

6
2ej



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES
ACATLAN - U. N. A. M.**



CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**“ANALISIS DEL EQUIPO EN LA PERFORACION
DE POZOS PARA AGUA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

JOSE AGUSTIN COLIN SOTO

ACATLAN, EDO. DE MEXICO

1986



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 está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

SR. JOSE AGUSTIN COLIN SOTO
Alumno de la Carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 27 de septiembre de 1984, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "ANÁLISIS DEL EQUIPO EN LA PERFORACION DE POZOS PARA AGUA", el cual se desarrollará como sigue:

- INTRODUCCION

I. METODOS DE PERFORACION

II. EQUIPO DE PERFORACION

III. RENDIMIENTOS DE PERFORACION

IV. PRECIOS UNITARIOS DE PERFORACION

- CONCLUSIONES

- BIBLIOGRAFIA

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Fernando Favala Lozoya, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares - en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Acatlán, Edo. de Méx., 9 de septiembre de 1986.

ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO.
COORDINADOR DEL PROGRAMA DE
INGENIERIA.

CONTENIDO

INTRODUCCION	6
CAPITULO I: METODOS DE PERFORACION	
Antecedentes	9
Ciclo Hidrológico	12
Estudios Geohidrológicos	14
Estudios Geológicos	15
Estudios Geofísicos	19
Métodos de Perforación de Pozos	24
Figuras Ilustrativas	31
CAPITULO II: EQUIPO DE PERFORACION	
Equipo de Percusión	36
Equipo Rotatorio	43
Equipo Neumático	63
Figuras Ilustrativas	64
CAPITULO III: RENDIMIENTOS DE PERFORACION	
Antecedentes	88
Formaciones Granulares no Cementadas	89
Formaciones Granulares Cementadas	93
Rocas Petreas	94
Rendimientos con Máquinas Rotatorias	96
Rendimientos con Máquinas de Percusión a Cable	98
Rendimientos con Perforadoras de Percusión Neumática	100
CAPITULO IV: PRECIOS UNITARIOS DE PERFORACION	
Salarios	104
Cuadrilla de Personal	108
Análisis de Precios Unitarios	111
CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFIA	126

INTRODUCCION

El agua es un elemento vital para la subsistencia del genero humano. La creciente demanda de tan vital líquido ha obligado al hombre a buscarla en el subsuelo, oradandolo -- para obtenerla.

Para obtenerla hoy en día el proposito principal en el diseño, construcción y mantenimiento de los pozos para agua es el de escoger los métodos que a la larga resulten deseados. Estos no se pueden obtener sin usar las técnicas avanzadas de perforación que nos proporciona la ciencia moderna

Desgraciadamente se siguen utilizando métodos anticuados de perforación por compañías que no se han puesto al -- corriente en los conceptos modernos de perforación y por carecer de habilidad analítica, arriesgan al no prever ciertos problemas que van a encontrar en el desarrollo de sus -- trabajos. Casi todas estas personas dan por sentada su larga experiencia y sin ninguna discriminación entre lo bueno y lo malo, proceden en su trabajo, bajo la ilusión de que sus -- técnicas anticuadas son las mejores del mundo. Pasando por alto las nuevas técnicas usadas en la perforación de pozos, exponiendose a resultados insatisfactorios.

Esta es la causa principal del estado de atraso en el cual se encuentran hoy en día las perforaciones de pozos en casi todo el mundo.

La experiencia y la confianza en si mismo son muy importantes, pero no deben detener el progreso, la eliminación total de las antiguas costumbres para fomentar la técnica moderna, fundada sobre nuestro pensamiento moderno deben quedar como nuestra responsabilidad primordial.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos.

El capítulo primero, titulado métodos de perforación. Se describen los estudios previos que deben realizarse antes de una perforación, así como una explicación de los diferentes métodos de perforación.

El porqué del contenido de este capítulo presentado de esta manera obedece a que en cualquier obra ingenieril, deben realizarse estudios previos.

En este caso con la realización de los estudios geohidrológicos y geológicos se tiene un conocimiento acerca de las características del lugar en el cual se quiera perforar. Estos conocimientos se reafirmaran con los estudios geofísicos que se lleven a cabo. Con la interpretación de estos estudios estaremos en condiciones de efectuar una perforación sondeo que corroborará los estudios anteriores; confirmando la existencia o no de un manto subterráneo.

Ahora estamos listos para llevar a cabo la perforación pero no conocemos que métodos existen, por lo tanto el conocimiento de los diferentes métodos de perforación nos -

servirá para elegir el que más nos convenga considerando diferentes factores como son: costo, tiempo de ejecución, lugar, disponibilidad del equipo, personal capacitado, etc.

El capítulo segundo titulado equipo de perforación. Se describen las partes principales de que consta un equipo de percusión, un equipo rotatorio, y un equipo neumático.

El porqué del contenido de este capítulo es que entre mejor conozcamos los recursos tanto materiales como humanos podemos lograr una mayor vida útil del equipo, mejores rendimientos, menor costo en operación, etc.

En el capítulo tercero, titulado rendimientos de perforación. Trata de los rendimientos que rinden los equipos de perforación de percusión, rotatorio y neumático en los diferentes tipos de formaciones.

El conocimiento de rendimientos obtenidos en la perforación de pozos en datos estadísticos y experiencia por parte de los perforadores en los diferentes tipos de formaciones; nos sirven para tener un criterio acerca del método de perforación que más ventajas nos ofrezca.

El capítulo cuarto, titulado precios unitarios de perforación. Se describen los diferentes conceptos que intervienen para la elaboración en la integración de un precio unitario.

Para poder cuantificar el importe de los trabajos, que deban desarrollarse en una obra, es necesario llevar a cabo análisis de precios unitarios.

CAPITULO I

METODOS DE PERFORACION

Antecedentes

La perforación de pozos no son otra cosa distinta a canales excavados verticalmente en el terreno, por los cuales las aguas subterráneas suben por si mismas hasta la superficie del suelo siempre que las condiciones geológicas sean favorables, arrojando a veces un chorro que puede llegar a grandes alturas, o pueden ser extraídas por medios mecánicos.

El agua es de provecho esencial para el genero humano y la más grande fuente disponible se encuentra en el agua subterránea.

La extracción de este líquido vital a través de la perforación de pozos tiene su origen en épocas remotas; a medida que los grupos nómadas de los primeros habitantes del planeta iban cambiando su sistema de vida, estableciéndose a la ribera de las corrientes perennes y adentrándose en los valles fértiles hacia donde conducian las aguas.

La necesidad derivada de las épocas de sequía o de las avenidas en que se destruian las obras de conducción, los hacia buscar el agua del subsuelo. Despues de las primeras

observaciones en sus migraciones de que el agua subterránea corre en los arroyos como subalvea, mucho después de que estos se han secado superficialmente.

La perforación de pozos a cielo abierto, primitivo método para el alumbramiento de aguas profundas todavía se utiliza. Sin embargo, el requerimiento de grandes volúmenes en espacios cortos de tiempo; sea para la dotación de agua para usos públicos, industriales o de irrigación ha hecho necesaria la agudeza de técnicos, artesanos, científicos y toda una diversa gama de ramas constructivas, y de investigación para lograr la perforación de pozos profundos.

En forma accidental durante la perforación de pozos para agua o salmueras se encontró petróleo y gas; sin embargo se tuvo muy poco desarrollo en la perforación, durante el transcurso del tiempo y sólo hasta mediados del siglo XIX, se encuentran referencias de pozos perforados a 266 mt. de profundidad y de un pozo artesiano en St. Louis Missouri.

En el año de 1859 se perforó el pozo "Drake" siendo éste el primero perforado con el objeto de localizar petróleo, con este pozo se inicia la industria petrolera -- propiamente dicha, y se empieza a investigar, diseñar y construir equipos y herramientas más adecuadas a la perforación.

En el año de 1800 aparecen las primeras barrenas de conos pero se usan hasta 1880 y a partir de este año con el -- desarrollo de la geología petrolera y de proyectos en yacimientos importantes, se produce una expansión de la perforación. Iniciándose prácticamente el desarrollo que tiene actualmente. Desde 1900 a la fecha la tecnología petrolera ha introducido sistemas y herramientas adecuadas a las diferentes formaciones y nuevas técnicas en el uso de los fluidos -

de perforación.

Previamente a la realización de la perforación de un pozo de agua deben hacerse estudios geológicos y geohidrológicos en las zonas que se perforarán; las posibilidades de éxito se basarán en la naturaleza de los suelos que las constituyan así como su configuración, ligadas íntimamente a la precipitación de esas zonas.

La naturaleza geológica del suelo nos dará una descripción de: zonas permeables y zonas impermeables, de acuerdo a los afloramientos igneos y suelos con gran contenido de materiales finos, localizados en un levantamiento geológico-topográfico.

Los diversos rasgos del relieve de una región en su conjunto son el producto de una causa común, su aspecto y distribución están supeditadas a la estructura geológica infra-yacente; obteniéndose así un primer concepto teórico de agua disponible en el subsuelo, al combinar los datos de precipitación, zona de captación y permeabilidad.

La interpretación de los estudios geofísicos sobre todo corresponde a técnicos altamente especializados en exploraciones de esta índole, siendo una rama de la ciencia recientemente adaptada a la prospección de agua subterránea.

Basándose en los datos contenidos en los estudios geológicos y geofísicos, técnicamente se estará en condiciones de efectuar una perforación-sondeo que corroborará la interpretación de los estudios anteriores para ello en esta perforación se efectuará un registro eléctrico, última fase de los estudios anteriores que dictaminará definitivamente las características de la perforación.

Circulación del Agua en la Atmósfera.

En el aire atmosférico se encuentra una cantidad variable de agua en estado gaseoso. Este vapor de agua, invicible e incoloro, casi nunca llega a más del 4% del volumen total del aire, pero su influencia es muy grande sobre los seres vivos.

Si exceptuamos el vapor de agua, los restantes gases que forman las capas inferiores de la troposfera se encuentran en proporciones iguales en todas partes, lo mismo en el desierto de Gobi que sobre Cuba o Venezuela. Pero, el mayor o menor volumen de vapor de agua contenido por la atmósfera que cubre una región, es la diferencia que le hace una área habitada por una población próspera o un desierto.

El agua de la atmósfera no puede ser utilizada directamente, en su forma gaseosa. Debe pasar antes por otras dos fases: la condensación y la precipitación.

Hay un proceso constante en virtud del cual el agua se evapora. Mezclándose con el aire atmosférico, como un gas más: se condensa luego, pasando al estado líquido o sólido (fig. 1.1), al formar las pequeñas gotitas de agua y los cristales de nieve y hielo que constituyen las nubes, y por último, se precipita en forma de agua o nieve. Este proceso es denominado circulación del agua en la atmósfera o ciclo hidrológico (fig. 1.2).

Evaporación. Cuando el agua se calienta mucho, se evapora; es decir, pasa al estado gaseoso. El vapor de agua, que es totalmente invicible e incoloro, se mezcla con el aire atmosférico. La principal fuente de vapor de agua en la atmósfera son los océanos, que cubren las tres cuartas par-

tes de la superficie terrestre. El calor solar evapora también las aguas de otras procedencias, como los ríos, lagos, ciénegas, suelos, vegetación y aun de los animales que transpiran.

Humedad. Es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. La humedad varía de un lugar a otro y también de un momento a otro en un mismo lugar.

Humedad absoluta, es la cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera en un momento y en un lugar dados.

Si comparamos esa cantidad de vapor de agua, o humedad absoluta, con la mayor cantidad de vapor de agua que podría retener la atmósfera en ese lugar a igual temperatura, tendremos la humedad relativa. Si el aire, por ejemplo, contiene la mitad de la humedad que podría retener, decimos que la humedad relativa es del 50%. Cuando el aire está saturado su humedad relativa es del 100%.

Condensación. Es el retorno del vapor de agua al estado líquido, es decir, es el proceso contrario a la evaporación.

Para que la condensación se produzca es necesario que el aire llegue a saturarse, o sea, al punto de rocío, lo cual sobreviene cuando la temperatura desciende mucho. Si la condensación se produce a más de 0°C , se formará agua, pero si ocurre a menos de 0° , el vapor pasará directamente al estado sólido, y se formará nieve.

La condensación da lugar a la formación de nubes o neblinas, rocío y escarcha.

Precipitación. Cuando las partículas del vapor de agua condensado en la atmósfera alcanzan tal peso que no pueden seguir flotando en formas de nubes, caen por efecto de la gravedad. Si la precipitación ocurre a una temperatura super-

rior a 0°C se producirá la lluvia; pero si la temperatura es inferior a 0°C , no caerá lluvia, sino nieve.

Otras formas de precipitación son el granizo y el agua-nieve.

El ciclo hidrológico es de extraordinaria importancia para el hombre. Si el agua no se evaporara acabaría por filtrarse toda bajo el subsuelo o iría a los océanos, no quedando agua para precipitarse en forma de lluvia o nieve, ni para correr en ríos y arroyos y los lagos. Si por el contrario el agua se evaporara, pero no se condensara ni se precipitara, acabarían por vaciarse los ríos, los lagos y aun los océanos; tampoco habría lluvias ni nevadas. En ambos casos la vida desaparecería de la tierra.

Estudios Geohidrológicos

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.

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

Desde el punto de vista geohidrológico, se distinguen dos tipos generales de las formaciones geológicas: las permeables y las impermeables. Las primeras que son denominadas acuíferas, son formaciones geológicas cuyas estructuras permiten que fluyan por ellas cantidades apreciables de agua, en las condiciones naturales normales.

