm(2") y las profundidades que se alcanzan son del orden de 80m. Con los equipos de rotación, dependiendo de su capacidad, se puede perforar a mas de 500m en diámetros que varian de 57.15 mm(2 ¼") a 114.3 mm(4 ½") y las combinadas, cuyo avance es mas rapido, tienen limitaciones en su profundidades(+ 120 m) y diámetros de agujeros no mayores de 101.6 mm(4").

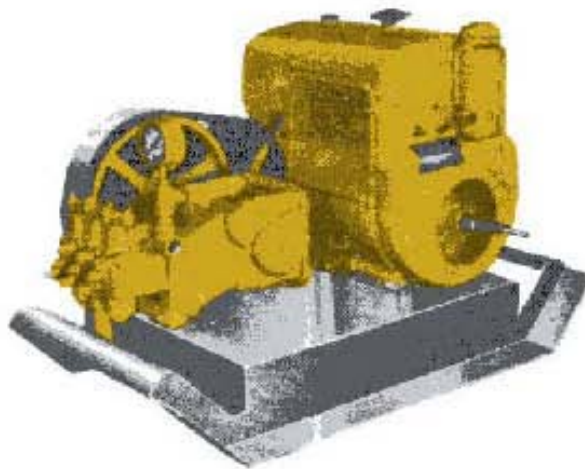
Como para fines exploratorios es necesario que el diámetro del agujero permita la introducción del electrodo del aparato de registros eléctricos, deben emplearse equipos rotatorios usando lodos como fluidos de perforación.

Previos estudios geohidrologicos las localizaciones son fijadas por el geohidrologo y las profundidades por los sondeos geofísicos. Por la correlacion de los sondeos, muestras y registro eléctrico, se produce a ampliar la exploración o desecharla si resulta negativa.

Los equipos de percusión, prácticamente obsoletos, consta esencialmente de un tripie de fierro tubular del que pende una polea a traves de la cual, un malacate accionado por un motor de gasolina impulsa un cable de acero a cuyo extremo se fija la sarta de perforación. La sarta esta formada por una zapata cortada a la que se acoplan por medio de cuerdas tubos huecos denominados varillas. El muestreo se efectua a traves del interior del varillaje golpeando con el martinete sobre una cabeza golpeadora acoplada. Cuando las formaciones atravesadas son aluviones deleznable es necesario ademorar la longitud perforada y los registros eléctricos deben correrse con equipo de rayos gamma.



EQUIPO DE PERFORACION DE EXPLORACION



BOMBA

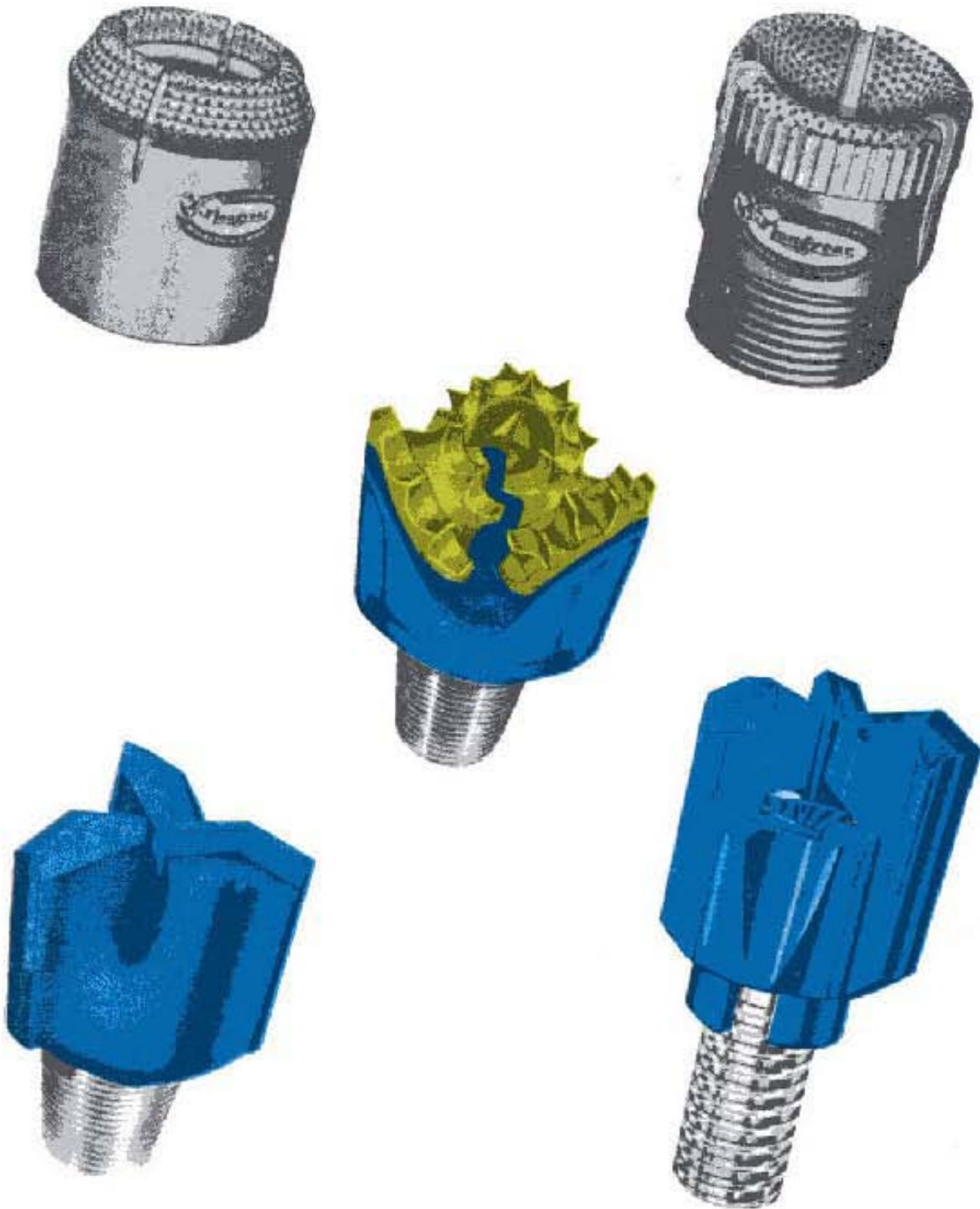


Los equipos rotatorios existen en el mercado en diferentes capacidades, principalmente se componen de una cabeza rotatoria, acciona de mecánica o hidráulicamente; un malacate de maniobras; una cabeza de gato, una unidad de potencia de tipo automotriz de gasolina o diesel, con transmisión de cuatro velocidades principales, misma que puede ser reforzada por un sistema dual una bomba triplex de desplazamiento positivo condicionada a volumen o presión. Además un swivel o cabeza giratoria, varillas de perforación, barriles muestreadores, tubería de ademe, zapatas cortadoras y brocas de los tipos: triconicos de mano, de diamante con refuerzos de carburo de tungsteno, rimas, etc.

Estos equipos pueden perforar con brocas de diamante como herramientas de corte pudiendo utilizar también barreras de roles o martillos neumáticos, empleando lodos, espumantes, productos químicos o aire fluidos de perforación. Cuando se emplea la broca de diamante, para la recuperación de muestras se utiliza por su rapidez el equipo denominado "Wire Line" cuyas barras de perforación son de pared paralela y con diámetro interior suficiente para permitir el paso del tubo del muestreador desde el fondo del barreno hasta la superficie, extrayéndolo por medio de un pescador y un cable de acero operado desde la superficie por un malacate, sin necesidad de extraer toda la sarta en cada toma. Para evitar el desgaste excesivo o la ruptura de los diamantes, que repercute en el costo de los trabajos, la máquina debe montarse sobre patines, anclándola durante la operación y no sobre la inestabilidad que este presenta.



CORONAS DE DIAMANTE Y BARRENAS





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

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

5.6.1.-HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN: Al conjunto de herramientas para la perforación o pesca se le denomina sarta y se compone de trepano barretón o barra maestra tijeras y portacable. La unión de las herramientas que forman la sarta se realiza mediante piñón y caja y el empleo de llaves especiales con boca de sección cuadrada (ver tarima de operaciones).

5.6.2.-PROTECTOR DE CABLE: El protector de cable es una herramienta complementaria, su forma se ajusta al cuello del portacable y tiene una sección de un cuarto de círculo por donde se desplaza el cable (fig. N°1).

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

5.6.3.-PORTACABLE GIRATORIO: (ver fig. N°2), Es de sección cilíndrica con una perforación concéntrica de diámetro tal que permite el alojamiento de una bala o mandril que sirve de unión a la línea o cable de perforación con la sarta. Tiene por objeto permitir que la sarta gire después de cada golpe.

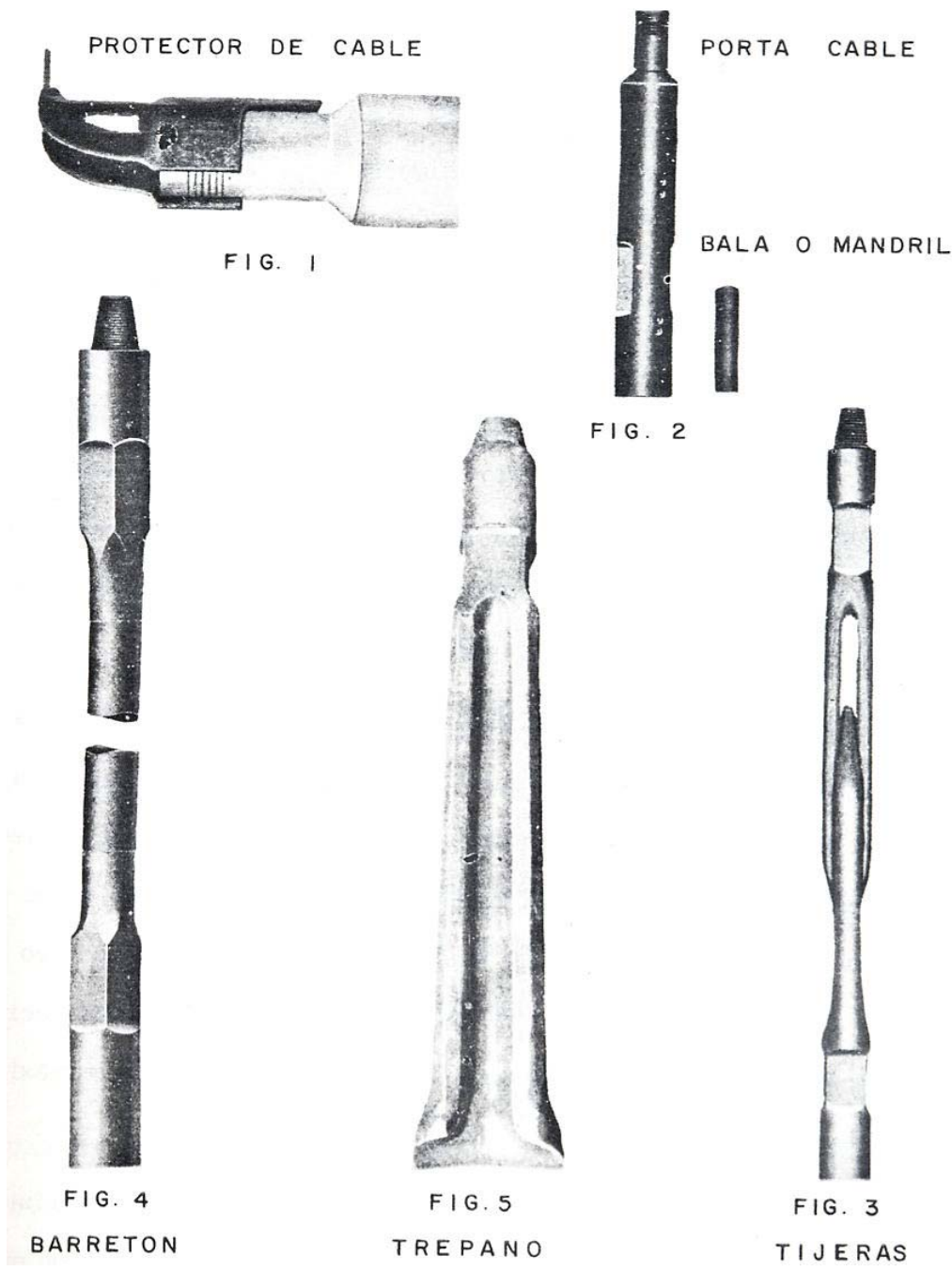
Para los trabajos de pesca el portacable que se emplea debe ser fijo se recomienda efectuar revisiones periódicas en la unión del cable para evitar que los materiales abrasivos lo desgasten en el cuello. Además en el portacables giratorio frecuentemente deberán limpiarse las perforaciones que existen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

5.6.4.-TIJERAS DE PERFORACIÓN: (ver fig. No. 3), Las tijeras de perforación están constituidas por dos eslabones, el superior tiene piñón y caja en el interior. Su empleo evita pegaduras de la sarta cuando se perforan materiales plásticos, y el del tambor de perforación y los amortiguadores de la máquina cuando son rocosos.