Las formaciones impermeables se dividen en dos grupos: aquellas que pueden contener agua, pero que son incapaces de conducirla y transmitirla en cantidades significativas como las arcillas, y las que no tienen agua libre ni pueden conducirla, como el granito sano; las primeras se llaman acuíferas y las últimas acuífugas. En geohidrología, ambos tipos interesan; las formaciones permeables, que son el medio por el cual puede aprovecharse el agua, y las impermeables por constituir fronteras al flujo o porque actúan como confinantes de los acuíferos (fig. 1.3).

Al estudiar la geohidrología subterránea en una región es de primordial importancia determinar la ubicación extensión y clase de acuíferos que existen en su ámbito, así como la localización e importancia de sus cuencas de recarga.

Estudios Geológicos

Geología. Es la ciencia de la tierra. Su misión es estudiar la estructura del globo terrestre y explicar los fenómenos que han ocurrido en él desde la consolidación de su corteza hasta nuestros días.

Desde el punto de vista geológico, la naturaleza de las rocas es factor determinante para poder calcular la capaci--

dad de almacenamiento en una zona o región; por lo que es -- necesario considerar el aspecto petrográfico tomando en -- cuenta el tipo de rocas que afloran, así como su grado de -- alteración para estimar en forma cualitativa su capacidad -- como acuíferas; además de tomar en cuenta los aspectos es-- tratigráficos, estructurales y de sedimentología; considerar los horizontes existentes, inclinación, espesor, extensión, fallas, fracturas, tipos de pliegues, así como materiales depositados; su forma y acomodo, grado de compactación, proveniencia y agentes de transportación.

Rocas Igneas. Si recordamos el origen de los continentes tendremos una explicación de como se formaron las primeras rocas al enfriarse la capa superior del líquido incandescente o magma que constituía la tierra.

Las primeras rocas de nuestro planeta fueron igneas - (del latín ignis, fuego. Este nombre también se aplica a todas las rocas formadas al solidificarse por enfriamiento los materiales, que por el calor intenso del interior de la tierra, estuvieron alguna vez en estado líquido.

Las rocas igneas se originan, al enfriarse las rocas en estado de fusión. Siempre que un material fundido pasa del estado líquido al sólido, su tendencia es formar cristales - al enfriarse. Por ello, las rocas igneas contienen minerales en forma de cristales.

En las rocas igneas se acostumbra a distinguir dos grupos principales: las rocas igneas intrusivas y rocas igneas extrusivas.

Las rocas igneas intrusivas son aquellas en que el magma, o sea las rocas en estado de fusión, se ha solidificado lentamente a mucha profundidad, formando cristales relativa-

mente grandes. Entre las rocas intrusivas, llamadas también plutónicas (por Plutón, el dios romano de las profundidades terrestres) se encuentra el granito, la diorita y el gabro - (fig. 1.4).

Las rocas ígneas extrusivas o volcánicas son aquellas que llegan en estado de fusión a la superficie, ascendiendo a través de grietas y fisuras de la litosfera. El enfriamiento de estas rocas es tan rápido que, muchas veces, no llegan a formar cristales. Entre ellas figuran el basalto, la riolita, la andesita, y las tobas volcánicas.

Rocas Sedimentarias. Las rocas sedimentarias tienen su origen en los efectos de la erosión sobre las rocas. Al desintegrarse las rocas de la superficie terrestre, las aguas corrientes trasladan sus residuos hacia las partes más bajas y en muchos casos, hasta el mar y los lagos, donde se van depositando en forma de gravas, arenas y margas, dispuestas en capas y estratos.

El peso de los estratos superiores va endureciendo y cementando los sedimentos situados en los estratos inferiores, hasta que acaba de formar rocas compactas. Las gravas y fragmentos mayores forman los conglomerados, las arenas constituyen las areniscas y las margas dan origen a las rocas arcillosas.

Entre las rocas sedimentarias figuran algunas producidas por material de origen orgánico. Tal es el origen de las rocas calizas que son muy abundantes. Las rocas calizas se han formado en el fondo de los mares por la lenta descomposición de las conchas y esqueletos de animales a través de muchos millones de años. De esta manera las pequeñísimas con

chas calizas de animales microscópicos han contribuido también a la formación de enormes bancos de rocas calizas. Los corales dan origen, igualmente, a rocas calizas en los mares tropicales.

Otras rocas sedimentarias se han formado mediante un proceso químico, como ocurre con la sal gema y el yeso.

Las rocas sedimentarias se caracterizan por los fósiles que contienen. La existencia de estos fósiles ha hecho posible conocer la historia de la tierra. En una serie de estratos que no hayan sido perturbados, las rocas más antiguas -- corresponden a los estratos inferiores y las más recientes -- a los estratos superiores.

En los grandes movimientos registrados en la litosfera desde que se formaron las rocas sedimentarias más antiguas extensas áreas que antes estuvieron en los fondos de los mares se elevaron, pasando a formar parte de las tierras. Debido a esto, se calcula que casi las tres cuartas partes de los continentes y las islas actuales están cubiertas por las rocas sedimentarias.

Las rocas sedimentarias predominan en las capas superiores de la litosfera, mientras a un kilómetro y medio de profundidad sólo se encuentran normalmente rocas ígneas y metamórficas (fig. 1.5)

Rocas Metamórficas. Las rocas que han sufrido cambios por la acción de la presión, del calor o de la humedad son denominadas metamórficas. Las rocas metamórficas pueden haber sido originalmente ígneas o sedimentarias.

Las rocas que han alcanzado un carácter metamórfico muy avanzado, se caracterizan por su estructura foliada, o sea,

que, por la presión excesiva que han soportado, parecen formadas por laminas u hojas que pueden, a veces separarse con las uñas. Los esquistos son rocas de esta clase (fig. 1.6)

Las rocas igneas y sedimentarias más comunes, al sufrir los efectos del metamorfismo, dan lugar a los tipos de roca que se indican a continuación.

Roca Ignea se convierte en Roca Metamórfica

granito de grano grueso
granito de grano fino
gabro

gneiss
esquisto y serpentina
esquisto y serpentina

Roca Sedimentaria se convierte en Roca Metamórfica

caliza
lutita
conglomerado
arenisca

marmol
esquisto
gneiss
cuarcita

Estudios Geofísicos

Geofísica. Se ha definido ésta, como la ciencia que investiga la naturaleza física de la tierra.

La geofísica al aplicar los diferentes métodos, auxilia a la geología para investigar las condiciones geológicas del subsuelo y localizar mediante estudios y mediciones superfi-

ciales, sustancias explotables contenidas en él, tales como petróleo, agua, depósitos minerales, etc.

El primer objetivo de una exploración es la localización de estructuras geológicas. La experiencia ha demostrado que la mayoría de las estructuras subterráneas puedan localizarse siempre y cuando existan diferencias identificables en sus propiedades físicas. Las principales propiedades que exhiben las rocas y formaciones comunes son: magnetismo, densidad, elasticidad, conductividad eléctrica. Esto define cuatro métodos geofísicos principales: gravimétrico, magnético, sísmico y eléctrico.

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

Método Magnético. Se basa en el campo normal de la tierra es uniforme, en áreas donde la composición magnética de los materiales también lo es; pero será distorsionado cuando éstos presenten alguna variación de ese orden. El grado de distorsión dependerá de la susceptibilidad de las rocas y de la masa y configuración de los materiales componentes.

Método Sísmico. La sismología se basa especialmente en las variaciones, de la elasticidad y densidad que presentan los materiales de la corteza terrestre, utilizando para su aplicación ondas elásticas producidas artificialmente.

El método consiste en perforar un pequeño pozo y depo-

sitar una carga explosiva. Cuando se produce la explosión, las ondas viajan hacia el interior de la litosfera. Las ondas son reflejadas con mayor violencia por las rocas duras, y regresan a la superficie en un tiempo más breve desde los estratos menos profundos que desde los situados a mayor profundidad. Igualmente las ondas varían de acuerdo a la naturaleza e inclinación de los estratos. Todas estas variaciones las registra el sismógrafo por medio de los geofonos que aparecen colocados sobre la superficie. El sismógrafo revela el tiempo transcurrido entre la explosión y el retorno del eco en los distintos lugares en donde se instalaron los geofonos (fig. 1.7). Estos datos que son tomados en distintas áreas de la región estudiada, sirven a los geólogos para determinar si a grandes profundidades existen domos, anticlinales etc. Es decir la forma estructural de las formaciones del subsuelo.

Registros Eléctricos en Perforación. Al efectuar un registro eléctrico en una perforación, se miden dos propiedades eléctricas, que son: la resistividad de las formaciones y el potencial natural, así como la presencia de sales.

El potencial espontáneo ϕ_p de las formaciones en un pozo, se define como la diferencia de potencial que existe entre un electrodo colocado en la superficie del suelo, y otro electrodo móvil en el lodo dentro del pozo.

En la práctica, la medida del SI se obtiene mediante un electrodo, que va en la misma sonda con que se obtienen simultáneamente otros registros, y un electrodo colocado en la superficie de un medio húmedo que bien puede ser la presa de del lodo de perforación o un agujero en las vecindades

del camión de registros (fig. 1.8).

En esta forma se van obteniendo variaciones del potencial espontáneo de las formaciones, sobre un negativo de película en el camión de registros en la superficie, frente a las cuales va pasando la sonda. La curva de potencial está situada en la pista izquierda de la película de los registros, mientras que la escala de profundidades está al centro de la película del registro (fig. 1.9). La línea correspondiente al potencial de las lutitas, que por lo general se mantiene prácticamente constante en tramos grandes, se llama línea base de lutitas y es a partir de esta línea de referencia que se hacen las lecturas del potencial frente a las capas porosas y permeables, la curva del SP en el registro no tiene punto cero. El potencial puede ser negativo o positivo, según que la curva se desplace hacia la izquierda o hacia la derecha de la línea base de lutitas. En la (fig. 1.9), se muestra un ejemplo de un registro de potencial espontáneo tomado en conjunto con un registro de resistividad.

La curva del potencial espontáneo permite la determinación de las capas porosas y permeables.

Generalmente se toma en conjunto con los registros de resistividad convencionales, y de inducción.

La resistividad de un material, es la propiedad que lo caracteriza por su oposición al paso de una corriente eléctrica. La unidad de resistividad es el ohmio-metro²/metro - abreviado ohmio-m²/m ó ohmio-m. La conductividad eléctrica es la recíproca de la resistividad.

La resistividad está vinculada con la naturaleza, cantidad y distribución del agua en una formación geológica.

Como estos factores varían apreciablemente de una formación a otra, las determinaciones de la resistividad, hechas en una perforación pueden utilizarse para definir los contactos entre las diversas formaciones geológicas y obtener información acerca de las capas atravesadas, y la presencia de sales, que son muy buenas conductoras.

Cuando la resistividad se mide en forma continua, se obtiene una curva en función de la profundidad; a esta curva se le denomina "curva de resistividad" y puede hacerse, haciendo descender en la perforación uno o varios electrodos efectuando las medidas mediante un equipo con dos dispositivos eléctricos apropiados (fig. 1.10).

La siguiente tabla nos proporciona valores típicos de la resistividad.

Arenas y grava conteniendo agua dulce.	30	a	200ohm-m
Areniscas y calizas conteniendo agua dulce.	50	a	500ohm-m
Arenas y grava conteniendo agua salobre.	4	a	30ohm-m
Arenas y grava conteniendo agua salada.	0.1	a	4ohm-m
Arcillas y lutitas	2	a	10ohm-m
Formaciones compactas	1000	a	10000ohm-m
Agua potable	10	a	100ohm-m
Lodo de perforación	1	a	10ohm-m

Métodos de Perforación de Pozos

Los métodos de perforación e instalación de pozos son numerosos. Cada método de perforación tiene sus ventajas que se relacionan con los factores de costo, características de la formación, diámetro del pozo, profundidad, producción y usos a que se va a destinar dicho pozo.

Métodos más usuales en la perforación de pozos:

- 1) Método de percusión
- 2) Perforación con rotatoria hidráulica
- 3) Perforación de circulación inversa
- 4) Perforación por chifloneo
- 5) Perforación con rotatoria de aire

Método de Percusión. El método consiste principalmente en subir y dejar caer regularmente un conjunto de herramientas de peso conocido dentro de la perforación. Estas herramientas rompen y fracturan las formaciones de roca dura en pequeños fragmentos, cuando estos equipos se utilizan en materiales sueltos o en rocas no consolidadas, etc., el equipo de perforación deja estos materiales en estado suelto, en ambos casos la acción de las herramientas deja una mezcla de materiales sueltos y rotos, que al combinarse con el agua forman un lodo de perforación, Siempre que se perforan pozos en zonas donde no hay agua; está se introduce por la parte superior de la perforación hasta lograr la formación del lodo. La acumulación a mucha profundidad del lodo retarda la caída del equipo de perforación, y por lo tanto este lodo debe removerse periódicamente utilizando una bomba de arena o una cuchara.

El conjunto completo de herramientas de perforación en el método de percusión consiste de cuatro partes que incluyen el taladro, barras de perforación, barras de afinación y el cople del cable; las barras de perforación se utilizan para dar peso adicional a la broca, además, el agregar este tipo de barras permite realizar agujeros rectos cuando se perfora en zonas de roca dura.

Son muchas las ventajas que se obtienen al perforar pozos utilizando el método de percusión, sin embargo la más importante es aquella que nos permite determinar el grado de consolidación o dureza de la formación que se está perforando al mismo tiempo que se pueden obtener muestras de los materiales de perforación.

Una de las desventajas de este método es el tiempo que se tarda en realizar la perforación, siendo este uno de los argumentos que los contratistas usan con más frecuencia, para aumentar el costo de la perforación. Otra desventaja es que solo es muy eficiente cuando se usa en perforaciones de diámetros pequeños y a baja profundidad.

Perforación con Rotatoria Hidráulica. Este tipo de perforación consiste en el uso de una broca rotatoria que corta y remueve el material de una manera continua, al ser inyectado un fluido de perforación que elimina los materiales resultantes del corte, llevandolos a la superficie.

La broca está colocada al final de la tubería de perforación y en los métodos convencionales de perforación rotatoria, el fluido de perforación es bombeado hacia la broca a través de la tubería, siendo expulsado a través de pequeños agujeros o pulverizadores. Este fluido de perforación sube a

través del espacio anular que queda entre la tubería y las paredes del pozo, hasta la superficie llevando en suspensión los materiales resultantes de la barrenación, depositandose en tanques de asentamiento donde se asientan los materiales resultantes de la perforación, volviendo a ser bombeado el lodo dentro de la tubería de perforación.

Las dos claves principales de este sistema se encuentra en la rotación de la broca y el mantenimiento de la circulación del fluido de perforación, ya que ambas acciones son -- indispensables para realizar una buena barrenación y mantener la perforación libre de caídas.

Son multiples las ventajas que tiene este método de ---- perforación, siendo la principal la versatilidad con que se pueden perforar diferentes tipos de materiales, sin importar la compacidad o dureza de los mismos, otra gran ventaja es -- la rapidez con que se realizan las perforaciones.

Perforación de Circulación Inversa. La perforación de circulación inversa es semejante al de perforación con rotatoria hidráulica, con la diferencia que el fluido de perforación sigue una circulación inversa, es decir, el lodo de -- perforación entra en el espacio anular situado entre la tubería de perforación y la pared del pozo. Para ser bombeado desde el final de la tubería a través de la barrena hasta el tanque de sedimentación donde es regresado al pozo. Al descender el lodo por el espacio anular, arrastra todo el material resultante de la perforación para que sea bombeado a la superficie, este lodo de perforación que en realidad es una agua lodosa a la que se hace necesario agregarle bentonita o cualquier aditivo semejante, que permita aumentar la visco--

sidad cuando su densidad sea baja, además el nivel de este fluido debe mantenerse siempre al nivel en la boca del pozo para evitar problemas de cavitación durante la perforación.

En este tipo de perforación, el tanque de asentamiento y el tanque de abastecimiento debe tener cuando menos un volumen tres veces mayor que el volumen del material que va a ser extraído durante la perforación; el gasto empleado durante una perforación común es aproximadamente de 2000 lts/min. sin embargo este gasto puede aumentarse cuando se perforan formaciones altamente permeables donde se tienen pérdidas de lodos de perforación.

Usando este sistema se pueden perforar pozos de más de 1.50 mts. de diámetro, por lo que resulta un sistema de perforación bastante barato cuando se perforan pozos de diámetros grandes en formaciones suaves o no consolidadas, sin embargo este sistema está muy limitado cuando el nivel estático en el pozo es muy alto o cuando las fuentes de abastecimiento de agua son escasas o existen formaciones con boleos, arcillas consolidadas, rocas duras, etc.

Una de las grandes ventajas de este método es de que permite romper fácilmente la pared de lodo formado durante la perforación, usando una técnica de desarrollo adecuada, permite además efectuar perforaciones de grandes diámetros en materiales suaves o poco consolidados.

En cuanto a las desventajas, la mayor está en el hecho de que cuando se está perforando formaciones con boleos y gravas grandes, éstas no pueden ser bombeadas a la superficie y por lo tanto, tapan la tubería de perforación, lo que obliga a extraer toda la tubería para poder limpiar el fondo del pozo.

Perforación por Chifloneo. Este sistema consiste en una barrena en forma de cincel colocada al final de la tubería de perforación con pequeñas toveras colocadas a ambos lados de la barrena, eliminando los materiales resultantes de la perforación.

El agua inyectada se bombea desde baja hasta alta presión a través de la tubería de barrenación, saliendo por las toveras de la barrena permitiendo que está agua suba hasta la superficie por el espacio anular que queda entre la tubería, y la pared del pozo, para depositarse en un tanque de sedimentación de donde es nuevamente bombeada hacia el pozo de perforación.

Manteniendo la circulación del agua las barras de perforación son levantadas y dejadas caer de manera semejante al método de percusión, la combinación del chorro de agua con la acción, del golpeo de la herramienta permiten realizar la perforación normalmente, al mismo tiempo se va colocando una tubería de ademe en las zonas de material suelto para evitar caídas de residuos en la perforación.

Este tipo de perforación puede emplearse con grandes ventajas en la perforación de pozos testigos o en pozos de abatimiento de nivel freático, o para pequeños pozos de agua de uso doméstico; las desventajas de este sistema están en la limitación existente del diámetro y profundidad de perforación.

Perforación con Rotatoria de Aire. Una de las técnicas más modernas utilizadas en la perforación de pozos es la perforación con rotatoria de aire que como su nombre lo indica utiliza aire a presión para sustituir el lodo de perforación

utilizado en el método de perforación con rotatoria hidráulica, es decir el aire moviéndose a gran velocidad entre el espacio anular, lleva a la superficie todos los materiales resultantes de la perforación. Sin embargo, este procedimiento sólo puede emplearse en materiales que estén altamente consolidados.

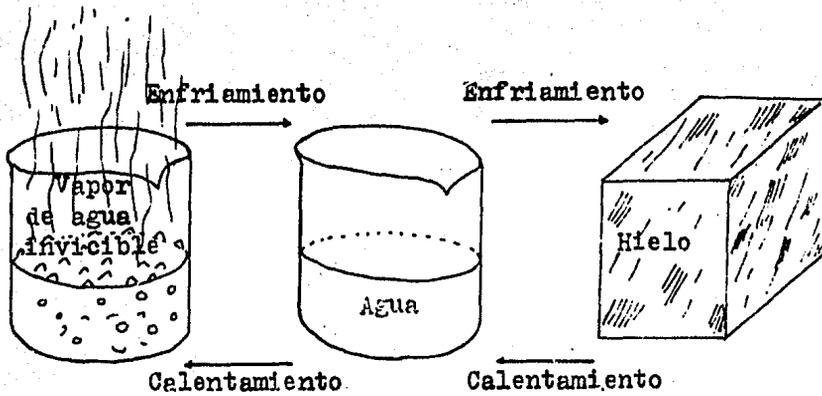
El tipo de máquinas perforadoras que se usan en este procedimiento, se encuentran equipadas con el mismo equipo convencional de bombeo de lodos, agregándose solo un compresor de alta capacidad, por otra parte siempre que se utiliza este método, debe prepararse tubería ciega de ademe para evitar las caídas en las zonas de materiales sueltos.

Los tipos de barrenas que se utilizan en este tipo de perforación son semejantes, a los utilizados en el sistema de perforación con rotatoria hidráulica, aun cuando en algunos casos se utilizan martillos neumáticos que colocados en el extremo de la tubería de perforación, para combinar los efectos de la perforación por percusión, con la perforación por rotación.

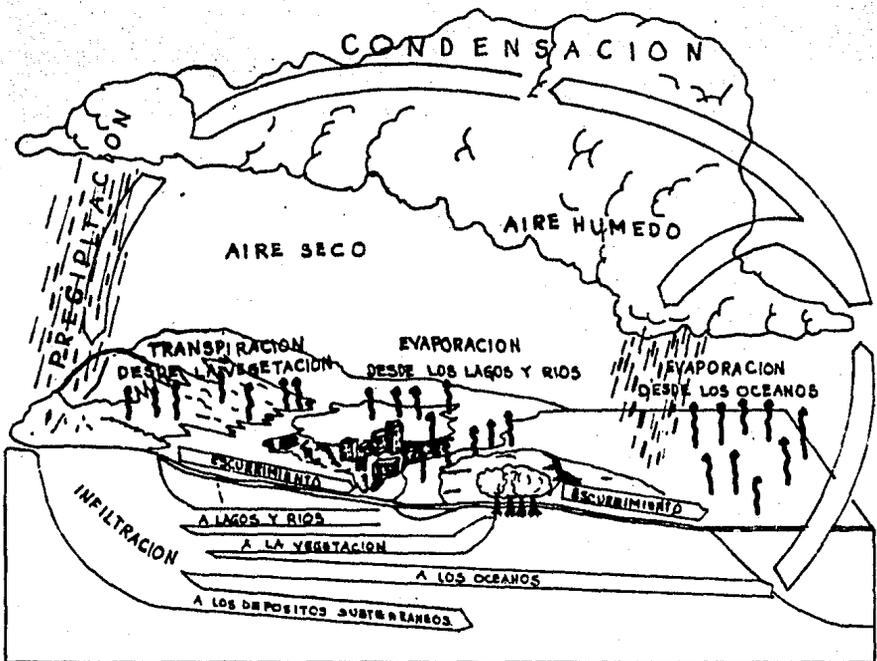
La mayor ventaja que se puede obtener al perforar un pozo siguiendo el método de perforación con rotatoria de aire consiste en que se puede observar la cantidad de agua expulsada en la superficie por el aire de perforación y de esta manera se puede estimar aunque sea de una manera aproximada el rendimiento del pozo de acuerdo con la profundidad de perforación, otra ventaja es el que se evita el uso de lodos que en algunos casos provocan problemas de taponamiento en los acuíferos.

La desventaja de este tipo de perforación es que solo puede usarse en materiales muy compactos o consolidados ya

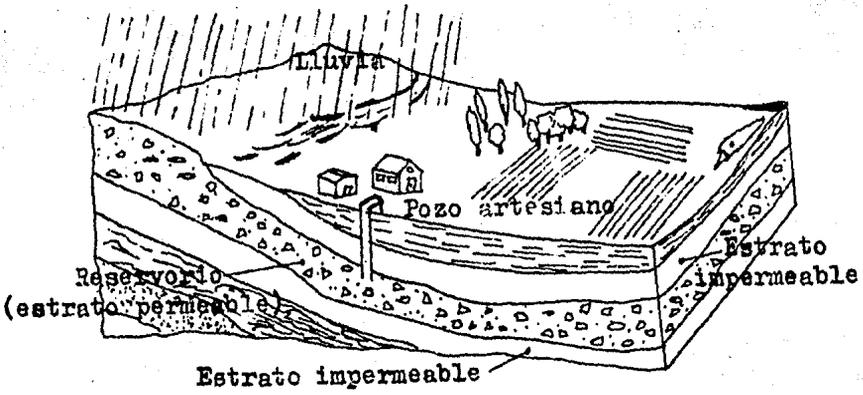
que al usarse en materiales sueltos se producen grandes cavernas por efecto del aire que está circulando.



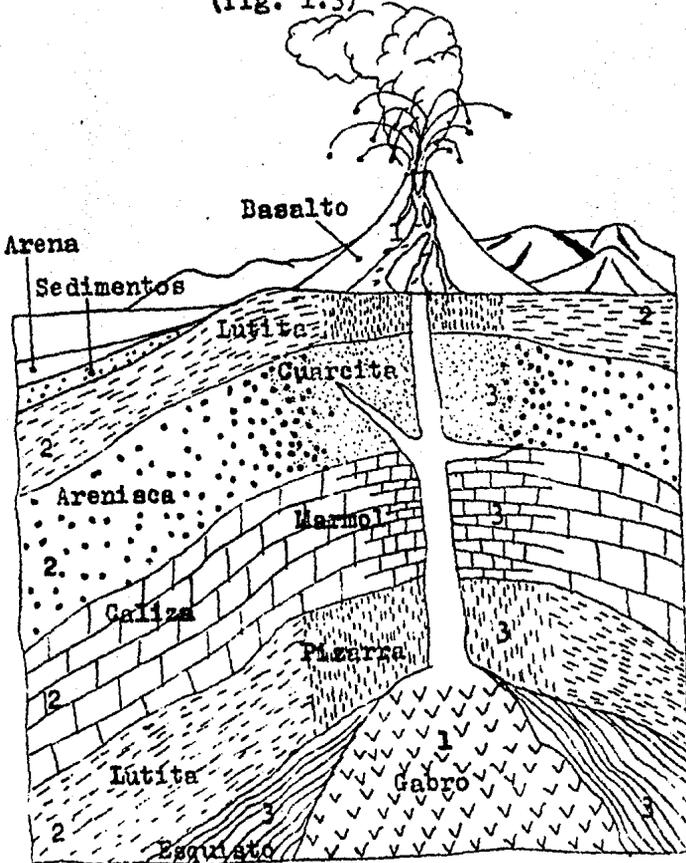
(fig. 1.1). Los tres estados por los que puede pasar el agua dependen de los cambios de temperatura.



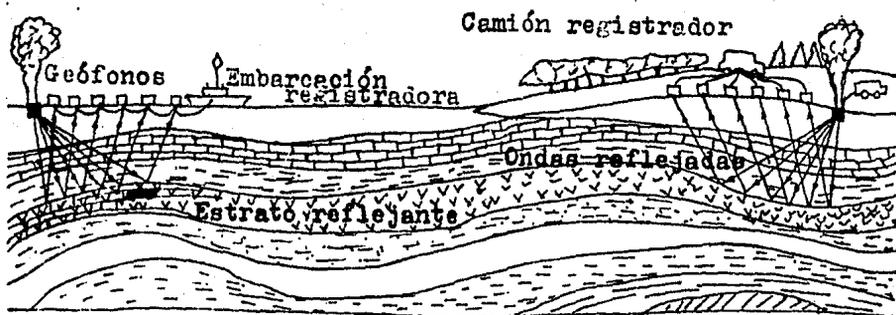
(fig. 1.2). El Ciclo Hidrológico.