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

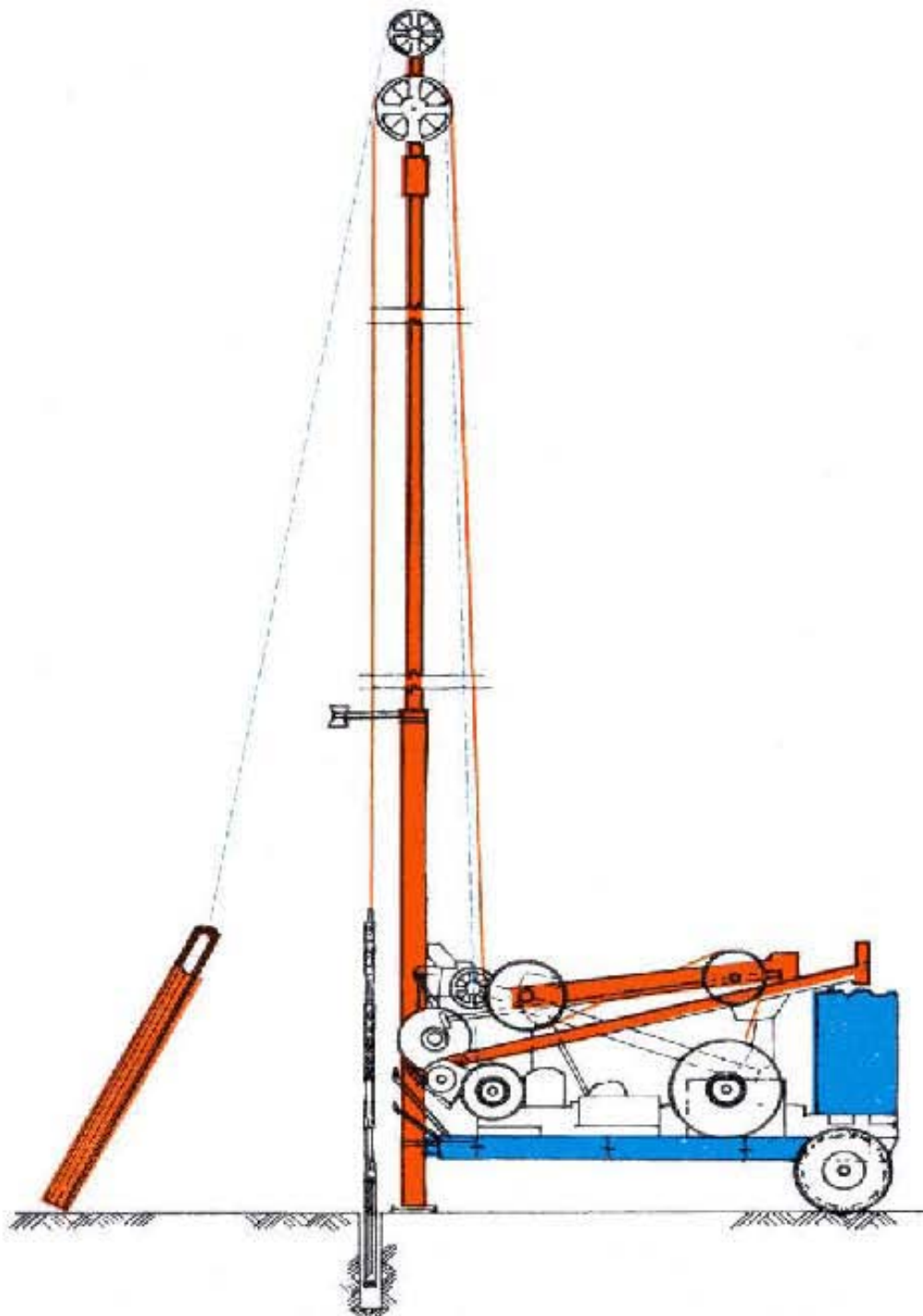


5.6.5.-BARRETON O BARRA MAESTRA: El barreton (ver fig. N°4) proporciona el peso necesario a la sarta de herramienta y se coloca siempre después de la tijeras en los trabajos de perforación. Tiene en su parte superior un piñón que se acopla a la caja de las tijeras y en el inferior una caja para la union con el trepano. Sus longitudes diámetros y pesos varian de acuerdo con los de la sarta seleccionada y estan en funcion de la capacidad del equipo.





EQUIPO DE PERCUSION
MODELO ACTUAL





5.6.6.-TREPANO: (ver fig N°5) Es la herramienta destinada a ejecutar la perforación. Se considera la parte más importante de la sarta de herramientas y se compone de las siguientes partes: piñón, cuello, cuadro para llaves, hombros, cuerpos, pasos de agua o canales de evacuación y filicortante.

De acuerdo con los materiales por atravesar se emplea varios tipos de trepano.

5.6.7.-TREPANO ESTANDAR REGULAR O CALIFORNIA: Son de uso mas comun ya que se emplean para cortar formaciones suaves o duras variando el tipo de afilado de acuerdo con las mismas. Figuras de la No. 6 a la No. 13 Recibe el nombre de california cuando su diámetro es mayor de 203 mm (8") cuando es menor se le llama regular o estandar.

5.6.8.-TREPANO TIPO CRUZ O ESTRELLA: Se usa para perforar formaciones fisuradas o inclinadas que tienden a desviar las herramientas de la vertical. El cuerpo de este trepano tiene cuatro pasos de agua y el diámetro de la seccion del cuerpo, es ligeramente menor que el area de corte. Los cuatro puntos de corte lo hacen un elemento particularmente efectivo para escariar y enderezar pozos. Para que su empleo sea eficaz debe ser correctamente afilado con angulos aguzados y tener un area de corte máxima (ver fig N°15).

5.6.9.-TREPANO CORTO: La finalidad del trepano corto es la de iniciar la perforación. Es un trepano regular o california mas corto y de menor peso lo que permite ser guiado con mayor facilidad.

5.6.10.-TREPANO TORCIDO: Es un trepano california torcido y con el mismo perfil de este sus características lo hacen producir un batido mayor. Actua como una bomba manteniendo en suspensión mayor cantidad de material sus ventajas de producir perforaciones mas derechas, elevan su costo Figura No. 16.

5.6.11.-RECOMENDACIONES PARA EL ARREGLO DE TREPANO: Ocho importantes factores influyen en el arreglo y metodo de afilar un trepano para que se adapte al material que se perfora y obtener una penetración mas efectiva.

Ellos son:

- a) Angulo de luz
- b) Angulo de penetración}
- c) Siuperficie de desgaste
- d) Filo rectificador
- e) Superficie de trituración
- f) Canal de evacuación
- g) Perfil de angulo de penetración
- h) Seccion Transversal del trepano



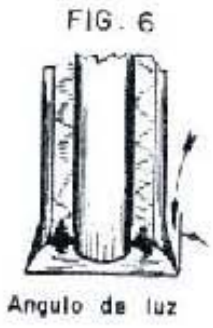
5.6.12.-ANGULO DE LUZ: Es el formado por la conicidad de la superficie de desgaste y una línea imaginaria normal al trepano levantada desde el fijo rectificador. La fig. No. 6 muestra el angulo de luz grande y en el falta la superficie de desgaste. Una flecha marca el angulo de luz.



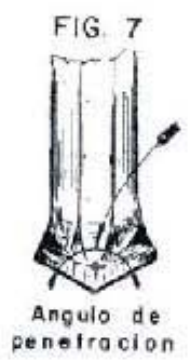
BAJANDO SARTA DE PERFORACION



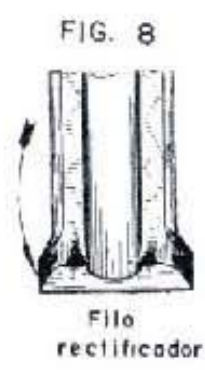
PERFORACION



Angulo de luz



Angulo de penetración



Filo rectificador

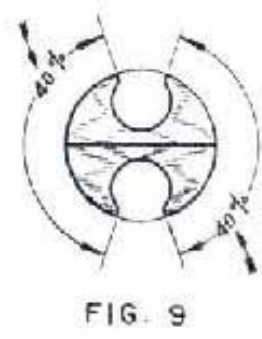


FIG. 9

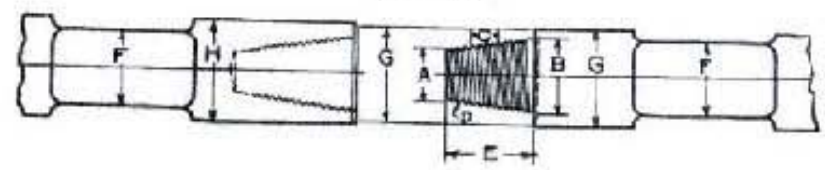


FIG. 14a



FIG. 14b

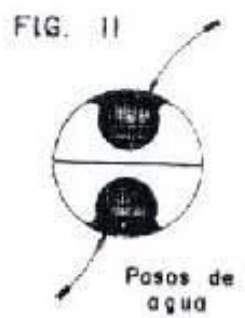
FIG. 14



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



Superficie de trituration



Pasos de agua



Perfil del ángulo de penetración



Sección transversal del trepano



FIG. 15



FIG. 16



FIG. 17



FIG. 19



FIG. 18



5.7).-SECCION TRANSVERSAL DEL TREPANO: Es un corte efectuado en un extremo del trepago, cuando aun su estructura no ha sido modificada.

La flecha indica una seccion transversal. La figura No. 13 señala la seccion transversal de un trepago cortado a pocos centrimetro del extremo del filo.

UNIONES DE HERRAMIENTAS.- Las uniones de las herramientas se realizan mediante una rosca conica (piñón) que ajusta en una rosca hembra (caja). Las cuerdas se fabrican de modo que ajusten perfectamente sin dejar espacios libres. Se insiste en tener especial cuidado en el manejo de las cuerdas para mantenerlas en perfectas condiciones. Deberan conservarse limpias y libres de oxido. Si las caras de friccion páрте final de las cuerdas, estuvieran oxidadas o presentaran una superficie aspera, deberan limpiarse o pulirse con piedras de esmeril suave pómez o lija fina hasta que queden totalmente suaves. Las superficies estaran pulidas a nivel y las uniones entre las herramientas seran herméticas.

Cuando las herramientas no esten en uso, deberan cubrirse todas sus uniones lubricadas con el protector correspondiente (ver fig. 14-a y 14- b).

5.7.1.- LLAVES DE CUADRO PARA LAS HERRAMIENTAS: Cada perforadora debe contar con un juego de dos llaves para las herramientas una derecha u otra izquierda. La abertura de la boca de las llaves, ajusta con el cuadrado de la herramienta de perforación y pesca. Para apretar una unión se coloca la llave izquierda en el cuadrado inferior y la derecha en el superior invertidas se emplean para aflojarla.

5.7.2.-CUCHARAS: En los trabajos de perforación con maquinas de percusión el material triturado se extrae del pozo con una cuchara o cubeta.

5.7.3.-CUCHARA DE VÁLVULA PLANA: Este tipo es el mas comun y esta formada por un tubo de diámetro inferior al pozo en su parte superior tiene soldada o remachada una asa que se une al cable.

De la linea de cuchareo y en la parte inferior una válvula de charnela que tiene un movimiento de bisagra (ver fig. N°17) **Alñ** sumergirla en el lodo la válvula se abre y penetra el material cerrándose por el peso de este al levantarla.

5.7.4.-CUCHARA DE VÁLVULA DE DARDO: La cuchara con válvula de dardo es la mas usada en la operación de cuchareo (ver fig N°18); La válvula de dardo abre cuando esta entra en contacto con el lodo del fondo del pozo.