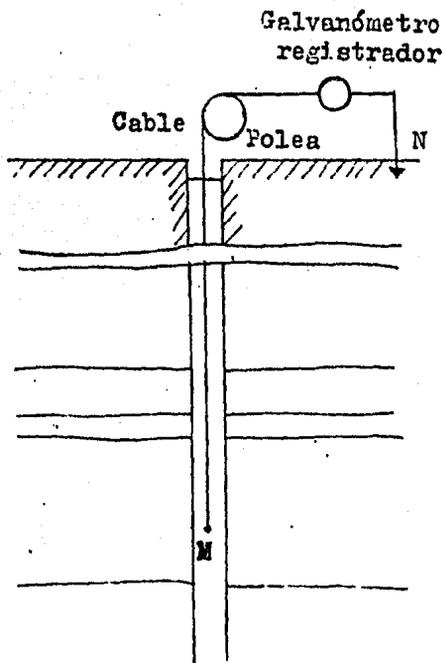
(fig. 1.3)



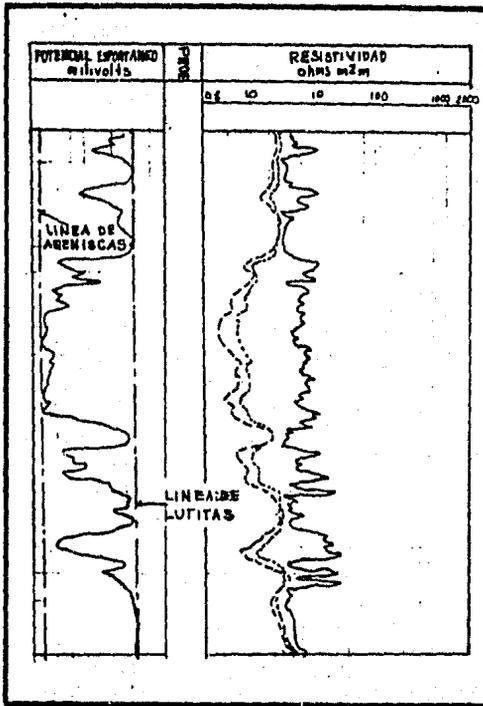
(fig. 1.4)



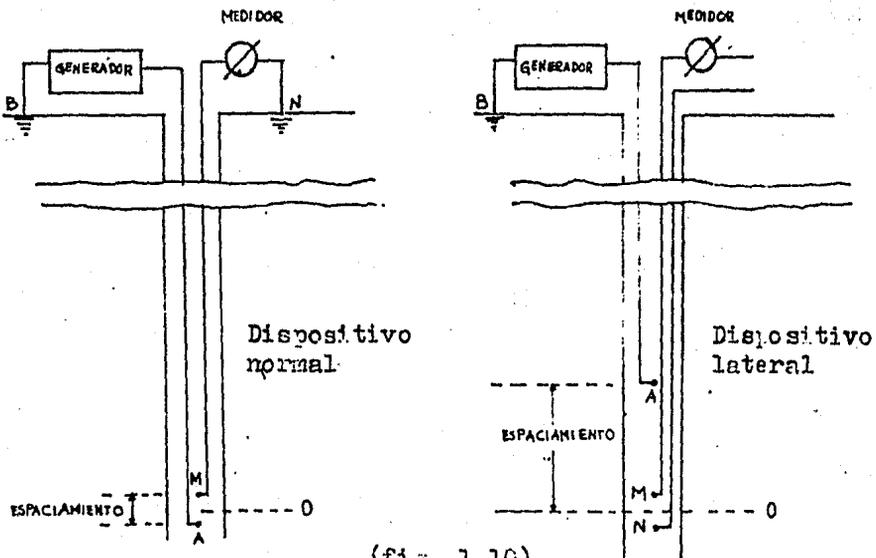
(fig. 1.7)



(fig. 1.8)



(fig. 1.9) ejemplo de la curva de SP en una serie de arena-arcilla en conjunto con un registro de resistividad.



(fig. 1.10)

CAPITULO II

EQUIPO DE PERFORACION

Equipo de Percusión

El equipo consta esencialmente de un mástil o torre telescópica. Compuesta de dos secciones fácilmente izables que descansan sobre la máquina al ser transportada; doble línea de elevación una para la operación de las herramientas de perforación o pesca y la otra para cuchareo; un sistema de balancín con biela pitman con accionamiento de cable y una fuente de poder.

Herramientas de Perforación. Al conjunto de herramientas para la perforación o pesca se le denomina sarta y se compone de trépano, barretón o barra maestra, tijeras y portacable. La unión de las herramientas que forman la sarta se realiza mediante piñón y caja y el empleo de llaves especiales con boca de sección cuadrada (fig. 2.1).

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 don-

de se desplaza el cable (fig. 2.2).

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

Portacable Giratorio. (fig. 2.3). 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 deben efectuar revisiones periódicas en la unión del cable para evitar que los materiales abrasivos lo desgasten en el cuello. Además en el portacable giratorio deberán limpiarse las perforaciones que existen en su cuerpo para evitar atascamientos y facilitar la rotación.

Tijeras de Perforación. Las tijeras de perforación están constituidas por dos eslabones; el superior tiene piñón y caja en el inferior (fig. 2.4). Su empleo evita pegaduras de la sarta cuando se perforan materiales plásticos, y el de tambor de perforación y los amortiguadores de la máquina cuando son rocosos.

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

Barretón o Barra-Maestra. El barretón, proporciona el peso necesario a la sarta de herramienta y se coloca siempre después de las tijeras en los trabajos de perforación, (fig. 2.5). Tiene en su parte superior un piñón que se acopla a la caja de las tijeras y en el inferior una caja para la unión con el trépano. Sus longitudes diámetros y pesos varía de

acuerdo con los de la sarta seleccionada y están en función de la capacidad de el equipo.

Trépano. Es la herramienta destinada a ejecutar la perforación, (fig. 2.6). Se considera la parte más importante de la sarta de herramientas y se compone de las siguientes partes: piñón, cuello, cuadrado para llaves, hombros, cuerpo pasos de agua o canales de evacuación y filo cortante.

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

Trépano estandar, regular o California. Es el más común ya que se emplea para cortar formaciones suaves o duras variando el tipo de afilado (fig. de la 2.7 a la 2.14). Recibe el nombre de California cuando su diámetro es mayor de 203mm (8"); cuando es menor se le llama regular o estandar.

Trépano tipo cruz o estrella. Se usa para perforar formaciones fisuradas o inclinadas que tienden a desviar las herramientas de la vertical. El cuerpo de este trépano tiene cuatro pasos de agua y el diámetro de la sección del cuerpo, es ligeramente menor que el área de corte. Los cuatro puntos de corte lo hacen un elemento particularmente efectivo para escariar y enderezar pozos. Para su empleo óptimo debe ser correctamente afilado y tener un área de corte máxima, (fig. 2.16).

Trépano corto. La finalidad del trépano corto es, la de iniciar la perforación. Es un trépano regular o California más corto y de menor peso, lo que permite ser guiado con mayor facilidad.

Trépano Torcido. Es un trépano California torcido y con el mismo perfil de este, sus características lo hacen produ-

cir un batido mayor.

Actúa como una bomba manteniendo en suspensión mayor cantidad de material, sus ventajas de producir perforaciones más derechas, elevan su costo, (fig. 2.17).

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

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

Angulo de luz. Es el formado por la conicidad de la superficie de desgaste y una línea imaginaria normal al trépano, levantada desde el filo rectificador. La (fig. 2.7) muestra el ángulo de luz grande y en él falta la superficie de desgaste. Una flecha marca el ángulo de luz.

Angulo de penetración. Esta formado por las caras de filo central en las puntas del trépano, es decir, son los bises que forma el filo y que sirve para penetrar o romper los materiales en el fondo de la perforación. (fig. 2.9), tiene una amplia superficie de desgaste y ningún ángulo de luz. La flecha indica la superficie de desgaste.

Filo rectificador. Es el borde exterior del extremo del trépano y su medida corresponde a una parte de la circunfe-

rencia total. La (fig. 2.10) indica un trépano que tiene un 80% del filo rectificador, 40% de filo rectificador entre cada superficie de evacuación.

Superficie de trituración. Es la cara del extremo del trépano y aproximadamente corresponde al porcentaje total de la superficie del fondo de la perforación, la flecha indica la superficie de trituración en la parte sombreada (fig. 2.11)

El canal de evacuación queda indicado por el espacio en blanco.

Pasos de agua. Es la parte de la perforación que no está ocupada por el trépano y a través de los cuales escurren las aguas o el lodo con el producto de trituración, cuando trabaja el trépano hacia arriba o hacia abajo; la flecha indica los pasos de agua sombreados, (fig. 2.12).

Perfil del ángulo de penetración. En un trépano puede ser recto o cóncavo y los grados de él se miden por las variaciones angulares que forman los filos con respecto a una línea imaginaria que une sus extremos. La (fig. 2.13) indica un perfil del ángulo de penetración (filo) cóncavo.

Sección transversal del trépano. Es un corte efectuado en un extremo del trépano, cuando aún su estructura no ha sido modificada. La flecha indica una sección transversal. La (fig. 2.14) señala la sección transversal de un trépano cortado a pocos centímetros del extremo del filo.

Uniones de herramientas. Las uniones de las herramientas se realizan mediante una rosca cónica (piñón) que ajusta en una rosca hembra (caja). Las cuerdas se fabrican de modo que ajusten perfectamente sin dejar espacios libres. Se insiste en tener especial cuidado en el manejo de las cuerdas para mantenerlas en perfectas condiciones. Deberán conservar

se limpias y libres de óxido. Si las caras de fricción parte final de las cuerdas, estuvieran oxidadas o presentaran una superficie áspera, deberán limpiarse o pulirse con piedras de esmeril suave, pómez o lija fina hasta que queden totalmente suaves. Las superficies estarán pulidas a nivel y las uniones entre las herramientas serán herméticas.

Cuando las herramientas no estén en uso, deberán cubrirse todas sus uniones lubricadas con el protector correspondiente. (fig. 2.15).

Llaves de cuadro para las herramientas. Cada perforadora debe contar con un juego de dos llaves para las herramientas, una derecha y otra izquierda. La abertura de la boca de las llaves, ajusta con el cuadrado de las herramientas de perforación y pesca. Para apretar una unión se coloca la llave izquierda en el cuadrante inferior y la derecha en el superior invertidas se emplean para aflojarla.

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

Cuchara de válvula plana. Este tipo es el más común y está formada por un tubo de diámetro inferior al del pozo; en su parte superior tiene soldada o remachada una asa que se une al cable de la línea de cuchareo y en la parte inferior una válvula de charnela que tiene un movimiento de bisagra, (fig. 2.18). Al sumergirla en el lodo, la válvula se abre y penetra el material, cerrándose por el peso de esta al levantarla.

Cuchara de válvula de dardo. La cuchara con válvula de dardo es la más usada en la operación de cuchareo. La válvula de dardo abre cuando está en contacto con el lodo del fondo.

do del pozo, (fig. 2.19).

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

Bomba de arena. La bomba de arena se usa para extraer cortes de arena y grava donde la cuchara de dardo no será capaz de levantar los materiales. Está compuesta por un tubo con una válvula de gozne y un émbolo que trabaja dentro del cuerpo de la bomba. (fig. 2.20). El cable de cuchareo, se acopla a la parte superior del vástago del émbolo. El que al levantarse ya estando dentro del pozo succiona el material dentro de la bomba. Cuando el émbolo llega a la parte superior del compartimiento, se levanta la bomba y la válvula se cierra. Para vaciarla, se desconecta la válvula.

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

La plataforma o tarima de operación deberá armarse precisamente frente al equipo. Al armarse se dejará sin cubrir el espacio que ocupa la boca del pozo; encima de ella se coloca un marco de fierro ángulo de dimensiones apropiadas y a fin de proteger el pozo cuando no se encuentre en operación, también se construye con un contra-marco de las mismas medidas, que sirve de tapa con la cual se cubre, (fig. 2.21).

Equipo Rotatorio

El equipo consiste básicamente de componentes de circulación, elevación y rotación, una torre o mástil para servir de soporte y una fuente de potencia para hacer todo funcionar. A continuación se describen estos componentes.

La Torre o el Mástil. Una consideración importante que hay que tomar en cuenta cuando se está comenzando una faena es la torre o mástil que se va a utilizar. Una torre o mástil es una estructura de acero que soporta muchos metros de tubería de perforación que a menudo pesa más de 100 toneladas.

Una torre estándar es una estructura con cuatro patas de apoyo que descansan sobre una base cuadrada y se ensambla pieza a pieza cada vez que se perfora un pozo. En contraste el mástil es ensamblado una sola vez cuando es fabricado. Luego de ser fabricado, el mástil se mantiene como una sola unidad y se eleva y se baja como una sola unidad cada vez que se perfora un pozo.

El mástil o torre se erige sobre una infraestructura que sirve para dos propósitos principales, 1. soporta el piso de la instalación, así proveyendo espacio para equipo y empleados y 2. provee espacio debajo del piso para enormes válvulas especiales llamadas preventores de reventones.