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

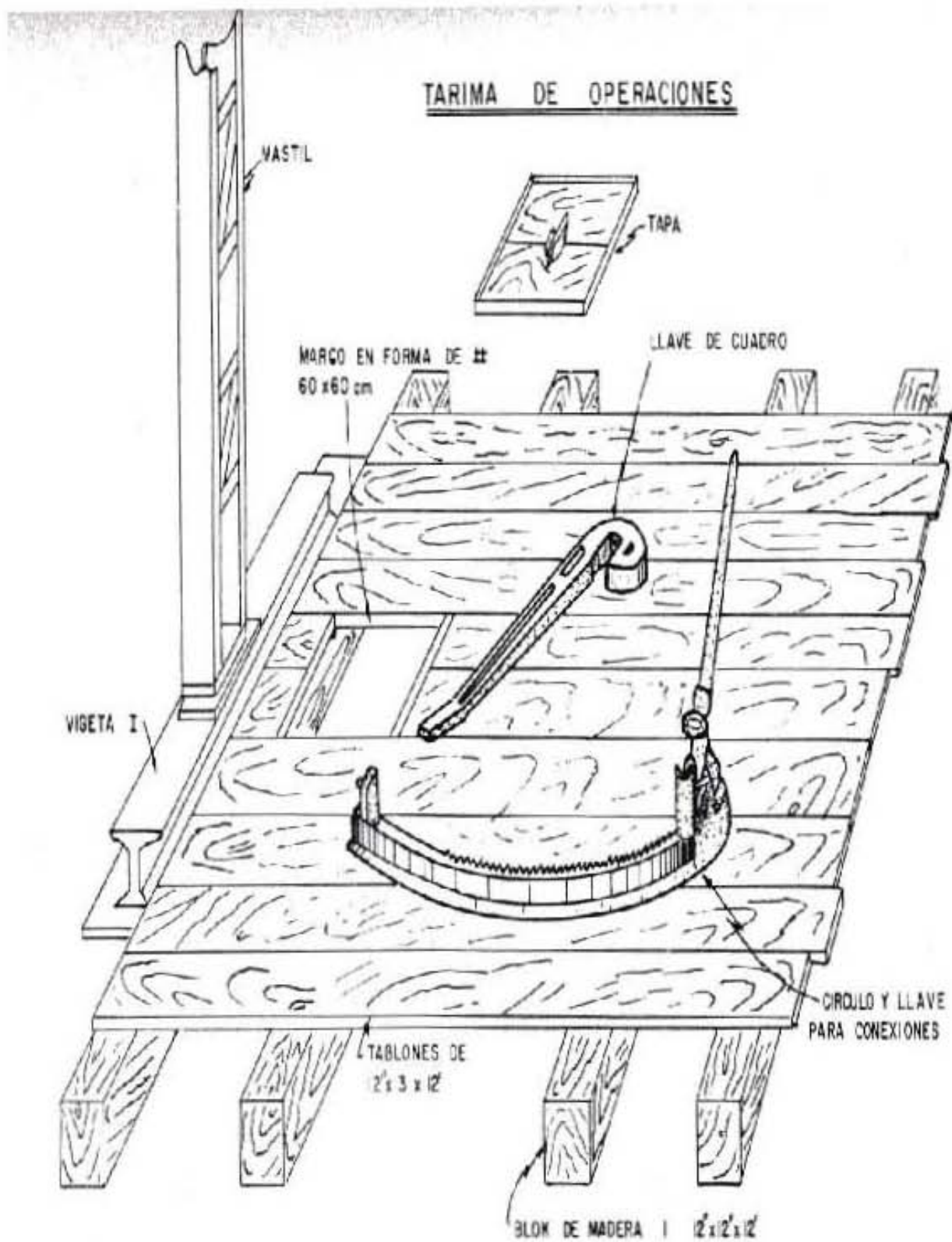
5.7.5.-BOMBA DE ARENA: La bomba de arena se usa para extraer cortes de arena y grava donde la cuchara de dardo no sera capaz de levantar los materiales. Esta compuesta por un tubo con una válvula de gozne y un embolo que trabaja dentro del cuerpo de la bomba (ver fig. N°19); El cable de cuchareo se acopla a la parte superior



del vástago de embolo. El que al levantarse ya estando dentro del pozo succiona el material dentro de la bomba. Cuando el embolo llega a la parte superior del compartimiento, se levanta la bomba y la válvula se cierra. Para vaciarla se desconecta la válvula.

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

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







5.8).- EQUIPO DE PERFORACIÓN TIPO ROTATORIO: Una maquina tipo rotatorio para la perforación de pozos profundos consta de las siguientes partes, así como un equipo complementario que se describe a continuación.

Torre o mastil de perforación, una mesa rotatoria y una plataforma donde se instalan malacates con tambores para trabajo y cuchareo, una bomba de lodos y una caja de transmisión de potencia.

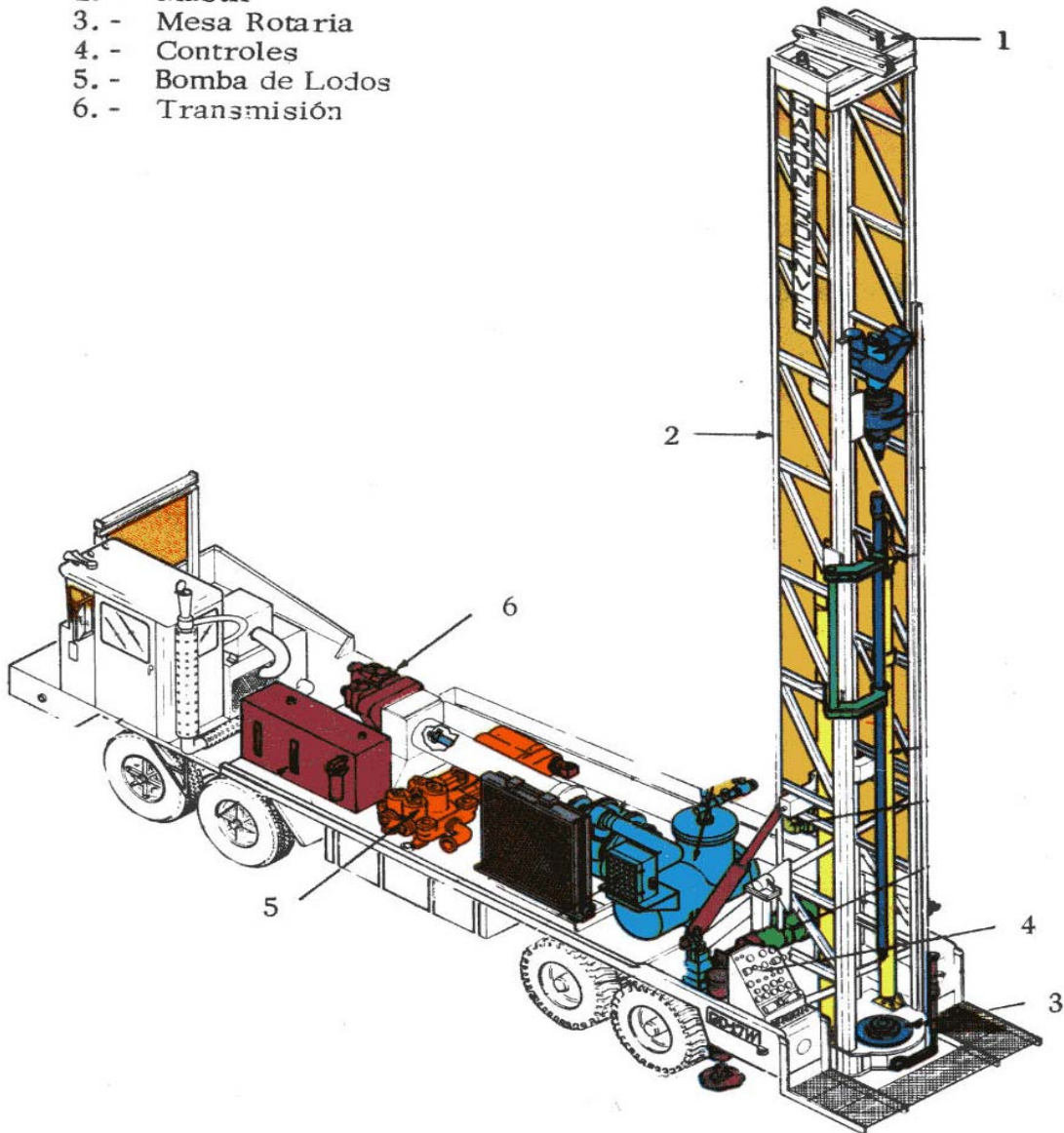
La unidad deberá tener tomas de fuerza para transmitir la potencia del o de los motores a la bomba de lodos, a los tambores, la mesa rotatoria y el sistema de alimentación de la presión descendente (pull-down). Pudiendo reemplazar este por el sistema de barras de peso (drill-collars). Que a diferencia del pull-down en el que se ejerce la presión en la parte superior de la sarta de perforación los drill-collars van inmediatamente después de la barrena, originando con esto que no haya flambeo de la sarta de perforación.

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



5.7.2.- BOMBA DE LODOS: Las bombas son del tipo piston, doble accion llamadas duplex, bombean lodo por los dos lados del piston. Con carrera de desplazamiento positivo; de manufactura standard en cilindros camisas, válvulas, vastagos y pistones.

1. - Corona
2. - Mastil
3. - Mesa Rotaria
4. - Controles
5. - Bomba de Lodos
6. - Transmisión



EQUIPO DE PERFORACION ROTATORIO

Cu
ent

a ademas con camara de alivio, válvula de seguridad, medidor de presion de aceite y válvula mezcladora de lodos. La potencia se transmite a la bomba por medio de bandas "V" o cadena de rodillos.



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

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

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

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

MESA ROTARIA.- La función de la mesa rotaria es transmitir el movimiento giratorio al Kelly a la tubería de perforación y a la barrena. Su construcción sera para trabajo pesado, totalmente cerrada, con lubricación por baño de aceite debiendo tener varias velocidades transmitidas mediante engranes de corte helicoidal montados sobre baleros conicos de construcción extra –pesada, tratados térmicamente para soportar esfuerzos severos. La mesa podra deslizarse hidráulicamente sobre dos guías permitiendo retraerla dejando espacio libre para la colocación de la tubería de ademe.



EQUIPOS DE PERFORACION ROTATORIA











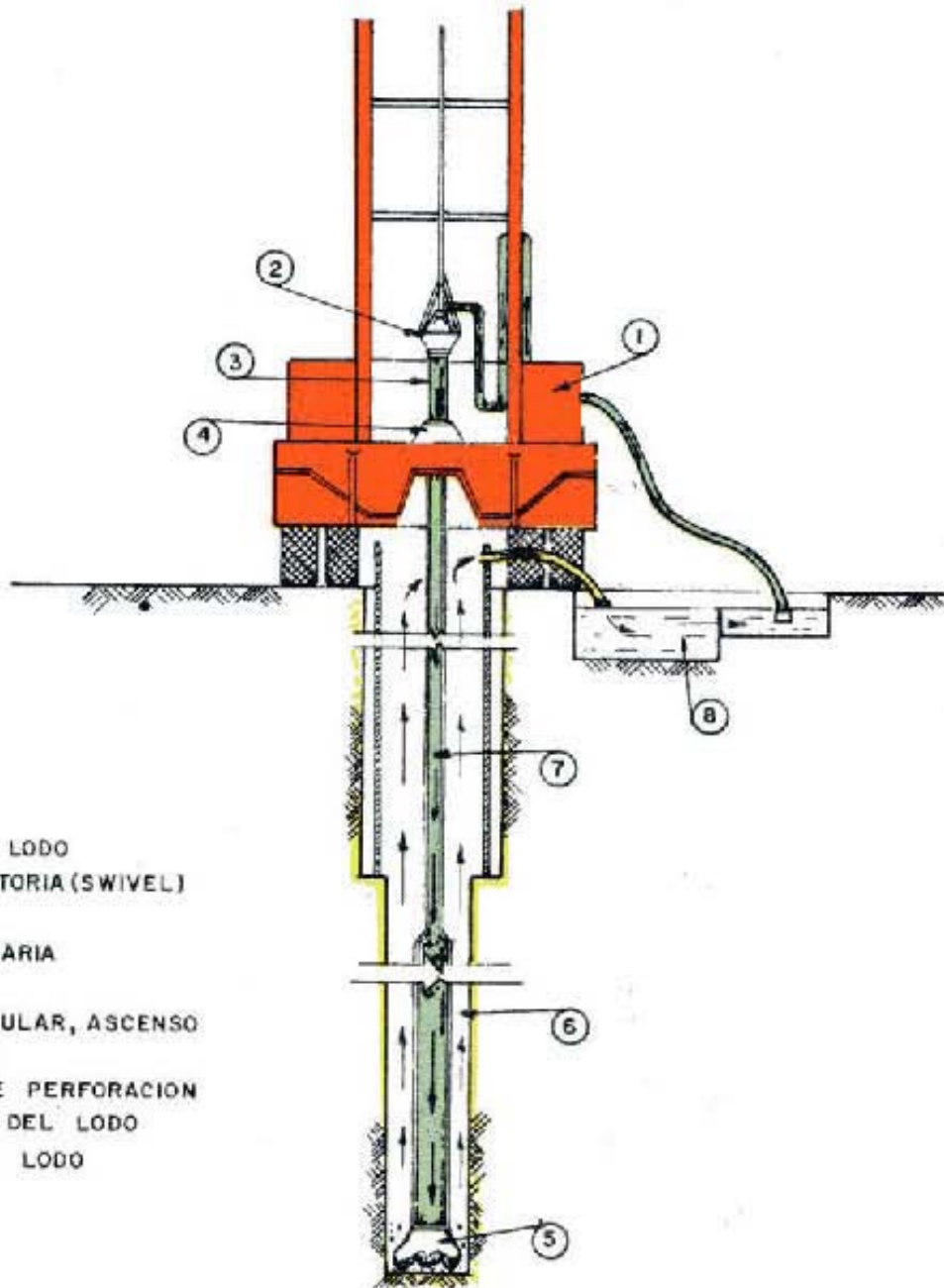
5.9).-PULL-DOWN O MECANISMO PARA EJERCER PRESION DESCENDENTE EN LA HERRAMIENTA DE PERFORAR

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

LASTRABARRENAS O DRILL COLLARS.- Estan constituidos por tramos de material tubular de pared a pared gruesa, generalmente de seccion circular y diámetros normales de 152 mm (6") y 203 mm (8"). Su finalidad es aplicar peso a la barrena, en sus extremos tiene uniones (tool-joints) de doble caja o piñón y caja, siendo las mas usuales de 114.3mm (4 ½") ó 168.3mm (6 5/8") API. REG. Su numero, longitud y peso estaran en funcion de las características del mastil.



SISTEMA DE LODOS
EQUIPO ROTATORIO
CONVENCIONAL



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



MASTIL.- Sera construido de acero tubular rolado en frio soldado eléctricamente, reforzado con tirantes cruzados para máxima resistencia, con una guía de canal para retraer la union giratoria o swivel y flecha de transmisión o kelly hacia su parte posterior cuando no este en operación.