La infraestructura no solo soporta el peso de la mesa rotatoria, sino el peso completo de la barra maestra cuando la barra está suspendida en el hoyo por las cuñas. También soporta una sarta de tubería de revestimiento cuando la tubería se está instalando en el hoyo utilizando cuñas que van

asentadas dentro de la mesa rotatoria o cuando se está almacenando a la tubería temporalmente en la infraestructura. El piso de la instalación también sostiene el malacate, los controles del perforador, el galpón y otro equipo relacionado con la perforación rotatoria.

Las torres y mástiles se clasifican de acuerdo a su capacidad para soportar cargas verticales y la velocidad del viento que puedan soportar de lado. Las capacidades de carga de las instalaciones modernas pueden variar desde 250,000 hasta 1,500,000 libras (111,250 hasta 667,000 decanewtons). Una torre o mástil típico puede soportar vientos de aproximadamente 100 a 130 millas por hora (160 a 210 km por hora), con las rastrillerías llenas de tubería y sin la necesidad de tener cables conectados a anclas en el suelo para refuerzo.

Otra consideración que hay que tomar en cuenta en el diseño de la instalación es la altura. La torre o mástil y su infraestructura debe soportar el peso de la barra maestra en todo momento, mientras la sarta está descansando en la mesa rotatoria. La altura de la torre o mástil no influye en la capacidad de carga del mismo, pero sí influye en la altura de las secciones de tubo que se pueden sacar del hoyo sin tener que desconectarlas. Esto se debe a que el bloque de corona debe estar a suficiente altura de la sección para permitir sacar la sarta del hoyo y almacenarla temporalmente en las rastrillerías cuando se le saca para cambiar la barra o para alguna otra operación.

El Sistema de Energía. El vapor ha desaparecido como una fuente de energía para la operación de instalaciones de

perforación rotatoria. Por varias décadas, el vapor sirvió como la única fuente de energía. Aún en la década del 40, - las instalaciones estaban siendo construidas para utilizar energía producida por vapor y calderas estaban siendo mejoradas para rendir mejor efectividad en la perforación de pozos profundos. Una de las razones principales por la cual desapareció el vapor fue el costo creciente para calentar las calderas. Hoy día, casi todas las instalaciones utilizan motores de combustión interna como fuentes primas de energía. La mayoría de estos motores son diesel, aunque aún existen - motores que queman gas natural o gas licuado de petróleo. La potencia de los motores de una instalación puede variar de 500 a más de 5,000 caballos de vapor (373 a 3,730 kW).

Transmisión de energía. Existen dos métodos comunes utilizados para transmitir la potencia desde la fuente prima hasta los componentes de la instalación que son el mecánico y el eléctrico.

En una instalación de transmisión mecánica, la energía es transmitida desde los motores hasta el malacate, las bombas y otra maquinaria a través de un ensamble conocido como la central de distribución. La central de distribución está compuesta por embragues, uniones ruedas de cabilla, correas poleas y ejes, todos los cuales funcionan para lograr la - transmisión de energía (fig. 2.22).

Las instalaciones Diesel-eléctricas utilizan motores - Diesel. Estos motores Diesel le suplen energía a grandes generadores de electricidad. Estos generadores a su vez producen electricidad que se transmite por cables hasta un dispositivo de distribución. De aquí, la electricidad viaja a través de cables adicionales hasta los motores eléctricos que -

van conectados directamente al equipo, el malacate, las bombas del lodo y la mesa rotatoria (fig. 2.23).

El sistema Diesel-eléctrico tiene un número de ventajas sobre el sistema mecánico. Una de las ventajas principales es la eliminación de la transmisión pesada y complicada de la central de distribución y la transmisión de cadenas, así eliminando la necesidad de alinear la central de distribución con los motores y el malacate. Otra ventaja es que los motores se pueden colocar lejos del piso de la instalación, así reduciendo el ruido de los motores.

Los arreglos de las instalaciones no tienen un patrón fijo. La central de distribución, las bombas y el equipo rotatorio pueden estar colocados en diferentes maneras dependiendo de las preferencias del contratista de perforación.

Sistema de Elevación.

El malacate. El malacate es una pieza de equipo grande y pesada (fig. 2.24) que consiste de un tambor que gira sobre un eje alrededor del cual un cable de acero, llamado cable de perforación, va enrollado. También tiene un eje que atraviesa el malacate y que tiene un carretel y un tambor que giran en cada extremo de este eje. Varios ejes, embragues y transmisiones de cadena y cambio facilitan los cambios de dirección y velocidad.

Los propósitos principales del malacate son dos sacar y meter la tubería al hoyo. Un cable de acero es enrollado en el carretel del malacate y cuando se pone a funcionar el malacate, el carretel gira. Dependiendo en que dirección gira el carretel, el bloque de aparejo o bloque viajero sube o baja a medida que el carretel enrosca o desenrosca el cable

Como la sarta de perforación está conectada al bloque de aparejo, está sube o baja cuando el bloque sube o baja.

Una de las características sobresalientes del malacate es el sistema de frenos que hace posible que un perforador controle fácilmente cargas de miles de libras o kilos de tubería de perforación o de revestimiento. La mayoría de las instalaciones tienen por lo menos dos sistemas de frenos. Un freno mecánico puede parar la carga inmediatamente. El otro freno, generalmente hidráulico o eléctrico, controla la velocidad de descenso de una carga en el bloque de aparejo, pero no para el descenso completamente.

Una parte integral del malacate es una transmisión que provee un sistema de cambios de velocidad. Este sistema de transmisión le da al perforador una gran variedad de velocidades que puede utilizar para levantar la tubería.

Los bloques y el cable de perforación. El bloque de aparejo, el bloque de corona y el cable de perforación constituyen un conjunto cuya función es soportar la carga que está en la torre o mástil mientras se mete o se saca del hoyo.

El cable de perforación generalmente está construido de cable de acero de $1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$ pulgadas (2.86 a 3.81 cm) en diámetro. El cable de acero es parecido a una soga de fibra común, pero como su nombre implica, cable de acero es hecho de alambres de acero y es bastante complejo.

Para poder utilizar el cable de acero como cable de perforación, debe ser enhebrado (fig. 2.24), ya que llega a la instalación enrollado sobre un tambor alimentador. El primer paso que se lleva a cabo para enhebrar el cable es tomar el

extremo del cable y subirlo hasta la cima del mástil o la torre donde hay un juego de poleas. Este juego de poleas se conoce como bloque de corona o corona de roldanas. Las hendiduras en el bloque se conocen como poleas o roldanas. El cable de perforación se enhebra por una de las poleas y se baja hasta el piso de la instalación. Temporalmente descansando sobre el piso de la instalación se encuentra otro juego enorme de poleas llamado el bloque de aparejo o bloque viajero. El extremo del cable se enhebra por una de las poleas de este ensamble y se sube nuevamente hacia el bloque de corona. Allí el cable se enhebra nuevamente por el bloque de corona, se vuelve a bajar y se le devuelve nuevamente hasta el bloque de aparejo donde se vuelve a enhebrar. Esta operación se lleva a cabo varias veces hasta que se logra el número correcto de enhebradas. La operación de enhebrar casi siempre se lleva a cabo antes de elevar el mástil.

El número de cables es solamente uno pero como el cable de perforación sube y baja tantas veces, da el efecto de muchos cables. El número de cables depende del peso que se va a soportar con los bloques. Mientras más peso se va a soportar, más enhebradas son necesarias y viceversa.

Una vez que la última enhebrada se ha llevado a cabo, el extremo del cable se baja hasta el piso de la instalación y se conecta al tambor del malacate. La parte del cable que sale del malacate hacia el bloque de corona se llama línea viva, viva porque se mueve mientras se sube o se baja el bloque de aparejo en la instalación. El extremo del cable que corre del bloque de corona al tambor alimentador también se asegura. Esta parte del cable se conoce como línea muerta, muerta porque no se mueve una vez que se ha asegurado. Monta

do sobre la infraestructura de la instalación se encuentra un aparato que se llama el ancla de la línea muerta. Este ancla de la línea muerta sostiene fijo al cable.

Equipo Rotatorio

El equipo rotatorio, de arriba hacia abajo, consiste de la unión giratoria, el cuadrante, la mesa rotatoria, la barra maestra y la barrena. La barra maestra, o barra de carga es el ensamble de equipo entre la unión giratoria y la barrena, incluyendo el cuadrante, la tubería de perforación y el portabarrenas (fig. 2.25). El término sarta de perforación se refiere sencillamente a la tubería de perforación y el portabarrenas.

La Unión Giratoria. Según el diccionario, una unión giratoria es un dispositivo que une dos piezas de tal manera que una o ambas puedan girar libremente. La unión giratoria para la perforación rotatoria está conectada directamente a la válvula de seguridad y por lo tanto, al cuadrante, lo que permite que la barra maestra gire. También tiene dos funciones más: sostener a la barra maestra y servir como conducto, sellado a presión, para el lodo de perforación que se bombea dentro de la misma. La unión giratoria funciona admirablemente, tanto en el desempeño de estas tres funciones, como en el alto grado con que cumple las mismas. Esta puede girar a más de 200 revoluciones por minuto, sostener cientos de toneladas y soportar presiones hidráulicas mayores a 3,000 libras por pulgada cuadrada (21 000 kPa).

Una comparación con el conjunto de la mesa rotatoria demuestra que la unión giratoria, aunque pesa la mitad, sostiene

ne la misma carga, gira al mismo tiempo y a la vez sirve de conducto para un tremendo volumen de fluido, que a gran presión circula por ella (fig. 2.26).

El Cuadrante. También llamado flecha o kelly es un tramo de tubería de forma cuadrada, hexagonal o triangular, generalmente de 40 pies (12 m) de largo, cuyo objeto es transmitir el movimiento de rotación de la mesa rotatoria a la sarta de perforación. A medida que el buje maestro de la mesa rotatoria gira, éste hace girar al buje del cuadrante. El cuadrante, que está encajado en la abertura cuadrada o hexagonal del buje del cuadrante, tiene que girar también. Luego como la tubería de perforación está conectada a la base del cuadrante, está también tiene que girar. Además de transmitir el movimiento rotatorio, el cuadrante es parte del sistema conductor del lodo de perforación que se bombea dentro del hoyo.

Cuando la unión giratoria quede suspendida cerca de la mesa rotatoria, se sube la sarta de perforación para desconectar el cuadrante de la junta superior de tubería. La barrena queda ahora levantada del fondo del hoyo una distancia equivalente a la longitud del cuadrante. Luego se conecta otra junta de tubería al cuadrante, se levanta y se integra a la sarta de perforación. La barrena se vuelve a bajar al fondo y la nueva junta ocupa ahora el lugar que ocupaba el cuadrante. El cuadrante está listo para seguir perforando hasta que la unión giratoria llegue nuevamente hasta la mesa rotatoria (fig. 2.27). La operación de añadir una nueva sección de tubería entonces se vuelve a repetir.

Los cuadrantes pueden medir de 37 a 54 pies (11.28 a -

16.46 m), pero 40 pies (12.28 m) es el tamaño normal. Frecuentemente se colocan dos válvulas en cada extremo del cuadrante. La primera, en el extremo superior del cuadrante se denomina válvula de seguridad superior del cuadrante.

La otra se coloca en el extremo inferior y se denomina válvula de seguridad inferior del cuadrante. Una o ambas válvulas pueden cerrarse para impedir que la presión ascendente proveniente del interior de la barra maestra penetre al cuadrante o a la manguera de lodo.

Durante la perforación, el cuadrante tendrá que conectarse a cada tramo de tubería de la sarta de perforación, produciéndose así un desgaste considerable en las roscas de la espiga que se encuentran en el extremo inferior del cuadrante. Para evitar este desgaste, se debe emplear un sustituto del cuadrante. El sustituto del cuadrante es una sección corta de tubería con un macho (espiga) y una hembra (caja) - cuyos extremos tienen roscas (fig. 2.28). Este tramo corto de tubería de perforación se enrosca al sustituto en lugar que al cuadrante. Cuando las roscas del sustituto se desgastan o se deterioran, simplemente se cambia el sustituto con uno nuevo, prolongando de este modo la vida útil del cuadrante.

Aparte del daño a las roscas, existen otras tres condiciones que pueden obligar que el cuadrante sea retirado del servicio: (1) torcedura o doblamiento, (2) fatiga en la sección de impulsión del buje del cuadrante y (3) redondeamiento de las esquinas de impulsión.

La Mesa Rotatoria. La mesa rotatoria cumple dos funciones: gira y sostiene. Primero, hace girar la sarta de perforación.

ración con todos los accesorios que estén conectados a su extremo inferior. Cuando la perforación avanza, la mesa rotatoria gira hacia la derecha, es decir, en la dirección, o sentido, de las manecillas del reloj. Luego, cuando se extrae la tubería del hoyo, la mesa rotatoria sostiene la sarta de perforación con cuñas durante durante los intervalos cuando la tubería no está suspendida del gancho.

La mesa rotatoria sostiene la sarta de perforación sobre el hoyo mientras las tenazas de desenrosque (u otras herramientas) desconectan una unión de tubería vástago con un movimiento hacia la izquierda, o contra el sentido de las manecillas del reloj. Cuando la unión está floja, si no se dispone de tenazas giratorias, se hace girar la mesa rotatoria hacia la derecha para desconectar la parada de tubería de la de perforación suspendida en la mesa rotatoria. La parada luego se estiba en el encuelladero, mientras que la mesa rotatoria continúa sosteniendo la sarta de perforación en el hoyo.

Cuando llega el momento el reintroducir la tubería en el hoyo, el procedimiento es parecido. Primero, se fija la mesa rotatoria para que esté no gire, y luego, la cadena de enroscar (o las tenazas giratorias) hace girar la parada suspendida hasta apretarla y las tenazas de contrafuerza, junto con el cable de las tenazas y el cabrestante de enroscar, aplican la debida torsión para dar a la tubería el debido apriete. Cuando la barrena llega nuevamente al fondo del hoyo la mesa giratoria vuelve a girar, variando su velocidad de 40 a 200 revoluciones por minuto (r/min). A medida que el hoyo se va profundizando, el cuadrante baja a través de los bujes que van montados en las aberturas de la mesa.

Las mesas rotatorias en uso a principios de este siglo eran bastante parecidas, en su diseño, a las que se usan actualmente. Las de entonces tenían los mismos rasgos básicos y podían hacer el mismo trabajo, aunque más lentamente y con cargas menos pesadas. Esas mesas rotatorias eran de construcción abierta, es decir, sin cubierta protectora y estaban expuestas a que los fluidos de perforación se derramaran desde arriba o brotaran desde abajo. Para que la placa giratoria no rebotara y se saliera de su lugar, estaba asegurada al conjunto por medio de cuatro muñones. El eje impulsor estaba montado en cojinetes tipo chumacera de metal antifricción. La lubricación consistía en untar un poco de grasa en los engranajes cónicos que quedaban al descubierto debajo -- del perímetro de la placa giratoria. Las superficies de trabajo quedaban peligrosamente resbalosas.

Las únicas partes al descubierto en las mesas rotatorias modernas son las placas protectoras y el extremo de la rueda dentada del eje impulsor de la mesa rotatoria. La mesa rotatoria tiene una superficie relativamente plana y limpia, con un andadero antideslizante para mejor seguridad de la cuadrilla. Los dispositivos para la lubricación, tales como engrasadores, varilla medidora, tapón de relleno y tapón de drenaje del depósito de aceite, quedan colocados en cavidades en la estructura misma, fuera de la zona donde éstos pudieran sufrir daños.

Los accesorios empleados con la mesa rotatoria para llevar a cabo su función de hacer girar las herramientas en el hoyo y sostener la sarta de perforación mientras se hacen conexiones o carreras, son (1) el buje de transmisión del cuadrante, (2) el buje maestro y (3) las cuñas.

El Buje de Transmisión del Cuadrante. Es un dispositivo que va colocado directamente sobre la mesa rotatoria, y por medio del cual pasa el cuadrante. Está acoplado al buje maestro, que es, en efecto, parte de la mesa rotatoria (fig. 2.29). El acoplamiento se efectúa ya sea (1) por medio de pasadores impulsores fijados en la base del buje del cuadrante y que encajan en orificios perforados en la parte superior del buje maestro (fig. 2.30) o (2) por medio de un resalto cuadrado en la base del buje de transmisión del cuadrante, que encaja en el correspondiente nicho cuadrado del buje maestro. El resultado de este acoplamiento es que, cuando la mesa rotatoria gira, hace girar el buje del cuadrante; el buje del cuadrante a su vez, hace girar al cuadrante y éste, hace girar toda la sarta de perforación. Cuando el cuadrante se desconecta de la sarta de perforación y se coloca en la ratonera, el buje del cuadrante se transporta junto con éste.

El buje de transmisión del cuadrante viene equipado con rodillos que permiten que el cuadrante pueda subir o bajar libremente, esté o no la mesa rotatoria en movimiento. Puesto que los cuadrantes pueden ser cuadrados, hexagonales o triangulares, los bujes son diseñados para cualquiera de estas formas, o pueden tener un diseño especial que les permita adaptarse a cualquier forma de cuadrante, por medio de un cambio de rodillos. (fig. 2.31).

El Buje Maestro. Es un dispositivo que va colocado directamente en la mesa rotatoria y sirve para acoplar el buje de transmisión del cuadrante con la mesa rotatoria, de tal manera que el impulso de rotación, o torsión, de la mesa rotatoria pueda ser transmitido al cuadrante y así pueda hacer

girar a la sarta de perforación. También proporciona la superficie ahusada, o cónica, necesaria para sostener las cuñas cuando éstas sostienen la tubería (fig. 2.32).

Los bujes maestros pueden estar contruidos de tres maneras distintas:

1. Dividido: construido en dos mitades con superficies maquinadas para formar el ahusamiento requerido para acomodar las cuñas (fig. 2.33).

2. Macizo: construido de una sola pieza, con el ahusamiento para las cuñas maquinado en la superficie de tazones especiales, los cuales son intercambiables para adaptarse a tuberías hasta de $13\frac{3}{8}$ pulgadas (340 mm), mediante el uso de las cuñas apropiadas (fig. 2.34).

3. Abisagrado: construido en dos mitades abisagradas la una con la otra por medio de dos pasadores grandes. Igual que con el tipo macizo, estos bujes tienen el ahusamiento para acomodar a las cuñas maquinado en las superficies de tazones intercambiables que van colocados dentro de cada mitad.

El mantenimiento adecuado a los bujes maestros y las cuñas constituye un método muy eficaz para evitar que se produzcan cortes, rajaduras y embotellamientos en la tubería de perforación. El mantenimiento evita la degradación y el desecho innecesario de la tubería y reduce al mínimo los derrumbamientos u otras fallas hoyo abajo. Los efectos de mesas rotatorias, bujes maestros y cuñas desgastadas pueden verse en (fig. 2.35). La tubería de perforación sufre deterioros bajo estas condiciones extremas, y hasta bajo condiciones menos adversas. Aunque la ilustración muestra un buje maestro dividido, después de varios años se producirá un efecto pare-

cido en los tazones y casco exterior de un buje maestro macizo o abisagrado. El uso de un nuevo buje maestro dividido en una mesa con desgaste en su diámetro interior permite que la parte inferior de éste se abra (fig. 2.36). El problema puede solucionarse de dos maneras: (1) aumentando el diámetro interior de la mesa rotatoria o (2) usando un buje maestro macizo, el cual no necesitará el respaldo del diámetro interior de la mesa.

Las Cufias. Son piezas de metal ahusado con dientes u otros dispositivos de agarre. Estás se emplean para sostener la tubería en la mesa rotatoria y para evitar que se resbale hacia dentro del hoyo cuando se está conectando o desconectando la tubería. Las cufias encajan alrededor de la tubería. y se calzan contra el ahusamiento del buje maestro. Las cufias rotatorias se usan exclusivamente con tubería de perforación. Existen otros tipos de cufias para el manejo de portabarreras o tubería de revestimiento. La acción presionadora de las cufias en el buje maestro cambia la dirección de la fuerza vertical (hacia abajo) ejercida por la sarta de perforación y la convierte en fuerza lateral o transversal, contra la tubería (fig. 2.37).

Las Tenazas. Se usan conjuntamente con las cufias para hacer conexiones de tubería y para hacer carreras. Cuando las tenazas no están en uso, deben quedar colgadas cerca de la mesa rotatoria. Dos juegos de tenazas son necesarios para conectar y desconectar la tubería y se les denomina según el modo en que son usadas. Cuando se emplean para hacer una conexión mientras se está metiendo la tubería en el hoyo, a las tenazas que quedan a la derecha del perforador se les denomi

na de enrosque, o apriete, y a las de la izquierda se les de-
nomina de contrafuerza, o aguente; éstas últimas impiden que
la tubería gire. Para iniciar el enrosque se emplea la cade-
na de enroscar, si no se dispone de tenazas de potencia. --
Quando se está sacando la tubería del hoyo, las tenazas de -
la derecha son las de contrafuerza y las de la izquierda son
las de desenrosque, o las de aflojar.

La Barra Maestra. O barra de carga, es el ensamble de -
equipo entre la unión giratoria y la barrena, incluyendo el
cuadrante, la tubería de perforación y el portabarrenas. El
término sarta de perforación se refiere sencillamente a la -
tubería de perforación y el portabarrenas; sin embargo, sar-
ta de perforación a menudo se utiliza refiriéndose a todo el
ensamble, (fig. 2.39).

Tubería de perforación. La tubería de perforación es un
tubo de acero o aluminio usado para transmitir energía rota-
toria y fluido de perforación a la barrena situada al fondo
del pozo.

Cada pieza de la tubería de perforación puede tener un
diámetro exterior que varía entre $2\frac{3}{8}$ y $6\frac{5}{8}$ de pulgada (60.4 y
168.3 mm). La tubería de perforación también se fabrica en -
longitudes estándar divididas en los rangos siguientes:

Rango 1-18 a 22 pies (5.47 a 6.71 m)- obsoleto,

Rango 2-27 a 30 pies (8.23 a 9.14 m), y

Rango 3-38 a 45 pies (11.58 a 13.72 m).

Las longitudes no incluyen la unión de la tubería que
va fija en cada extremo. La unión de tubería es un accesorio
especial con enroscado que se agrega a los extremos de cada

sección de tubería de perforación, permitiendo así conectar las secciones de tuberías para armar la sarta de perforación

La causa más común de fallas en la tubería de perforación es la fatiga, y ésta sucede a menudo en mellas superficiales como son los cortes producidos por las cuñas, los desgarrones ocasionados en el metal al girar la tubería entre las cuñas o las picaduras de corrosión profundas en el diámetro interior de la tubería.

Los Portabarrenas. Los portabarrenas son tubos de acero pesados, de paredes gruesas, con conexiones de rosca en ambos extremos. La mayoría de los portabarrenas regulares son redondos y tienen aproximadamente 30 pies (9 m) de longitud; sin embargo, también pueden ser cuadrados o en forma de espiral. Los de forma espiral son empleados principalmente en pozos de diámetro pequeño y en la perforación direccional para prevenir la pegadura diferencial en el pozo, donde facilitan el paso para que el fluido de perforación salga y alivie la presión diferencial. Los portabarrenas son empleados principalmente en la perforación de pozos rectos como parte del conjunto de pozo empacado, manteniendo así el pozo en curso. Además de los portabarrenas empleados comúnmente, existen otros de tipo rosquilla, otros con ranuras para cuñas, otros con hombros para los elevadores, otros con revestimiento duro y otros tipos para usos especiales.

Una sarta de portabarrenas - dos o tres en algunas áreas o un número diez veces mayor en otras - lleva a cabo varias tareas:

1. proporciona peso a la barrena para perforar,
2. mantiene el peso para impedir que la sarta de perfora

ción sea sometida a fuerzas de pandeo,

3. ayuda a proveer el efecto de péndulo para hacer que la barrena perfora un pozo más cercano a la vertical, y

4. ayuda a soportar y estabilizar la barrena de manera que perfora el nuevo hoyo alineado con el pozo ya perforado (fig. 2.38).

Los Auxiliares de la Barra Maestra. Se emplean varios dispositivos auxiliares con la barra maestra, tales como sustitutos de la barra maestra, amortiguadores de vibraciones, sustitutos de izaje, estabilizadores, escariadores, limpiadores de tubería y protectores. Todos deben recibir un cuidado adecuado e inspecciones a intervalos regulares.

Un sustituto es una sección corta de tubería con rosca en ambos extremos que se usa para conectar diversas partes del conjunto de perforación para realizar diferentes finalidades (fig. 2.40):

El sustituto del cuadrante. El sustituto del cuadrante se denomina así porque su empleo reduce el desgaste de las roscas del cuadrante. Se encuentra acoplado al cuadrante, y dentro de él se enrosca la sección superior de tubería de perforación. Para reducir el desgaste del cuadrante y la parte superior del revestimiento del pozo, generalmente se emplea un protector de revestimiento de caucho en el sustituto del cuadrante.

Otros sustitutos de la barra maestra. El sustituto de enlace se emplea entre dos clases o tipos de roscas en el conjunto de la barra maestra. El sustituto del portabarrenas sirve para el mismo propósito, pero va colocado entre la sarta de perforación y el conjunto de los portabarrenas. El sus

tituto de la barrena sirve de adaptador entre los portabarrenas y la barrena. La mayoría de los sustitutos tienen - roscas de espiga y de caja, pero también se utilizan sustitutos de doble caja.

La Barrena. La barrena (fig. 2.41), y el modo en que ésta lleva a cabo su labor, son factores de gran importancia en la perforación. Mientras la barrena está en el fondo del hoyo, perforando, está ganando dinero. La eficacia con que la barrena perfora depende de varios factores. Entre estos factores se incluyen el estado físico de la barrena, el peso que se aplica sobre ésta para que perfore y la velocidad con que es puesta a girar. La acción del fluido de perforación también influye sobre el rendimiento de la barrena. El fluido de perforación debe enfriar y lubricar a la barrena. Además, tiene que desalojar a los ripios cortados por la barrena, y levantarlos por el espacio anular hacia la superficie. Una barrena debe tener la capacidad para perforar un hoyo de diámetro completo durante el tiempo total que está perforando en el fondo del mismo. Si se desgastan los lados de la barrena, ésta perforará un hoyo de diámetro reducido, el cual puede ocasionar problemas. Uno de los problemas surge cuando una barrena nueva entra al hoyo y se atasca en la sección del mismo de diámetro reducido, lo cual puede resultar en que la nueva barrena se dañe.

Los tres tipos de barrena utilizados en la perforación rotatoria son barrenas de rodillos, barrenas de diamantes, - y barrenas de arrastre o de fricción.

Cuando se logra el mayor rendimiento posible de una barrena se reducen los costos y se disminuye el número de ce--

rreras necesarias para cambiar las barrenas.

Las Barrenas de Rodillos. En las antiguas barrenas para roca los conos no engranaban; es decir, los dientes de uno de los conos no entraban en los espacios de los dientes del otro cono. Debido a esto, la barrena se atoraba, o "embolaba" en las formaciones de lutita blandas por falta de una acción limpiadora de los dientes.