Su altura minima sera del orden de 11m. contados desde la mesa rotaria hasta la corona la que tendra una capacidad en conjunto igual a la resistencia del mastil y su capacidad bruta no sera menor de 54 400 Kg(120 000 Lbs) La corona estara equipada con las poleas necesarias para usar 4 lineas de enrollamiento para cada linea de levante y una polea sencilla para la linea de cuchareo.

El mastil se levantara y bajara hidráulicamente, conteniendo topes de seguridad para prevenir una caída en caso de falla en la linea hidráulica. Es conveniente dotarlo con juego de luces de operación nocturna.

UNION GIRATORIA O SWIVEL.- Es una caja cerrada con cojinetes para aceite de alta capacidad a los esfuerzos axiales, un juego de sellos de grasa generalmente formados por anillos de metal, hule o fibra que forman un sello contra el elemento giratorio y dispuesto de tal manera que los materiales abrasivos de los lodos de perforación no entren en contacto con los cojinetes. Sus funciones principales son: suspender el Kelly la tubería de perforación, permitir la rotación libre de estos y el paso de los fluidos de perforación. Esta equipada con asa basculante la que a la vez se suspende del gancho de la polea viajera. En su parte superior tiene una tubería de curvatura suave denominada cuello de ganso al cual se conecta la manguera de alta presión de lodos. El conducto de flujo en el interior del swivel permite sin restricción el paso de los fluidos de perforación (lodos, aire, espuma, etc.) Están diseñados con varias capacidades de carga de acuerdo con el peso de la tubería soportando a veces pesos superiores a las 250 Tons. A 300 r.p.m. bajo 3 000 psi de presión interior.

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

ESTRUCTURA- Es de acero estructural para trabajo pesado soldada eléctricamente con miembros cruzados y reforzados. Sobre ella se montan la bomba de lodos, los malacates con tambores para trabajos y cuchareo, el mastil y los cilindros hidráulicos para su operación; la mesa rotaria y opcionalmente un compresor y un motor adicional al



del camion o dos motores de acuerdo con el modelo y capacidad del equipo, asi como los controles. Tablero de instrumentos, caja para herramientas, etc. Bajo la misma, se instalan las cajas de transmisión, tomas de fuerza y demas accesorios para la correcta y eficiente operación y trabajo del equipo. El piso de los pasillos es de lamina de acero antiderrapante de espesor adecuado.

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

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

TUBERIA DE PERFORACIÓN.- Usualmente se emplea en tramos de 6.10m (20´) ó 9.14m (30´) con juntas (Tool joints) en sus extremos de caja y piñón generalmente de 3 ½ IF ó 4 ½ FH con normas y Especificaciones API, GRADO "D".

CABLES.- Se emplean cables con tres finalidades; para perforación, para cuchareo y para maniobras; son de acero de arado mejorado, preformado con alma de fibra, para perforación, no rotario, construcción 18 x 7(6/1); para cuchareo, torcido derecho, construcción 6 x 7 Filler. Se emplean dos tipos de cables para maniobras; uno de acero y otro de manila.

Sus diámetros y longitudes dependen del tipo y capacidad del equipo de perforación.

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

BARRENAS.- Es el elemento cortante de la sarta mediante el cual se va profundizando el pozo mientras se efectua la perforación.

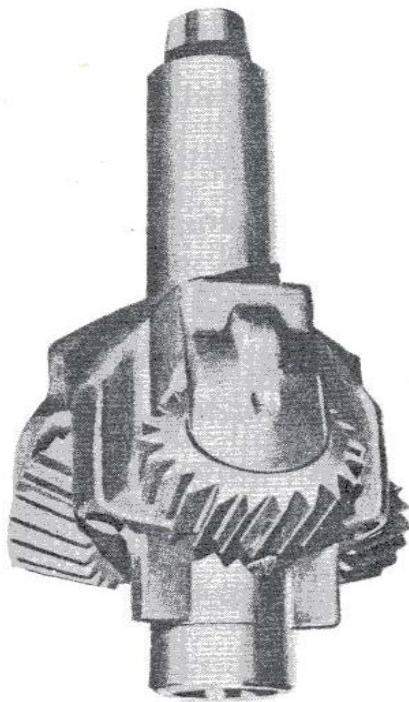
Las barrenas se conectan a los sustitutos ó a los lastrabarrenas mediante piñones de 114.3 mm (4 ½") API hasta 229 mm (9") de diámetro y de 168.3 mm (6 5/8") en adelante, existiendo varios tipos. Antiguamente se empleaban las de cola de pecado, de disco y de alas.

Las denominadas de roles o de conos son las usadas en la mayor parte de los pozos que se perforan actualmente. Los roles o conos rompen cortan o trituran las formaciones al contacto de ellas al girar impulsadas por la columna de perforación. Las barrenas de roles para formaciones suaves, tienen sus dientes largos y espaciados y para formaciones duras y abrasivas, sus dientes son cortos con minima separación.

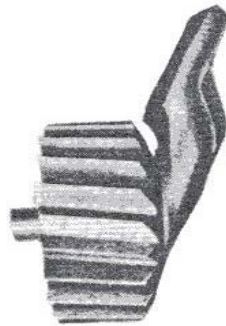
A continuación se expone el demas equipo complementario que debiera tener consigo una maquina perforadora.



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



RIMA



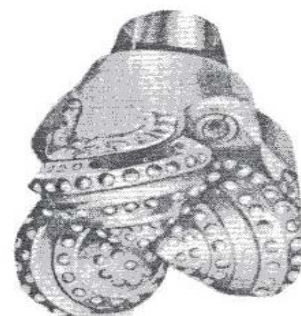
CORTADOR



JUNTA DE
TUBERIA DE
PERFORACION



BARRENA
DE DIENTES



BARRENA
DE BOTONES



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

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

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

El caolín es la arcilla más común, a sus partículas se le denomina: suspensoides o coloides hidrófobos porque tiene poca afinidad con el agua y solamente forman suspensiones estables si las cargas individuales son lo suficientemente altas para evitar la coagulación: este tipo de coloide no se dilata con el agua.

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

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

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

Las partículas sólidas suspendidas en el fluido circulante durante la perforación tenderán a hundirse, dicho hundimiento será mayor mientras más grande o más densas sean las partículas: el lodo arrastrará los detritos cuya velocidad de hundimiento es menor que la suya en el espacio anular. En condiciones de flujo turbulento la tendencia al hundimiento disminuye y el fluido mantiene en su seno determinada cantidad de detritos gruesos y pesados logrando ascenderlos hasta la superficie, lo que no ocurre si



el flujo es lineal; no por esto debe usarse un lodo muy viscoso y denso pues acarrearía entre otros problemas, la difícil decantación de los detritos en el canal y presa de lodo.

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

Como en enjarre es el resultado del efecto de filtración del lodo de perforación al ser forzado a penetrar en la formación, el espesor del enjarre depende de la diferencia entre las presiones, la hidrostática de la columna de lodo y la del fluido contenido en la formación, así como de las propiedades tanto de la formación como las coloidales del lodo. Un lodo pesado con gran cantidad de arcillas en suspensión, deposita en las paredes del pozo, más arcilla que un lodo pesado con poco porcentaje de material arcilloso; un flujo laminar permite el enjarre, en cambio un flujo turbulento excava y erosiona las paredes.

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

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

- a).- Lubricación de la tubería de perforación: Durante la operación el lodo evita que la tubería de perforación friccioné directamente contra las paredes del pozo ocasionando desgastes en la misma.
- b).- Suspensión de los detritos cuando se interrumpe la circulación, para lo cual el lodo debe tener propiedades tixotrópicas.

DENSIDAD.- la densidad de un lodo de perforación depende de la cantidad y del peso de los sólidos en suspensión; en perforaciones poco profundas del orden a las que nos venimos refiriendo, varía de 1.08 a 1.38 sin embargo hay casos en que se hace necesario el empleo de lodos más densos, por ejemplo, cuando al cortarse formaciones permeables, estas contienen agua a una presión mayor que la hidrostática del lodo, capaz de destruir el enjarre y ocasionar derrumbes en las paredes de la formación y aprisionar



la barrena. Lo anterior no se consigue añadiendo arcilla para aumentar la viscosidad y la resistencia gelatinosa del lodo, sino que se hace necesario emplear minerales pesados tales como la barita (BaSO_4), que además de su baja propiedad coloidal, tiene densidad de 4.5 gr/cc. E imparte a los lodos la de 2.3 o mayores.

CONCEPTOS DE VISCOSIDAD, PLASTICIDAD Y TIXOTROPÍA.- Podemos definir la viscosidad como el grado de fluidez de un líquido. Esta depende de la cantidad y clase de sólidos que contenga en suspensión, es decir esta razón directa de la cantidad de arcilla presente.

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

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

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

No existe una unidad para medir el valor coloidal de un lodo, pero hay métodos mediante los cuales es posible medir el valor coloidal relativo, para prever su comportamiento, así como el control de esa propiedad.

El método más empleado es la prueba de enjarre, en la que por una presión determinada, es forzado el lodo a pasar a través de un papel filtro, este solo permite el paso de cierta cantidad de agua lo que origina la formación de una película.

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

La floculación de un lodo, disminuye el grado de dispersión de los coloides permitiendo que estos se agrupen formando agregados que modifican las propiedades de enjarre y viscosidad. El proceso contrario a la floculación es aquel en el que la dispersión de sus coloides es correcta y es conocido como defloculación (cambio por agitación).



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

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

P.H (POTENCIAL HIDRÓGENO).- Las variantes del PH de un lodo produce cambios en las propiedades físicas del mismo, tales como su dispersión en el agua, viscosidad, resistencia gelatinosa y su acción corrosiva.

DESCRIPCIÓN Y MANEJO DE ALGUNOS APARATOS PARA EL ESTUDIO DE LODOS.- Para el estudio de los lodos de perforación, es necesario llevar un registro de los valores relativos de las diferentes propiedades durante el proceso de la perforación, para lo cual existen diversos aparatos de los cuales, algunos se mencionan a continuación.

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



BALANZA DE DENSIDADES



VISCOSIMETRO DE MARSH



VISCOSÍMETRO MARSH.- Se compone de un embudo que tiene una capacidad de 1500 cc y un recipiente de 1000 cc comúnmente llamado litro. La viscosidad se mide en segundos, desde el momento en que empieza a fluir el lodo contenido en el embudo hasta que ha desalojado en el litro un volumen de 946 cc; siendo esta la viscosidad estandar según el API con agua a 26.5° debe dar una lectura de 26+-0.5seg. Pero en México tomamos el tiempo que tarda en desalojar 1000 cc por estar de acuerdo con el sistema metrico decimal.

La viscosidad recomendable para perforaciones como profundidades máximas de 500 m debe variar entre 38 y 40 seg lográndose con esto mayor rapidez de perforación eliminación de arenas lo que evita enjarres falsos que pueden provocar derrumbes. Cuando se perforan gravas o arenas mas gruesas, debera aumentarse la viscosidad; siendo la recomendable en estos casos la que varia entre 48 y 50 seg.

Para incrementar la viscosidad y mejorar la gelatinosidad en formaciones calcareas se recomienda el uso de carbonato de sodio (Soda Ash) ó fosfato disodico (neutro). Los que proporcionan una mejor película de enjarre.

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

La presa de asentamiento se aconseja tenga profundidad mayor que la de succion con el fin de que cumpla sus funciones; 0.3 a 0.5 m mas bajas, son medidas recomendables en este caso.

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

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

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

En terrenos arenosos o muy permeables, a fin de protegerse contra las filtraciones, se acostumbra revestir tanto las presas como los canales con tabiques o tabloncitos unidos o



junteados con mortero de cemento reduciendo así el costo por alimentación de agua cuando esta tiene que ser acarreada.

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

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

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

RELACION AGUA-CEMENTO

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

El cemento común requiere aproximadamente un 20% de su peso en agua, para lograr una hidratación completa, pero se ha previsto por pruebas de laboratorio, que se necesita casi el doble de esa cantidad de agua para la mezcla pueda ser bombeable. En ocasiones pueden usarse lechadas gruesas utilizando poca cantidad de agua; estas mezclas ayudan a desplazar el lodo por delante, teniendo menor peligro de contaminaciones con el fluido de perforación, pero también se corre el riesgo de que el cemento empiece a fraguar antes de haber alcanzado la profundidad deseada. Otras veces la lechada puede ser preparada con un alto porcentaje de agua (70%). La cual puede dar resultados satisfactorios siempre y cuando tenga el tiempo de reposo suficiente para que frague; pero se tiene el inconveniente de que fácilmente pueda infiltrarse a través de deformaciones permeables.

EFFECTOS DE CONTAMINACIÓN CON AGUA SALADA.- Las cementaciones de pozos se encuentran sujetas a las reacciones químicas que se originan al contaminarse la lechada con las aguas del subsuelo que contengan sales en disolución, y si esta contaminación se efectúa durante el desplazamiento del cemento, sus propiedades pueden ser alternadas; en casos extremos, no logra fraguar.

Las soluciones diluidas de cloruros, reducen el tiempo de fraguado, las de calcio y magnesio son mucho más activas que las de sodio en estas condiciones. Por el contrario, el contacto con soluciones sulfurosas en determinadas concentraciones. Pueden retardar el tiempo de fraguado, así como pequeños porcentajes de las mismas pueden acelerarlo. Además la contaminación con sales alcalinas influye en el tiempo de fraguado y al quedar en contacto con ellas, sufrir posteriormente cuarteaduras.



La falta de solidez en el cemento también puede deberse a una expansión después de su fraguado, como resultado de una tardía recristalización de cal y magnesio libres en el cemento mismo, por esta razón, más del 50% de magnesio es considerado perjudicial en el cemento Portland. Posibles fallas en las cementaciones ocasionadas por esta reacción química pueden no ser apreciables al principio, pero posteriormente puede presentarse el desmoronamiento y la desintegración del cemento, dado como resultado una cementación defectuosa.

CONTAMINACIONES CON LODOS

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

INFLUENCIA DE LA PRESION Y TEMPERATURA

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

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

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

CEMENTACION DE TUBERÍA.- Antes de introducir la tubería que se va a cementar se recomienda acoplarle una zapata de diámetro interior igual a la misma formada por materiales fácilmente perforables y que además de guiar el extremo inferior del tubo a través de las irregularidades que puedan existir en el agujero, sirve para permitir la circulación de la lechada de cemento del interior al exterior de la tubería de ademe e



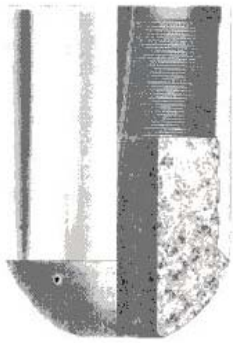
impedir la circulación en sentido inverso. En su defecto, en un extremo de tubo de diámetro igual a la tubería por cementar y longitud aproximada de 1.50m, se colgara un tapon de cemento de aproximadamente 60 cm el que hara las veces de zapata.

Una vez fraguada la lechada que constituye el tapon y una distancia aproximada de 20 cm. Se cortaran con soplete y en forma perimetral de 6 a 8 secciones rectangulares de 10 x 4 cm y que se utilizaran para expulsar la lechada. Posteriormente ese tramo de tubo se acoplara al ademe.

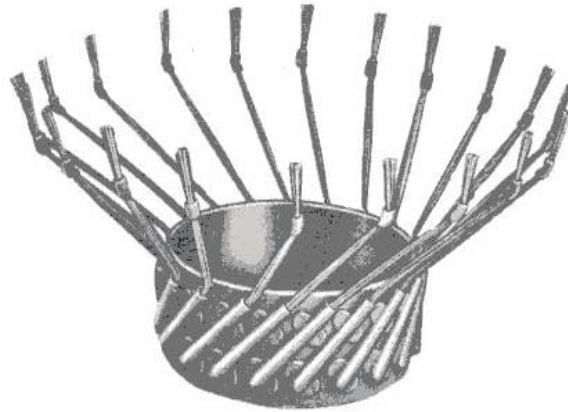
Con el objeto de que al ir bajando la tubería puedan limpiarse las paredes del pozo para desalojar el enjarre y permitir que la lechada entre en contacto directo con la formación es conveniente colocar unos anillos denominados raspadores o limpiadores de pared, formados por alambres cortos y flexibles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

Ademas deberan adaptarse a la tubería unos flejes de acero en espiral llamados centradores, para asegurar que esta quede instalada en el centro del agujero.

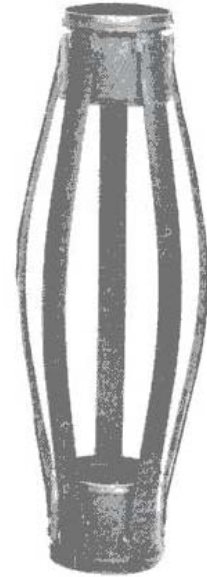
Para determinar la cantidad de cemento que se va a emplear en la cementacion de una tubería, se parte de la siguiente base, cada saco de cemento de 50 kg mezclado con 40 a 50% de su peso en agua es igual a 36.5 litros de lechada con una densidad que varia de 1.80 a 1.90 y de acuerdo con la siguiente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



ZAPATA GUIA



RASPADOR



CENTRADOR

Diámetro del agujero	Diámetro tubería ademe	Capacidad aprox espacio anular lt/m
22	18	81
24	20	89
20	16	73
18	14	65
16	12	57
14	10	49
12	8	41

Los valores de una ultima columna, se multiplican por el numero de metros de agujero que se desea cubrir con cemento agregado a este resultado el exceso por perdidas que se desea cubrir con cemento agregado a este resultado el exceso por perdidas que se tienen al estar efectuando la operación, asi como por canalización de la lechada en el fondo, por la penetración del cemento a las formaciones permeables o por derrumbes que se producen durante la perforación.

Ejemplo:

Diámetro del agujero

22"



Diámetro de la tubería 18"
Profundidad del pozo 120 m
El cemento debe salir a la superficie

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

Cantidad de cemento que debe emplearse para cubrir 120m.

$$81 \times 120 = 9.720 \text{ lt. Más } 20\%$$

$$9.720 + 1894 = 11.614 \text{ lts}$$

Si de un saco de cemento se obtiene 36.5 lts de lechada el numero de sacos sera:

$$\frac{11614 \text{ lts}}{36.5 \text{ lts/saco}} = 318 \text{ sacos}$$

El volumen de agua que debe usarse sera 7950 lt considerando que cada saco de cemento debe mezclarse con 25 lt de agua.

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

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

Soldado a una de las paredes del tubo de la cabeza de cementar ira un niple y atornillado a este una válvula de paso a la que tambien se atornillara otro niple que servira de union con la manguera de perforación.

Al efectuar las conexiones de referencia se colocara entre las tapas y el tubo, una junta de plomo que sirve de empaque para evitar fugas. Inmediatamente después, se circulara



agua limpia hasta que los recortes y sedimentos hayan sido expulsados quedando el pozo listo para su cementación.

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

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

Inmediatamente después de terminar la inyección del último saco de cemento, se levantará la tapa de la cabeza de cementar y se introducirá dentro de esta un tapon de madera de aproximadamente 25.4 mm (1") de diámetro menor que el del tubo y 76.2 mm (3") de espesor el que llevará perfectamente adaptado a su parte central inferior un bloque de madera de sección cuadrada con longitud un poco mayor que el diámetro del tubo a fin de evitar el volteo. El espacio comprendido entre las paredes interiores de la tubería de contra ademe y el tapon de madera, será ocupado por un empaque de algún material sellante que se fijara a las paredes del tapon.

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

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

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



El compresor descarga a una línea conectada al swivel y a través del kelly y de la tubería de perforación, al aire es forzada a pasar hasta la barrena. El aire es forzado a pasar hasta la barrena. El aire, como cualquier fluido, sirve para levantar hasta la superficie los cortes de los materiales atravesados y enfriar la barrena se recomienda su aplicación cuando se perforan rocas y formaciones compactas ya que una vez que se deja de ejercer la presión del aire, las formaciones sueltas y cavernosas pueden provocar derrumbes y atrapar la sarta.

Esto sucede cuando se emplean lodos de perforación.

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

EQUIPO DE PERFORACION NEUMATICO





La velocidad recomendable del aire en el espacio anular es de 4000 pies por minuto o mayor, esta es controlada por el consumo de aire de la herramienta y los diámetros de la barrena y tubería de perforación.

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

El peso que se aplica al martillo para diámetros comprendidos entre 152 mm (6") y 203 mm (8") varía aproximadamente de 1200 kg (2500 lbs.) a 2280 kg (5000 lbs.) pesos excesivos sobre la barrena reducen o cierran la carrera del martillo y por el contrario, la falta de peso sobre la misma impiden aprovechar a su máximo el impacto generado por el aire por tal motivo es conveniente el empleo de sistema hidráulicos para el control del peso apropiado sobre la barrena.



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



**BARRENAS DE BOTONES CON INSERTOS
DE CARBURO DE TUNGSTENO**

CAPITULO 6

ESPECIFICACIONES

DE

CONTROL

DE

CALIDAD



6.- ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES DE CONSTRUCCION PARA POZOS.

PERFORACION

- 6.1).- **Definición** .- Se entenderá por perforación de pozo de absorción, el conjunto de trabajos y operaciones que realizará el Subcontratista para horadar el terreno natural formando un agujero mediante máquina y herramientas, a una profundidad no mayor de 30 m, con fines de filtración por gravedad de aguas meteóricas.
- 6.2).- El subcontratista no iniciará la perforación de ningún pozo sin la correspondiente orden por escrito expedida por el Ingeniero Supervisor, mediante la cual le señalará el sitio de la perforación y las directrices para su realización, como diámetro, profundidad preliminar y prueba de infiltración a la profundidad de proyecto.
- 6.3).- Cuando el Ingeniero Supervisor ordene una perforación exploratoria, el Subcontratista la ejecutará exactamente al diámetro fija en la orden que aquel le expida y no se le pagará ninguna ampliación mediante rimado que no hubiere sido ordenado por el Ingeniero Supervisor.
- 6.4).- El Subcontratista no deberá iniciar ninguna perforación si no dispone en el sitio de la localización del pozo o pozos, de un equipo de capacidad y características adecuadas a las condiciones del trabajo, como son: martillo neumático con rotaria sin utilización de lodos y/o la pulsera de percusión, la cual estará integrada tanto por la máquina perforadora en sí, como por el equipo complementario, como es: sarta de perforación completa, soldador y todo lo necesario para que una vez iniciados los trabajos no se tenga interrupción de los mismos por falta de equipo y herramientas, ya que en caso que esto ocurriese por causas imputables al Subcontratista, no le serán estimados para fines de pago los tiempos de maquina parada ni ninguno de sus cargos.
- 6.5).- El Subcontratista preparará y mantendrá a su discreción los fluidos de perforación y/o aglutinantes de perforación con los proporcionamientos adecuados para que no se presenten derrumbes y garanticen la buena marcha de los trabajos, adicionándoles solamente los aditivos químicos para todos que apruebe u ordene el Ingeniero Supervisor.
- 6.6).- Los trabajos de perforación deberán ser conducidos por el Subcontratista bajo un estricto control, de acuerdo con las prácticas normales, con el



- objeto de garantizar la correcta calibración del agujeró cilíndrico perforado, manteniéndolo a un diámetro mínimo igual al estipulado en las órdenes del Ingeniero Supervisor, y que el agujero quede en verticalidad.
- 6.7).- El o los contra –ademes que instale el subcontratista en un pozo sin mediar orden o aprobación del Ingeniero Supervisor, deberán ser retirados por aquel a la terminación de los trabajos, ya que no se le reconocerán para fines de estimación y pago.
 - 6.8).- Durante la perforación de los pozos, el Subcontratista deberá entregar diariamente al Ingeniero Supervisor, muestras por duplicado de los materiales que se vayan extrayendo en el curso de perforación, las cuales deberán ser tomadas cada 2 metros de profundidad, y otras adicionales, cuando se presente un cambio de la formación o columna litológica. Estas muestras deberán ser tomadas sin lavar de la cubeta, tratándose de maquinas de percusión: las muestras serán empacadas en frascos de vidrio que suministrará el Subcontratista, clasificándolas cuidadosamente de acuerdo con su orden de extracción, profundidad correspondiente, y demás datos adicionales que faciliten su identificación. Las muestras deberán ser entregadas junto con los informes diarios de trabajo rendidos por el Subcontratista, en los que se deberán consignar todos los datos necesarios para reconstruir el corte litológico cruzado, lo cual servirá de base para el diseño definitivo del pozo.
 - 6.9).- El subcontratista tendrá la obligación de llevar y conservar en el sitio de los trabajos un diario de obra Y/ o bitácora, en el cual se anotarán todos los eventos de la perforación y construcción del pozo, desde el día de la llegada de la máquina al sitio de los trabajos, hasta la terminación de los mismos, la cual será mostrada al Ingeniero Supervisor en toda ocasión en que éste así lo requiera. Esta bitácora o diario de obra deberá ser llevada al día, anotando en ella todos los eventos conforme vayan ocurriendo, ya que quedará a discreción del Ingeniero Supervisor no reconocer para fines de estimación y pago los eventos accidentales que fueron registrados oportunamente en dicho libro, como podrían ser, por ejemplo, tiempos de máquina parada por razones no imputables al Subcontratista.
 - 6.10).- Por registro inoportuno de un evento en el libro de bitácora o diario de obra, se entenderá todo aquel que no aparezca anotado en el mismo al solicitarla el Ingeniero Supervisor y que hubiese ocurrido con dos o más horas de anticipación a la inspección del Ingeniero Supervisor.
 - 6.11).- Adicionalmente, el subcontratista está obligado a preparar y entregar al ingeniero Supervisor un informe escrito diario en las formas de control de



avance que se hubieren convencido para ello, en las que se anotarán todos los datos relativos a los trabajos realizados cada día o turno, en su caso, y en el orden cronológico de su acontecimiento. Cuando se designe a inspectores o aun supervisor de campo adscritos permanentemente a un pozo para la vigilancia y control de los trabajos del mismo, los informes diarios que presentara el Subcontratista, deberán ser firmados mancomunadamente por el representante de éste y por el supervisor de turno.