La barrena de tres conos fue introducida durante la década de los años treinta. Se caracterizaba por la inclusión de cojinetes que se lubricaban con el lodo de perforación y por un diseño de dientes capaces de perforar una gama de formaciones entre blandas, duras y abrasivas. En su apariencia exterior estas barrenas son muy semejantes a las que hoy en día existen; sin embargo, se han logrado muchos adelantos en en diseño, metalúrgica y construcción. Cabe señalar específicamente cuatro adelantos:

1. el cambio de los conductos para fluido de perforación por toberas de chorro (fig. 2.42);
2. la introducción de los insertos de carburo de tungsteno, remplazando a los dientes de acero;
3. el empleo de cojinetes lubricados sellados; y
4. el empleo de la chumacera (cojinete de fricción).

Se han diseñado varios tipos de barrenas, de modo que cada una dé énfasis a una característica especial requerida para la perforación de un tipo especial de formación.

Las barrenas de diamantes no tienen conos ni dientes. En vez de éstos, varios diamantes se encrustan en el fondo y los lados de la barrena. Ya que los diamantes son tan du-

ros, las barrenas de diamante son especialmente efectivas - para perforar formaciones duras; sin embargo, también pueden ser utilizadas efectivamente en formaciones blandas. (fig. 2.43).

El Sistema de Circulación del Lodo. Una de las características esenciales de un sistema de perforación rotatorio - es el sistema de circulación, también conocido como el sistema de lodo (fig. 2.44). Para que el sistema de perforación rotatorio pueda funcionar, es indispensable circular fluido a través de la sarta de perforación y por el espacio anular entre la sarta de perforación y la pared del hoyo o la tubería de revestimiento.

Los propósitos principales del fluido de perforación - son:

- (1) limpiar el fondo del hoyo;
- (2) enfriar la barrena;
- (3) sacar los rípios del hoyo;
- (4) soportar las paredes del hoyo para que no se derrumben; y
- (5) evitar que fluidos de las formaciones entren al hoyo.

El fluido de circulación usualmente es un líquido, pero también puede ser aire o gas.

Equipo Neumático.

El único cambio que existe con respecto al otro equipo de perforación es que en lugar de utilizar una bomba de lodos se utiliza un compresor. Para perforar se emplean barrenas tricónicas o martillos neumáticos con barrenas de insertos de carburo de tungsteno.

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 barrena la acción percusiva y no a través de la sarta de perforación.

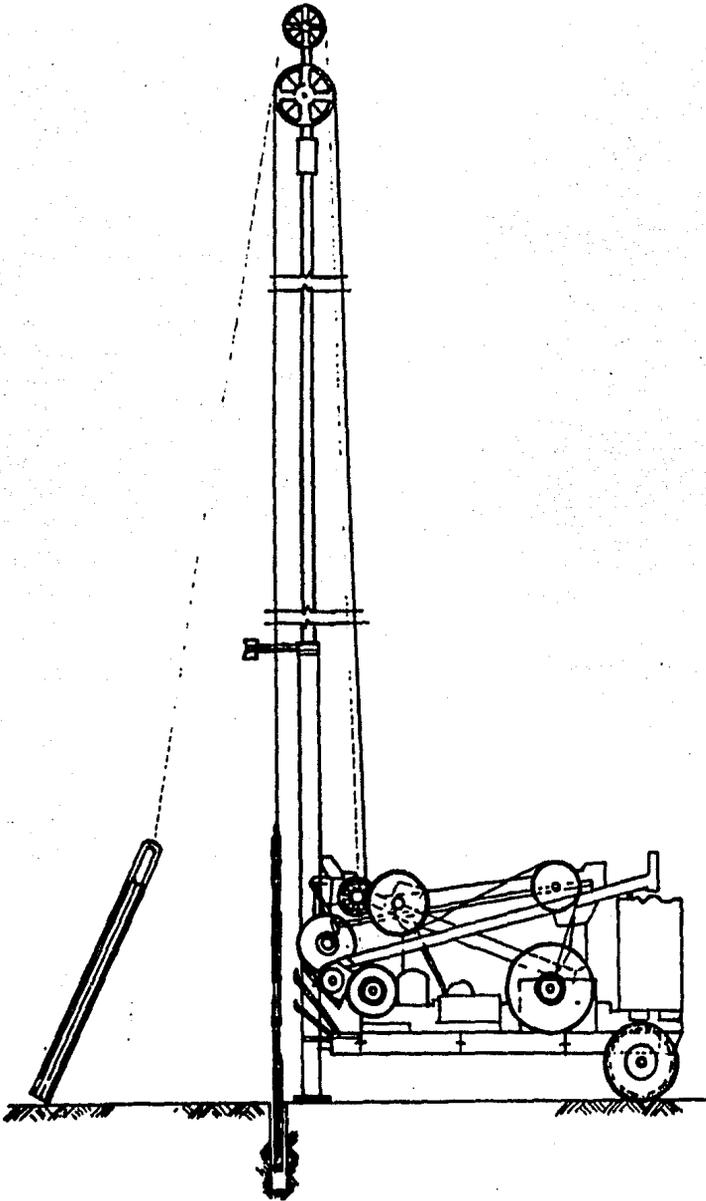
La velocidad recomendable del aire en el espacio anular es de 4,000 pies por minuto o mayor; ésta es controlada por el consumo de aire de la herramienta y los diámetros de la barrena y tubería de perforación.

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

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

Las barrenas empleadas con los martillos, tienen insertos de carburo de tungsteno. Cuando no se emplea el martillo, se usan barrenas tricónicas convencionales; la sarta de perforación es la misma que la del equipo rotatorio.

EQUIPO DE PERCUSION
MODELO ACTUAL



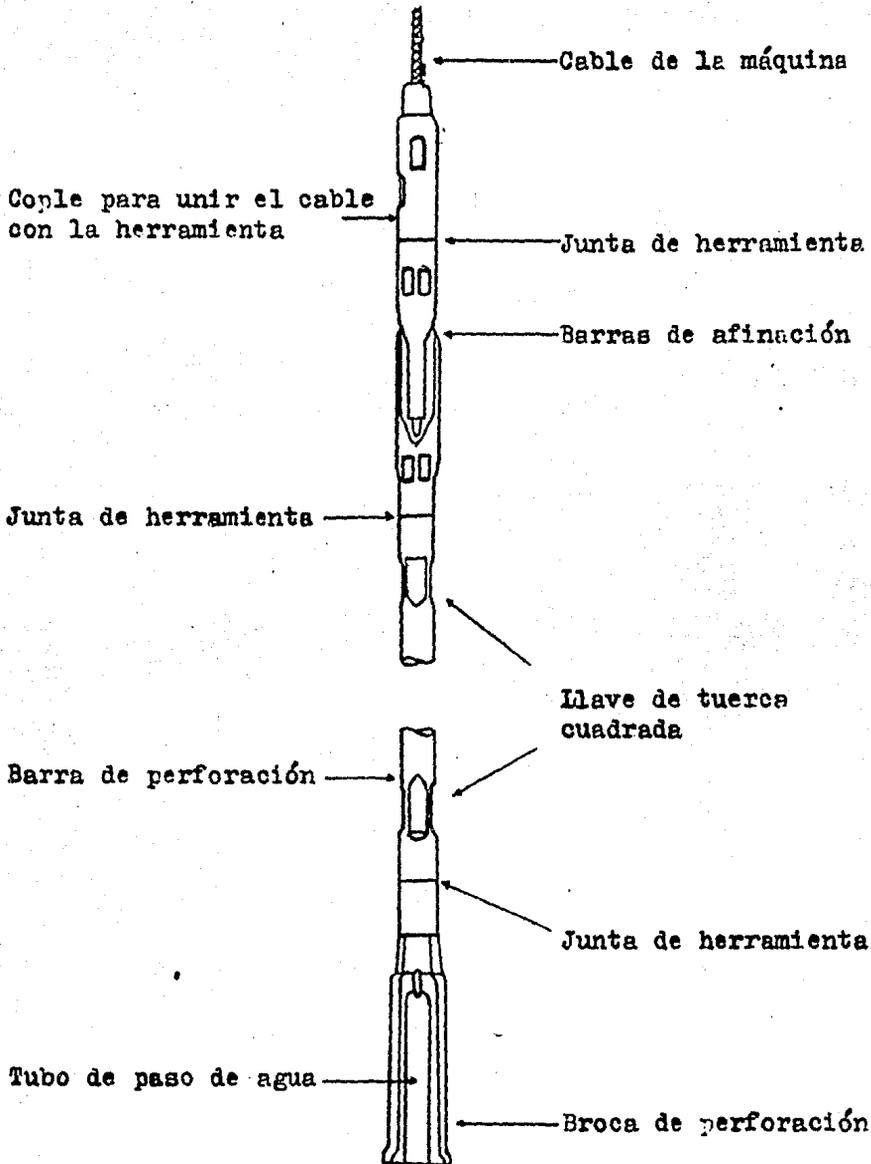


Fig. 2.1

En está figura puede verse los cuatro componentes de la herramienta de perforación utilizados en el método de percusión.

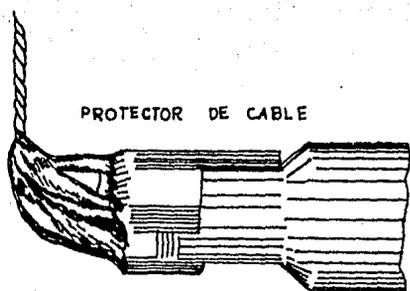


FIG. 2.2

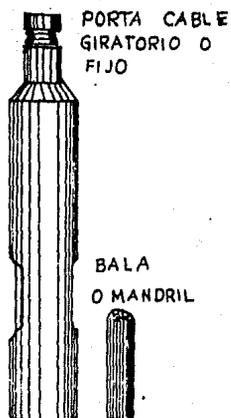


FIG. 2.3

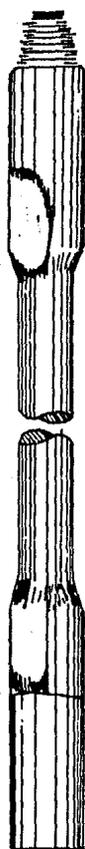


FIG. 2.5
BARRETON O
BARRA MAESTRA

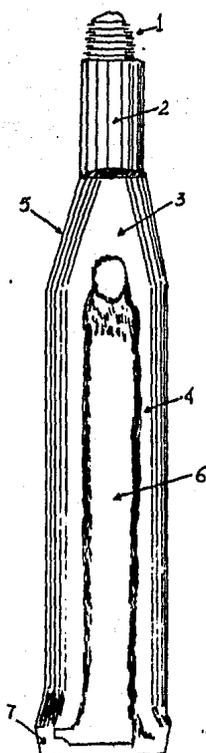


FIG. 2.6
TREPANO



FIG. 2.4
TIJERAS DE PERFORACION
O PESCA

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

FIG. 2.7

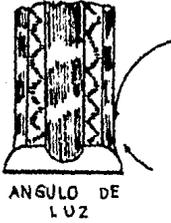


FIG. 2.8

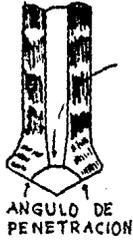


FIG. 2.9

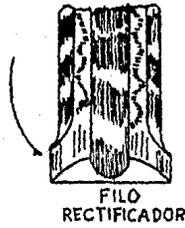


FIG. 2.10

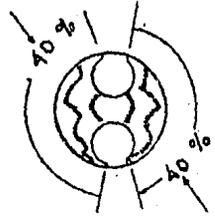


FIG. 2.15



FIG. 2.15

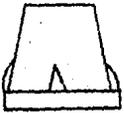
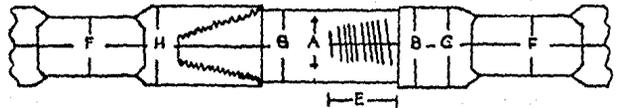


FIG. 2.15



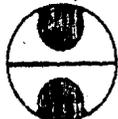
- A-B: Tamaño nominal de la unión
- C: Número de hilos por pulgada
- E: Longitud del hilo macho (piñón)
- F: Tamaño del cuadro para llave
- G: Diámetro cuello hilo macho (piñón)
- H: Diámetro cuello hilo hembra (caja)