- 6.12).-Cuando por dolo o descuido por parte del Subcontratista, o de su personal, las muestras litológicas o los informes diarios de trabajo entregados, hayan sido alterados o falseados, el Ingeniero Supervisor podrá rechazar la totalidad de los trabajos que haya efectuado el Subcontratista. En este caso la Empresa tendrá todo el derecho de rescindir el contrato, por violación a las especificaciones, de acuerdo con lo estipulado en el mismo.
- 6.13).-Cuando durante el curso de los trabajos de perforación y en general de la construcción del pozo, el Ingeniero Supervisor tenga conocimiento de que se hayan realizado trabajos siguiendo practicas perniciosas que podrían poner en peligro la vida o funcionamiento del mismo y se hubiere reportado por alguno de los inspectores, el Ingeniero Supervisor se lo comunicará inmediatamente al Sub contratista para que éste aplique las medidas correctivas adecuadas, lo que hará por su cuenta y cargo, sin derecho a ningún pago adicional. Si la falta de cumplimiento de las especificaciones fueren de gravedad, a juicio del Ingeniero Supervisor, éste ordenará la suspensión total y definitiva de los trabajos en el pozo afectado y el subcontratista no tendrá derecho a ningún pago por lo realizado.
- 6.14).-Ampliación de agujero; En cualquier pozo contratado inicialmente con propósitos exploratorios a un diámetro determinado por el Ingeniero Supervisor, el Subcontratista procederá a la ampliación de su diámetro mediante rimado, solo previa orden de aquel. La ampliación será hecha, a discreción del contratista, en una sola o varias etapas.
- 6.15).-En cualquier tiempo durante la ejecución de los trabajos de perforación, éstos serán temporalmente interrumpidos cuando así lo ordene el Ingeniero Supervisor, para realizar las inspecciones y pruebas que considere necesarias. Los lapsos de interrupción serán considerados como equipo de perforación parado por órdenes de la Empresa.
- 6.16).-Clasificación: La clasificación de los materiales perforados se hará conforme a la tabla siguiente, atendiendo a la dureza de las formaciones y a la dificultades que normalmente se presenta para atravesarlas y



extraerlas, pero quedará a juicio del Ingeniero Supervisor tomar en cuenta dificultades especiales que se hubieren registrado, para hacer la clasificación para fines de estimación y pago.

6.17).-CLASES DE MATERIALES:

Material clase I	Arcillas
	Arenas
	Clásticos finos
	Tobas
	Escorias volcánicas
	Piro clásticos finos
Material clase II	Areniscas
	Conglomerados
	Lutitas y pizarras
	Calizas y dolomitas
	Rocas ígneas y metamórficas alteradas
Material clase III	Basaltos
	Aluviones gruesos sueltos
	Aglomerados volcánico
	Rocas ígneas intrusivas y Volcánicas no alteradas
	Gneiss y esquistos sanos

6.2).- MEDICIÓN Y PAGO Los trabajos de perforación de pozos serán medidas para fines de estimación y pago en a la forma siguiente:

6.2.1- El movimiento del equipo de perforación desde su lugar de origen hasta el sitio de los trabajos, incluyendo su regreso, será medido como lote, cuando la distancia de transporte fuere igual o menor que 15 (quince) Kilómetros.



6.2.2- En todos los casos las distancias de transportación del equipo de perforación serán medidas por la ruta más corta transitable a juicio del Ingeniero Supervisor, considerándose como lugar de origen el almacén o patio de maquinas del subcontratista en el Valle de México, salvo que en el contrato se estipule otro sitio.

6.2.3- Los conceptos de trabajo que ampara el movimiento del equipo de perforación, incluyen el transporte desde su lugar de origen, aceptado por el Ingeniero Supervisor, hasta el sitio de los trabajos y su regreso, tanto de la maquina perforadora en sí completa, como de la herramienta y equipo auxiliar y complementario, y todo lo necesario para realizar la perforación, hasta la terminación del pozo correspondiente.

6.2.4- Los trabajos de perforación efectiva del terreno serán medidos para fines de estimación y pago en metros lineales, con aproximación de una décima, y para el efecto se medirán los metros efectivamente perforados, tomando en cuenta las profundidades y clase de material cruzado.

6.2.5- El Equipo de perforación trabajando en operaciones especiales ordenadas por la empresa o por el Ingeniero Supervisor, será medido para fines de estimación y pago en horas efectivas de máquina trabajando. Solo serán estimados los tiempos efectivos de trabajo. Solo serán estimados los tiempos efectivos de trabajo ordenados o autorizados por escrito por el Ingeniero Supervisor.

6.2.6- Los tiempos que el equipo de perforación esté parado en espera de órdenes o para realizar pruebas o trabajos especiales ordenados por el Ingeniero Supervisor, serán medidos para fines de estimación y pago empleando como unidad la hora maquina parada, con aproximación al minuto.

6.2.7- No será para fines de estimación y pago ningún trabajo o movimiento realizado por el subcontratista sin la orden o autorización por escrito del Ingeniero Supervisor.

6.2.8- Por el precio unitario correspondiente por metro de perforación, el Subcontratista deberá suministrar en el sitio de los trabajos todo el equipo necesario, herramientas, combustible, agua y personal de operación necesarios que le serán pagados al amparo de los correspondientes conceptos de trabajo señalados en las siguientes especificaciones.

6.2.9- Por el respectivo precio unitario por metro de perforación o de ampliación, el subcontratista realizará adicionalmente, todos los trabajos encaminados a la correcta calibración del diámetro de la perforación, suministrando todas las herramientas que en ello emplee, como brocas, tubería o cables de perforación, porta-barrenas, lastra-barrenas, centradores, estabilizadores, martillos neumáticos, etc.



6.3).- CONCEPTOS DE TRABAJO Los trabajos que ejecute el Subcontratista en la perforación de pozos, así como trabajos asociados y especiales que se le ordenen y el equipo parado en espera de órdenes, le serán liquidados a los precios unitarios estipulados en el contrato al amparo de alguno o algunos de los siguientes conceptos de trabajo.

6.3.1.-Movimiento del equipo de perforación hasta una distancia menor o igual que 15 Kilómetros:

- a) Perforadora del tipo (Lote).
- b) Perforadora tipo de percusión (Lote).

6.3.2.-Transporte del equipo de perforación en Kilómetros subsecuentes:

- a) Perforadora del tipo rotaria(Km)
- b) Perforadora del tipo de percusión(Km)

6.3.3.- Equipo de perforación trabajando en operaciones especiales ordenadas por el Ingeniero Supervisor.

- a) Perforadora del tipo rotario (hora)
- b) Perforadora del tipo de percusión (hora)

6.3.4.- Equipo de perforación parado en espera de órdenes o por instrucciones del Ingeniero Supervisor

- a) Perforadora del tipo rotatoria (hora)
- b) Perforadora del tipo de percusión (hora)

6.3.5.- Suministro y aplicación en la perforación con aire de aditivos químicos.

6.3.6.- Perforación de pozo en material clase I, de 30.5 cm (12" nominal), de diámetro.

- a. De 0 a 100 m de profundidad

6.3.7.- Perforación de pozo en material clase II, de 30.5 cm (12" nominal), de diámetro.

- a. De 0 a 100 m de profundidad

6.3.8.- Perforación de pozo en material clase III, de 30.5 cm (12" nominal), de diámetro



- De 0 a 100 m de profundidad

6.3.9.- El Subcontratista tendrá derecho y obligación de exponer en forma escrita su criterio acerca proyecto definitivo del pozo, pero su realización quedará exclusivamente sometida a la aprobación del Ingeniero Supervisor. El contratista debe abstenerse de procederse por su cuenta y sin mediar orden de aprobación del Ingeniero Supervisor. A entubar el pozo, pues en lo contrario, asumirá la entera responsabilidad de los trabajos y en caso de un fracaso, serán rechazados en su totalidad sin responsabilidad ninguna para la empresa y perdiendo el subcontratista todo derecho a estimación y pago del pozo así ejecutado.

Medición y pago.- para fines de estimación y pago se considerará como unidad una prueba de infiltración o grupo de pruebas realizadas consecutivamente para obtener gráficas correctas aplicando la profundidad total del pozo en la fecha y hora a realizarse las mismas. Adicionalmente, se medirá el tiempo empleado en correr la prueba de absorción, para fines de pago el precio unitario correspondiente por concepto de máquina perforadora ociosa en espera.

a).- Quedara entendido que, para correr una prueba de infiltración inherente al proyecto de entubación del pozo, la perforación a probar deberá estar por lo menos a diez metros de profundidad y la Empresa tendrá el derecho, sin cargo alguno, a un tiempo de ocho horas contadas a partir de que el representante del Subcontratista avise oficialmente al Ingeniero Supervisor que la perforación está lista para correr pruebas de infiltración.

b).- Si dentro del lapso de ocho horas estipuladas, al representarse el personal comisionado para correr la prueba de infiltración, no pudiere ejecutar su trabajo porque la perforación no estuviere lista para ello transcurrido hasta ese momento no contará y el representante del Subcontratista deberá dar nuevamente aviso cuando la perforación esté en condiciones adecuadas.

6.4).- SUMINISTRO DE TUBERIAS DE ADEME Y CEDAZOS.

Definición y ejecución.- Se entenderá por suministro de tuberías de ademe y cedazos, las que se entreguen en el sitio del pozo por medio del Ingeniero Supervisor y/o la Empresa para utilizarlas específicamente en el entubado del pozo, de acuerdo con lo estipulado en el subcontrato.

6.4.1.- Todas las tuberías que se suministre la Empresa deberán ser nuevas, de la calidad y características ordenadas por el Ingeniero Supervisor y encontrarse en buen estado; preferiblemente de la marca ordenada por éste.



6.4.2.- Se entiende por tubería ciega para ademe, los tramos de tubería sin perforaciones en sus paredes, que serán suministradas en tramos de (seis) metros, aproximadamente, o en las longitudes estándar producidas por las fabricas, las cuales solo tendrán una costura soldada longitudinalmente, y una transversal cada 3 y/o 6 metros de longitud.

6.4.3.- Se entiende por tubería de cedazo, ranurada o perforada, los tramos de tubería con perforaciones hechas con herramientas mecánica, efectuada en fabrica y que será suministrada en tramos de (seis) metros de longitud aproximada, o los tamaños estándar de fabrica, las que solamente tendrán una costura longitudinal y/o sin costura.

6.4.4.- El Ingeniero Supervisor, basándose en los elementos de juicio suministrados por el corte litológico entregado por el Subcontratista y por las observaciones personales y las reportadas y por las observaciones personales y las reportadas en los informes de avance de trabajo, procederá al diseño del proyecto de entubación el cuál deberá expedir en forma escrita, estipulando el diámetro, longitudes y espesores de las tuberías de ademe y cedazo; señalando así mismo, los niveles y profundidades a que se deberán instalar las tuberías, según sus diferentes diámetros, espesores y demás características.

6.4.5.- Al terminarse los trabajos de perforación de un pozo con fines de infiltración de aguas, la tubería para ademado del mismo, deberá ya encontrarse en el sitio del trabajo, disponible para su inmediata colocación.

6.4.6.- En la orden de entubación expedida por el Ingeniero Supervisor, se deberán consignar las dimensiones de las aberturas o perforaciones de la tubería de cedazo, así como el área de infiltración por metro de cedazo o tubería ranurada.

El control del arrastre de los finos de las formaciones perforadas podrá efectuarse por medio de las aberturas del cedazo o tubería ranurada, o por medio de un filtro adecuado de grava. Según sea las granulometría de las formaciones perforadas, el Ingeniero Supervisor ordenará por cual de los dos procedimientos se efectuará el control, y en caso de que sea con las aberturas del cedazo o tubo ranurado, especificará sus dimensiones, basándose en el análisis granulométrico de las muestras de las formaciones.

6.4.7.- En toda entubación para infiltración de aguas de lluvias se deberá emplear tubería de cedazo o ranurada de fabrica, salvo que por dificultades en los suministro y agotados los recursos, el Ingeniero Supervisor autorice específicamente el empleo de tubería ranurada con soplete, en cuyo caso deberá estipular las dimensiones, cantidad y distribución de las ranuras, y deberá comprobar personalmente que la ranuración se efectuó correctamente y de acuerdo con el proyecto ordenado, para garantizar así un



área de infiltración suficientemente grande que permita el flujo del caudal del proyecto, sin elevadas pérdidas hidráulicas.

6.4.8.- En toda la entubación deberá suministrar la tubería de cedazo o ranurada, con la máxima área de infiltración posible, dentro de las posibilidades de adquisición en el mercado como es el caso del tubo ranurado del tipo IV y espesor de $\frac{1}{4}$ ” .

6.4.9.- Medición y pago: la instalación de tuberías ciegas, ranuradas o de cedazo que haga el Subcontratista para ademe de pozos, de acuerdo con lo estipulado en el contrato o lo ordenado por el Ingeniero Supervisor, le será medido para fines de estimulación y pago en metros lineales, con aproximación al centímetro. Para el efecto se medirán en el sitio del pozo las longitudes de tubería efectivamente colocadas, en cada uno de sus diámetros, espesores y tipos.

6.4.10.- Conceptos de trabajo : Las tuberías ciegas, ranuradas y cedazos que coloque el Subcontratista, le serán liquidadas al amparo de los precios unitarios señalados en el contrato para alguno o algunos de los siguientes conceptos de trabajo; que amparan tanto su suministro como su transporte hasta el sitio del pozo en su caso:

Suministro y transporte de tubería de acero para ademe de:

a).- 45.72 cm (18”) de diámetro, por 0.64 cm (1/4”) de espesor.

Suministro y transporte de tubería ranurada para ademe de:

b).- 45.72 cm (18”) de diámetro, por 0.64 cm (1/4”) de espesor.

6.5).- COLOCACION DE TUBERIAS DE ADEME.

6.5.1.- Definición y ejecución: Se entenderá por colocación de tuberías de ademe, el conjunto de operaciones y trabajos que tendrá que efectuar el Subcontratista para instalar dentro del agujero de una perforación, las tuberías ciegas, ranuradas o cedazo, de cualquier tipo, que servirán como ademe del pozo, aportando para ello el equipo, materiales complementarios y personal necesario.

6.5.2.- La unión de los diversos tramos de tuberías de ademe se efectuará por soldado Eléctrico a tope, preparando los extremos de los tramos de tubería con un corte en bisel adecuado, para realizar la soldadura con doble cordón del electrodo al arco eléctrico sin que en la unión soldada queden rebordes interiores o exteriores.



6.5.3.- Opcionalmente, el Subcontratista podrá efectuar la unión de los tramos de tubería, uniéndolas a tope y ligadas por medio de un cople exterior que quedará soldado a cada uno de los tramos, pero no tendrá ningún derecho a pago adicional por los trabajos extraordinarios que implica este segundo tipo de soldadura, a menos que las partes contratantes estipulen este procedimiento.

6.5.4.- En cualquier plano transversal y normal al eje de las tuberías de ademe, que pase por una unión soldada, la resistencia mecánica deberá de ser como mínimo igual a cualquier otra sección transversal y normal al eje de las tuberías en la cual no exista soldadura transversal.

6.5.5.- En pozos perforados con maquinaria y diámetros previstos para dejar un espacio anular entre la tubería de ademe y las paredes del cilindro perforado, con objeto de colocar un filtro artificial de grava, las tuberías deberán introducirse libremente, y por ningún concepto habrán de ser hincadas, con la finalidad de garantizar la permanencia del espacio anular, y su continuidad, para alojar el filtro de grava que se hubiere proyectado.

6.5.6.- En cualquier caso en que la tubería no entre libremente en el cilindro perforado, el contratista deberá extraer inmediatamente la longitud de la misma ya introducida, y proceder a rimar el agujero cuantas veces sea necesario, con objeto de dejar la perforación correctamente calibrada. Si por incumplimiento de estas especificaciones el pozo fracasara o presentara problemas que lo hicieran inaceptables para la Empresa le serán rechazados todos los trabajos al subcontratista, el cual no tendrá derecho a ninguna estimación ni liquidación por los mismos. Invariablemente la tubería deberá quedar vertical, sin recargarse en las paredes de la hoquedad.

6.5.7.- Cuando los Subcontratistas, siguiendo su propio criterio, instalen dispositivos centradores de la tubería con objeto de fijarla en la verticalidad, tales artefactos deberán ser de una naturaleza que no impidan la colocación del filtro de grava, ni obstruyan la continuidad del espacio anular para el mismo.

El Subcontratista deberá emplear los electrodos de características adecuadas al tipo de acero de la tubería, de acuerdo con las normas del American Petroleum Institute, sometiéndolos a la aprobación del Ingeniero Supervisor. Todas las juntas de unión a tope entre dos tuberías o entre estas piezas especiales, deberán quedar con doble cordón de soldadura al arco eléctrico.

6.5.8.- Medidas y pago: Los trabajos que realice el subcontratista en la instalación de tuberías de acero como ademes en pozos, le serán medidos para fines de estimación y



pago empleando como unidad el metro, con aproximación y pago empleando como unidad el metro, con aproximación a un centímetro.

6.5.9.- Los conceptos de trabajo que amparan colocación de tuberías como ademe en pozos, incluirán el trabajo del equipo, la mano de obra y el suministro de todos los materiales para cortes y soldadura, centradores, etc.

6.5.10.- Los reductores y campanas de acero para unir tuberías de diferentes diámetros \emptyset así como los sellos en traslapes o fondo de tuberías de ademe , se medirán como lote.

6.5.11.- Conceptos de trabajo: Los trabajos de colocación de tuberías de ademe en los pozos, le serán liquidados al subcontratista al amparo de alguno o algunos de los siguientes conceptos de trabajo.

6.5.12.- Colocación de tubería de acero como ademe en pozo, soldando las juntas con doble cordón al arco eléctrico y a cualquier profundidad.

a).- De 45.72 cm (18") de diámetro \emptyset , por 0.64 cm (1/4") de espesor.

6.6).- SUMINISTRO DE GRAVA PARA FILTROS.

6.6.1.- Definición y ejecución.- Se entenderá por suministro de grava para filtros, el conjunto de operaciones que deberá efectuar el Subcontratista para disponer en el lugar de las obras, de la grava necesarias para formar los filtros de protección del pozo y el empaque del espacio anular entre la tubería de ademe y las paredes de la perforación. Dichas operaciones incluyen la extracción del material en greña del banco de préstamo, su cribado y lavado con el suministro de agua necesaria, así como las operaciones que se requieren para cargar y descargar el material a bordo del equipo de transportación y su acarreo hasta el sitio de los trabajos de perforación,

6.6.2.- Con las muestras de las formaciones perforadas entregadas por el Subcontratista, se realizaran las pruebas granulométricas pertinentes, se determinara el coeficiente de uniformidad, el tamaño efectivo de grano, etc. Con cuyos resultados el Ingeniero Supervisor Proyectará la tubería de ademe y la granulometría del filtro de grava, cuando este último sea necesario.

6.6.3.- Cuando sea indicado el uso de camisa o filtro de grava, el Ingeniero Supervisor ordenará que el espacio anular comprendido entre la tubería de ademe y las paredes de la formación, el cual en ningún caso deberá ser menor que 76.2 mm (3") de espesor, se llene de grava constituida por fragmentos redondeados, cuya granulometría fijará en



cada caso particular el Ingeniero Supervisor, y cuyos diámetros “ Ø” deberán estar comprendidos entre ¼ a ½” de diámetro “Ø” , salvo las limitaciones impuestas por la orden del Ingeniero Supervisor. La grava deberá estar dosificada de tal forma que el pozo quede dotado de un filtro artificial que deberá tener un coeficiente de uniformidad con valor de 1.5 (uno punto cinco) a 2.0 (dos).

6.6.4.- Quedará estrictamente prohibido el empleo de grava triturada o de la obtenida de bancos de préstamo en que se encuentre en estado anguloso o laminar, así como de una naturaleza caliza. El Ingeniero Supervisor o su representante, indicarán al Contratista el sitio del cual deberá tomarse la grava para el filtro, o bien, aprobarán previamente el que proponga el Subcontratista.

6.6.5.- El contratista deberá tener la grava en el sitio de la perforación del pozo, antes de la entubación del mismo, con objeto de que se pueda colocar inmediatamente después de terminada la maniobra de entubación y durante la limpieza del pozo.

6.6.6.- En todos los casos, el Ingeniero Supervisor ordenará por escrito la granulometría y volumen de la grava que deberá suministrar el Subcontratista y antes de que sea colocada en el pozo la inspeccionará para dar su conformidad.

6.6.7.- Normalmente al terminarse de engravar el pozo quedará un excedente de grava para filtro, que le será estimada y liquidada al subcontratista, siempre y cuando su volumen sea razonable y congruente con el ordenado por el Ingeniero Supervisor.

6.6.8.- Medición y pago: La grava para filtro de pozo que suministre el Subcontratista, será medida para fines de estimación y pago empleando como unidad el metro cúbico, con aproximación de una décima.

6.6.9.- Concepto de trabajo: El suministro y transporte de la grava para filtros de pozos le serán liquidado al Subcontratista al amparo de los conceptos de trabajo siguientes.

6.6.10.- Suministro de grava redondeada, cribada y lavada, de granulometría adecuada para filtro de pozo, según la instrucción dada por el Ingeniero Supervisor.

6.7).- COLOCACION DE GRAVA PARA FILTROS DE POZOS.

6.7.1.- Definición y ejecución: Por colocación de grava para filtros de pozo, se entenderá el conjunto de operaciones que tendrá que realizar el Subcontratista, para colocar la cantidad necesaria y suficiente de grava en el espacio anular comprendido entre el ademe del pozo y las paredes del agujero perforado, las que consistirán en: traspaleo de



la grava y su colocación, vertiéndola a fondo perdido por el espacio anular; operación que se ejecutará empleando palas manuales y en forma lenta; sondeos frecuentes con objeto de verificar que la grava desciende correctamente y que va formando un filtro con continuidad a todo lo largo del espacio anular del pozo. Cuando el agujero se haya perforado con maquina de percusión, durante la colocación del filtro de grava se agitará el interior del pozo empleando una cubeta o pistón, con la finalidad de romper puentes y lograr una correcta colocación del filtro, con continuidad.

6.7.2.- La colocación de la grava deberá ser efectuada a un ritmo tal que se tenga la seguridad de que va descendiendo por el espacio anular, sin formar puentes u obstrucciones que alteren la continuidad del filtro. Durante las operación de engravado se deberán efectuarse repetidos sondeos con objeto de comprobar el avance satisfactorio de los trabajos.

6.7.3.- Queda estrictamente prohibida la colocación de grava empleando traíllas o cualquier otra herramienta mecánica o manual que arroje fuertes cantidades de grava por el espacio anular.

6.7.4.- Durante todo el tiempo que dura la operación de colocar el filtro de grava y, si la perforación ha sido efectuada con una maquina de percusión: simultáneamente con la colocación de la grava se deberá agitar el interior del pozo por medio de una cuchara o pistón, fin de facilitar el acomodamiento y la continuidad del filtro.

6.7.5.- La colocación de la grava deberá continuarse hasta colmar completamente el espacio anular del pozo, colocando una cantidad adicional aglomerada sobre la superficie del terreno en el entorno de la tubería ademe.

6.7.6.- Medición y pago: La colocación de grava para formar filtros de los pozos, será medida para fines de estimación y pago en metros cúbicos con aproximación de una décima; para el caso se medirá el volumen efectivamente colocado en cada pozo.

6.7.7.- Los conceptos de trabajo que ampara la colocación de la grava incluyen tanto la colocación de la misma, como todas las operaciones del equipo de perforación y la mano de obra necesarias.

6.7.8.- Los conceptos de trabajo: La colocación de la grava para filtro y el suministro y colocación de los tubos engravadores le serán liquidados al Subcontratista al amparo de alguno o algunos de los conceptos de trabajo siguientes.



6.7.9.- Colocación de grava redondeada, cribada y lavada, de granulometría adecuada, para formar el filtro del pozo.

6.8).- LAVADO PRELIMINAR DEL POZO.

6.8.1.- Definición y ejecución: Se denomina lavado preliminar del pozo al conjunto de operaciones que tendrá que hacer el Subcontratista, para desalojar el interior del pozo y de los filtros de protección del mismo, la máxima cantidad de recortes y esquirlas de la perforación con percusión con percusión.

6.8.2.- Durante el lavado preliminar el contratista deberá colocar la grava adicional que vaya requiriendo el pozo, mantenimiento siempre colmando el espacio anular.

6.8.3.- El Ingeniero Supervisor ordenará en que caos especiales se deberá hacer lavado preliminar del pozo, particularmente cuando no vaya a estar disponible de inmediato el equipo neumático para la limpieza del mismo.

6.8.4.- Durante el lavado preliminar de pozo, la pipa de la perforadora deberá estar en todo momento abastecida de agua para vaciarla en forma continua en común acuerdo con el Ingeniero Supervisor.

6.9).- LIMPIEZA Y AGITACION MECANICA DEL POZO.

6.9.1.- Definición y ejecución: Por limpieza y agitación mecánica del pozo, se entenderán todas las maniobras ejecutadas por el Subcontratista, encaminadas a producir una agitación dinámica en el interior del pozo y del filtro y formaciones circunvecinas, así como limpieza del pozo extrayendo del mismo, todos los sedimentos y sólidos depositados durante las operaciones de perforación de lavado preliminar y de agitación mecánica; operación de lavado preliminar y de agitación mecánica; operaciones que pondrán consistir en

6.9.2.- Agitación mecánica producida por medio de un pistón que se ajustará al diámetro "Ø" interior del ademe del pozo y con movimientos recíprocos en sus carreras ascendente y descendente, provocará una acción pulsatoria y recíproca, que originará un desarrollo incipiente en el filtro del pozo. Los sedimentos acumulados en el fondo del pozo o en suspensión en la columna de agua del ademe del mismo, serán desalojados por medio de una cuchara adecuada para tal operación, la cual podrá ser de succión, válvula de pie, o de cualquier otro tipo apropiado.



6.9.3.- La operación de limpieza y agitación mecánica del pozo, cuando sea realizado por medio de pistón, comprenderá tanto los trabajos de pistoneo propiamente dichos, como la operación de extraer del pozo los sedimentos acumulados en el mismo. Los trabajos se continuarán por el tiempo necesario hasta que el pozo esté totalmente limpio hasta el fondo, a satisfacción del Ingeniero Supervisor, y que al reanudar la agitación con pistón, no se acumulen ya sedimentos.

6.9.4.-Una vez terminado el pozo se deberá colocar una tapa ciega en al boca del ademe, misma que será soldada con un cordón alternado de soldadura eléctrica.



CONCLUSIONES

De acuerdo al Reglamento de construcciones se especifica que deberá permitirse la infiltración al subsuelo del agua de lluvia correspondiente al 25% del área total del predio, para cumplir con esta norma se deberá contemplar el agua de lluvia en un tanque de tormentas y posteriormente infiltrarla al subsuelo mediante pozos de absorción.

El agua que deberá infiltrarse será la que aporte el área de azotea-terraza y de estacionamiento descubierto libre de contaminantes, que de acuerdo a la información de proyecto, para un área de captación se tendrá un gasto máximo pluvial, que se almacenará parcialmente en un tanque de tormentas de un cierto volumen determinado que regulará la salida del agua al un gasto de 24.8 l.p.mín para tormentas de más de 45 minutos de duración, pudiéndose regular el gasto de salida a un valor menor para tormentas de menos de 45 minutos de duración.

De la información obtenida se concluye que la permeabilidad en general de los materiales existentes entre 30m y 40 m de profundidad para alojar la cámara filtrante tiene una permeabilidad del orden de 10^{-7} cm/seg, por lo que no resulta factible alojar en estos materiales la cámara filtrante de un pozo de absorción, al ser prácticamente impermeables.

A una profundidad entre 23 y 30 m la cámara de infiltración la permeabilidad incrementa ligeramente su permeabilidad a 1.54×10^{-6} m/seg, pero sigue siendo insuficiente, aunque existe la alternativa de considerar una batería de pozos de infiltración hasta de un metro de diámetro.

A profundidades mayores a 50 m se tiene el conocimiento de la existencia de capas de arenas limosas con espesores de 5 a 15 m intercalados con capas de limos areno arcillosos con permeabilidades del orden de 10^{-3} cm/seg en las primeras, y del orden de 10^{-5} cm/seg en las segundas con la alternativa de considerar una batería de pozos de infiltración hasta de un metro de diámetro.

Se propone que la cámara de infiltración se desarrolle a partir de 50 m de profundidad con las longitudes que se indican a continuación para un metro de diámetro:



Carga Hidráulica (m)	Longitud de la cámara filtrante(m)	Ubicación de la cámara filtrante (m)	Gasto (lts/seg)
50	5	-50 a -55	0.50
50	10	-50 a -60	0.95
50	20	-50 a -70	1.45

PROFUNDIDAD DE LA CAMARA FILTRANTE (m) **DIAMETRO DEL POZO DE ABSORCION (m)** **GASTO DE ABSORCIÓN DEL POZO (lts/seg.)**

de 50 a 60	0.40	0.700
de 50 a 60	0.50	0.742
de 50 a 60	0.60	0.783
de 50 a 60	0.70	0.824
de 50 a 60	0.80	0.862
de 50 a 60	0.90	0.899
de 50 a 60	1.00	0.950

Para lo anterior y dado que la permeabilidad puede variar, es necesario que una vez construido el pozo de absorción con las características definidas, se conocerá el gasto real de absorción que éste admita y con ese resultado se ajustará la longitud de la cámara de infiltración.

Como proceso constructivo se dan las siguientes especificaciones generales.



Se perforará hasta 49.5 m de profundidad, con un diámetro mayor al diámetro que tendrá el pozo a la profundidad de la cámara filtrante, utilizando fluido de perforación, así como para mantener estables las paredes de la perforación.

Se introducirá un ademe metálico cuyo diámetro exterior sea 5 cm menor al diámetro de la perforación y se hincará hasta 50 m de profundidad, procediendo enseguida a extraerse todo el lodo bentonítico que quedo dentro del ademe.

Se sellará el espacio anular que quede entre el ademe y las paredes de la perforación inyectando mediante un tubo que llegue al fondo de la perforación, con una lechada agua-cemento, para no tener infiltraciones del pozo hacia los materiales de la formación arcillosa superior.

Una vez fraguado el cemento, indicado en el inciso anterior, se procederá con la perforación de la cámara filtrante, utilizando como fluido de perforación y transporte de azolve únicamente agua. Esta longitud de perforación se debe hacer con la mayor rapidez posible.

Durante la perforación de la cámara filtrante se deberá extraer muestras de la cámara, las que deberán ser entregadas a la supervisión para su análisis.

Inmediatamente al término de la perforación del pozo se procederá a su lavado, inyectando agua con una bomba en forma continua e ininterrumpida, hasta que por el brocal del pozo esté brotando agua limpia, libre de sólidos y coloides en suspensión.

Se deberán extraer todos los sedimentos sólidos depositados en el fondo de la perforación.

Una vez efectuada la limpieza del pozo se introducirá un ademe metálico ranurado a cedazo, en la parte inferior y ciego en la parte superior, de diámetro 40 cm menor al diámetro del pozo. El ranurado quedará a la profundidad en que se encuentre la cámara filtrante.

Se rellenará el espacio que quede comprendido entre el cedazo y la pared de la perforación con un material de filtro que cumpla con la granulometría indicada en este trabajo. Se deberá tener cuidado de no introducir material de filtro dentro del ademe ranurado.



Con el objeto de no disminuir la permeabilidad del manto permeable por la infiltración de partículas finas a la cámara filtrante, se deberá dejar reposar el agua por inyectar al subsuelo, que podrá ayudar utilizando un floculante.

Recomendaciones Generales

1. La delegación recomienda seguir la normatividad de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en el sentido de promover la infiltración para la recarga de los mantos acuíferos, ya que los pozos de agua actuales en la zona, han reducido su producción.
2. Por la anterior, el sistema operador de agua indica que el agua pluvial, generada dentro del predio, sea infiltrada en pozos profundos de acuerdo con las recomendaciones indicadas en el estudio de permeabilidad que se realizó en el sitio.
3. Para este caso la profundidad mínima de los pozos de infiltración deberá ser de 30m pero sin embargo es necesario profundizarlos a una profundidad mayor a 50 m como se establece en las conclusiones, con ademe de tubo de PVC ranurado, para prevenir en su caso, algún caído durante el proceso de la construcción.
4. El gasto de infiltración por pozo, de acuerdo al estudio de permeabilidad es de 24.8 l.p.m. a 30 metros de profundidad y con un diámetro mínimo de perforación de 0.70 m
5. Ver capítulo de diseño de pozos y estudio de permeabilidad.
6. Para la ubicación y cantidad total de pozos de infiltración debe consultarse el proyecto del diseñador de exteriores.
7. El diseño del pozo está integrado básicamente por la zona de pre tratamiento para la retención de sólidos, colador con tubo ranurado y la perforación ademada, que es en sí, el pozo de infiltración.
8. La inspección y limpieza de los pozos deberá ser constante, pero en temporada de lluvias deberá ser diaria.
9. No deberá realizarse ningún trabajo hasta que se tenga un documento ó permiso por escrito de la dependencia oficial correspondiente.
10. Este pozo es exclusivo para la infiltración de agua pluvial.

RECOMENDACIONES GENERALES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO



A continuación se presentan las recomendaciones generales para la instalación de los pozos de absorción.

Consideración para la construcción del pozo de absorción y del tanque de tormentas.

La empresa Wal Mart con motivos de expansión en el ramo en que se desempeña, se ha visto en la necesidad de dar solución al desalogo del agua pluvial que pudiera caer dentro de la superficie de la Tienda y estacionamiento.

Para esto se le presenta de forma muy general la secuela de cálculo y las consideraciones técnicas para llevar a cabo el diseño de un pozo de absorción con caja de tormenta.

Cabe mencionar que este diseño no es definitivo, sino hasta considerar la capacidad real de infiltración del terreno, y si existe la posibilidad de regular con las tuberías que conformaran el sistema de drenaje pluvial.

El diseño del tanque de tormenta y la perforación del pozo, trae consigo la realización de diversos estudios y proyectos, tales como:

Proyecto arquitectonico y estructural del tanque de tormenta.

El proyecto arquitectónico de la caja de tormenta, deberá especificar las dimensiones, detalles constructivos, rejillas, y mamparas a construir.

El proyecto estructural deberá establecer las dimensiones de las columnas, espesores de muro, peraltes de losas, así como el armado de cada uno de estos elementos.

Proyecto hidráulico para el diseño del tanque.

Dicho diseño está basado en considerar una intensidad probable de lluvia en un período de retorno que es la probabilidad de que suceda un evento de gran magnitud, para este diseño también influye el coeficiente de escurrentía, la duración de tormenta y el área de aportación.

Características de la perforación.



El estudio realizado permite conocer la composición estratigrafía del suelo, lo cual nos indica el procedimiento de perforación más adecuado, para ello se realizaron pruebas de infiltración para definir el gasto que se puede infiltrar.

Perforación de pozo de absorción.

Se realizara por medio de una máquina de percusión tipo pulseta, el cual requiere tener agua para que el material que se retire sea de forma de lodosa, este será a 30m de profundidad, con una perforación exploratoria de 12" diámetro, y luego se realizara otra perforación de ampliación de 12" a 18" hasta llegar a 30m, y ahí mismo se realiza otra ampliación de 18" a 22" de diámetro y una última de 22" a 30" el cual es el contra ademe.

Para protección del acuífero se coloca primero 18m tubería de acero al carbón liso con costura longitud de 12"diámetro por $\frac{1}{4}$ " espesor fabricado bajo la norma ASTM-A53 grado B, y para infiltrar el agua pluvial se utiliza 23m tubería de acero al carbón ranurado tipo II, con costura longitud de 12"Ø x $\frac{1}{4}$ " de espesor fabricado bajo la norma ASTM-A53 grado B, y para el contra ademe se utiliza 23m tubería de acero al carbón liso con costura longitud de 24"diámetro por $\frac{1}{4}$ " espesor fabricado bajo la norma ASTM-A53, se engrava el pozo para que sirva de filtro y sostén de las tuberías, al inicio del tanque y pozo se coloca un capuchón cedazo, que sirve para atrapar la basura que pudiera entrar en la caja de tormentas.

Construcción de tanque de tormentas.

El tanque de tormentas tiene la función de regular el aporte pluvial, en un determinado tiempo, dándole tiempo al pozo de absorción cumplir con su tarea y aliviar a la red pluvial durante un evento, el dimensionamiento como se menciono anteriormente se definirá una vez establecido el gasto de infiltración el cual se obtendrá de realizar pruebas una vez perforado el pozo, es por eso, que primero se tiene que perforar el pozo de absorción, para dimensionar el tanque de tormenta.

Más con los datos obtenidos de los estudios se puede determinar la capacidad probable de la caja de tormenta.

Calculo de la caja de tormenta.



Para determinar el volumen aproximado que se regulara en la caja de tormenta, se consideraran los siguientes criterios:

El área de aportación y la Intensidad obtenida del Instituto de Meteorología con para un periodo de retorno de 10 años.

El coeficiente de escurrentía se considera para una superficie de zona comercial

Referente al gasto de infiltración, se realizaron 2 pruebas con profundidades de 23 a 29 y de 33 a 39m en la zona donde se predende construir dicha estructura.

En donde se observo que el suelo existente entre 23 y 29m es el más permeable para un diámetro de 4", para este caso en particular se considero un gasto de 0.319 l.p.mín., ha sabiendas que el real se sabrá una vez construido el pozo, y después de realizarle pruebas de infiltración.

Comentarios.

Se recomienda perforar el pozo de absorción antes de construir la caja de tormenta. Siendo que se podrán realizar pruebas de infiltración y así tener un dato del gasto de infiltración real.

El proyecto y Construcción del pozo de absorción será conforme lo establecido por CNA.

Estudio Geofísico.

Se recomienda efectuar un estudio geofísico para ratificar las características permeables en el predio de interés.



BIBLIOGRAFIA

Especificaciones técnicas generales de construcción para pozos

- Gobierno del distrito federal
 - Secretaria del medio ambiente
 - Sistemas de aguas de la ciudad de México
 - Organismo Publico Descentralizado
-
- AMERICAN NATIONAL STANDARD. ANSI-NAAMN, MDG 531 – 00.MAXIMUN BEARINC, BAR DEPTH...2 ½
 - PLAN NACIONAL DE OBRAS HIDRAULICAS DE INGENIERIA AGRICOLA PARA EL DESARROLLO RURAL. Perforación de pozos profundos. 3ª Edición. Ingeniero Rafael Álvaro Jiménez Granados. ASESOR TECNICO Ing. Gilberto León Martínez Jefe de departamento de equipo de sondeo y electromecánica. México, DF 1980
 - SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECUSOS HIDRAULICOS. C. Francisco Merino Ravago, Secretario
 - Américo Villareal Guerra. Sub Secretario de infraestructura hidráulica. C.P.
 - R.Franceys, J. Pickford & R.Reed: “Guia para el desarrollo del saneamiento in situ” – Water, Engineering and Development Centre Loughborough University of technology Loughborough, Inglaterra – Organización Mundial de la Salud – Ginebra 1994
 - Centro Regional de Ayuda Técnica – Administracion de Cooperacion Internacional (ICA): “Manual para el diseño, operación y mantenimiento de Tanques Sépticos”- U.S. Department of health, education, and welfare, México 1960.
 - Legislacion Sanitaria sobre apectos de Salud Ambiental “Reglamento de Normas Sanitarias para el diseño de tanques sépticos, campos de percolación y pozos de



absorción” Decreto Supremo del 7 de enero de 1966, consta de 60 artículos y un anexo – Direccion Técnica de Salud Ambiental, Ministerio de Salud, Lima Perú 1990

- Water for the World, “Designing Subsurface Absorcion Systems”, technical Note N° SAN 2.D.1, Washington, D.C. A.ID. 1982