FIG. 2.11



SUPERFICIE DE TRITURACION

FIG. 2.12



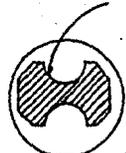
RASOS DE AGUA

FIG. 2.13



PERFIL DEL ANGULO DE PENETRACION

FIG. 2.14



SECCION TRANSVERSAL DEL TREPANO

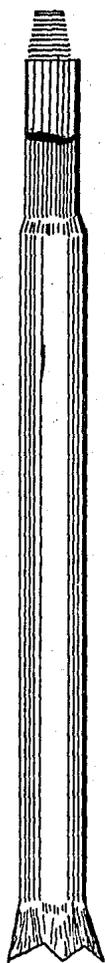


FIG. 2.16



FIG. 2.17

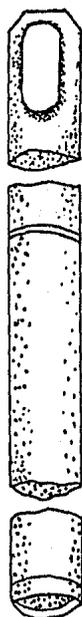


FIG. 2.18



FIG. 2.19



FIG. 2.20

TARIMA DE OPERACIONES

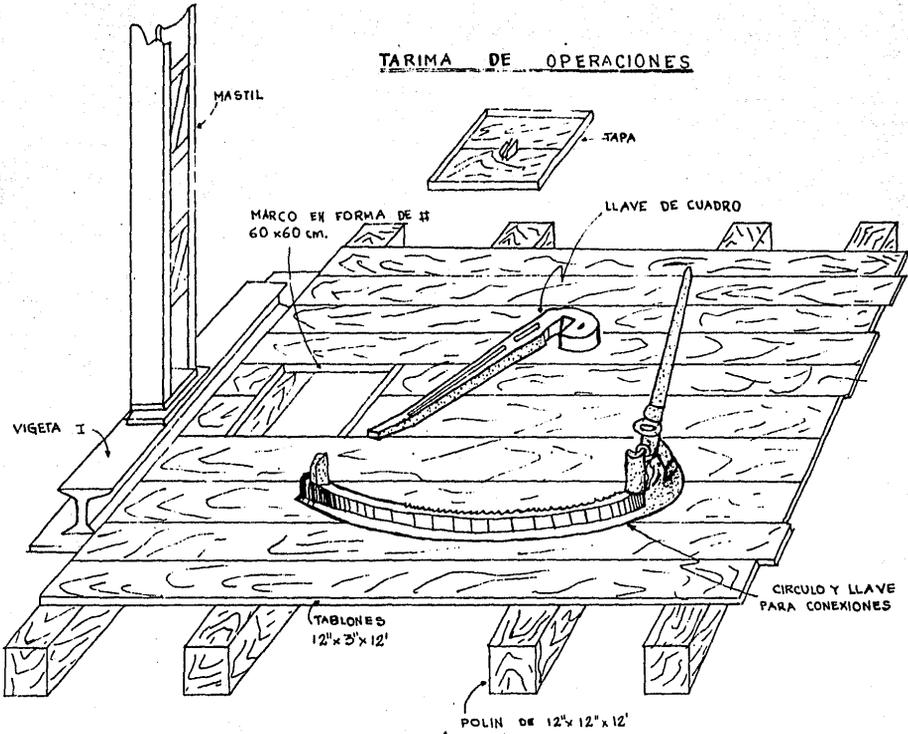
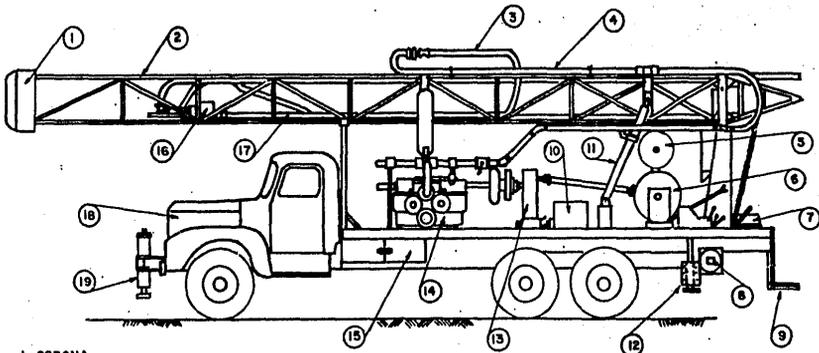


FIG. 2.21

**EQUIPO ROTATORIO
AUTO-TRANSPORTADO**



1--CORONA

2--MASTIL

3--MANGUERA DE PRESION

4--STAND PIPE

5--TAMBOR DE CUCHAREO

6--TAMBOR DE PERFORACION

7--MESA ROTARIA

8--PULLDOWN

9--PLATAFORMA

10--TRANSMISION HIDRAULICA

11--CILINDROS HIDRAULICOS

12 Y 19--GATOS NIVELADORES

13--CAJA DE TRANSMISION

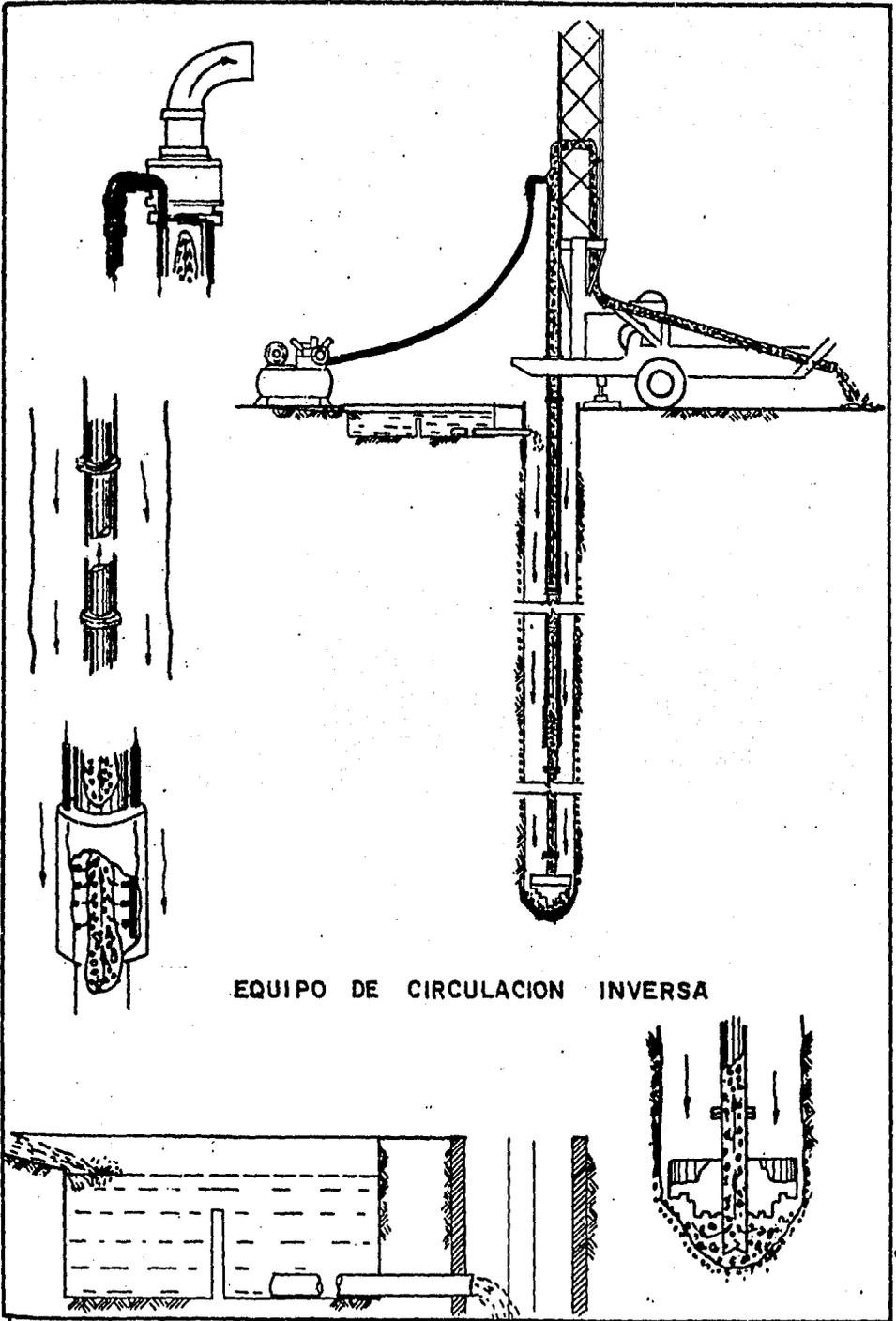
14--BOMBA DE LODOS

15--CAJA DE HERRAMIENTAS

16--SWIVEL

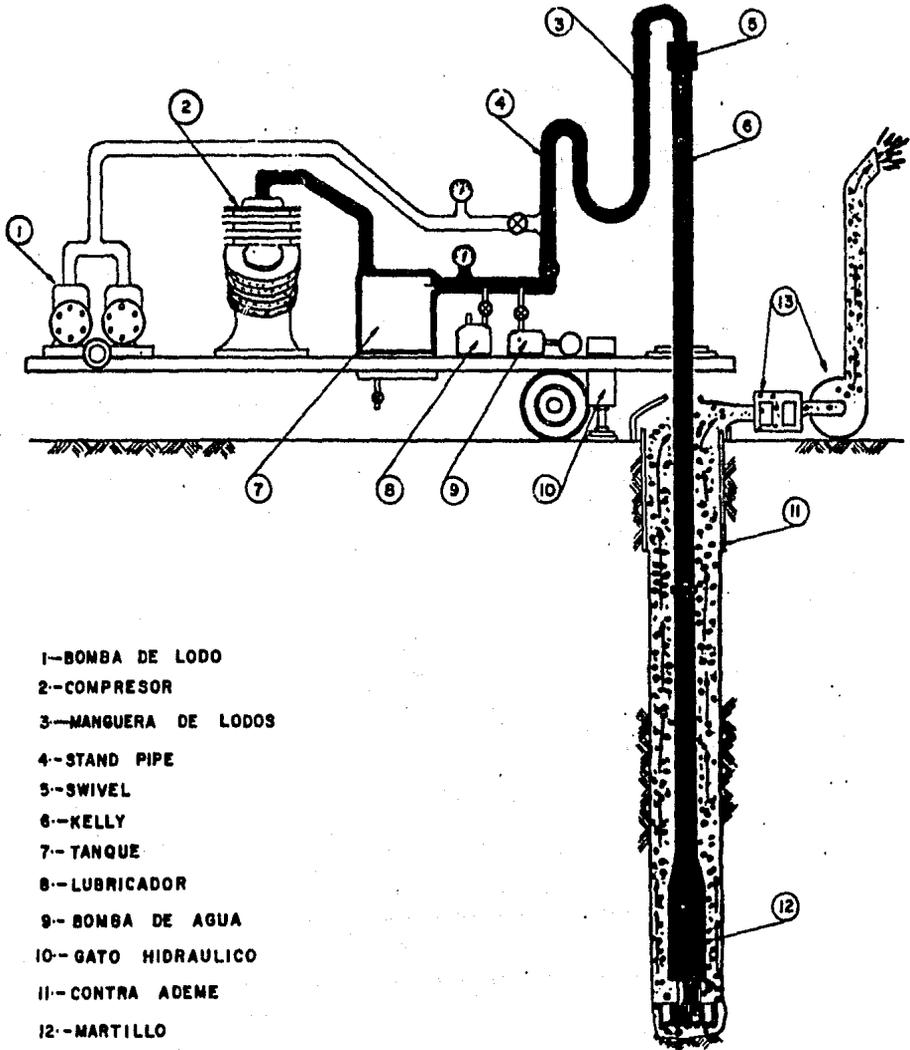
17--KELLY

18--UNIDAD DE POTENCIA

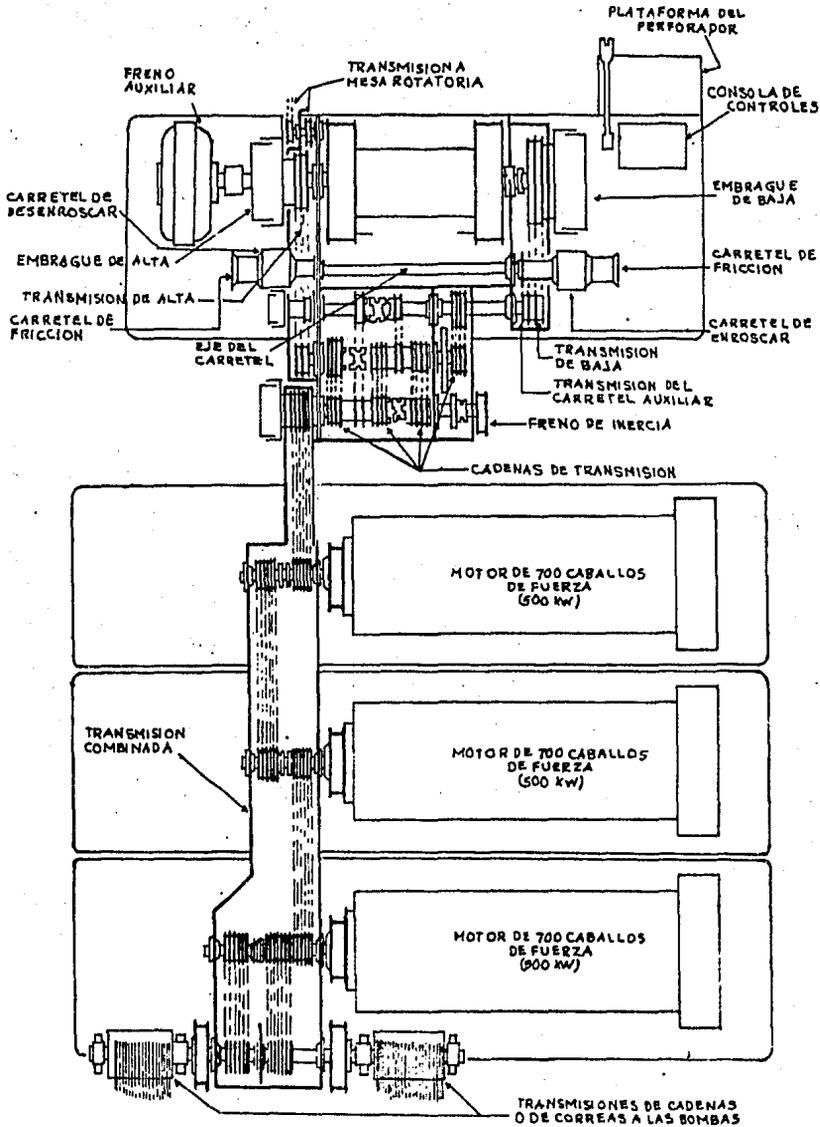


EQUIPO DE CIRCULACION INVERSA

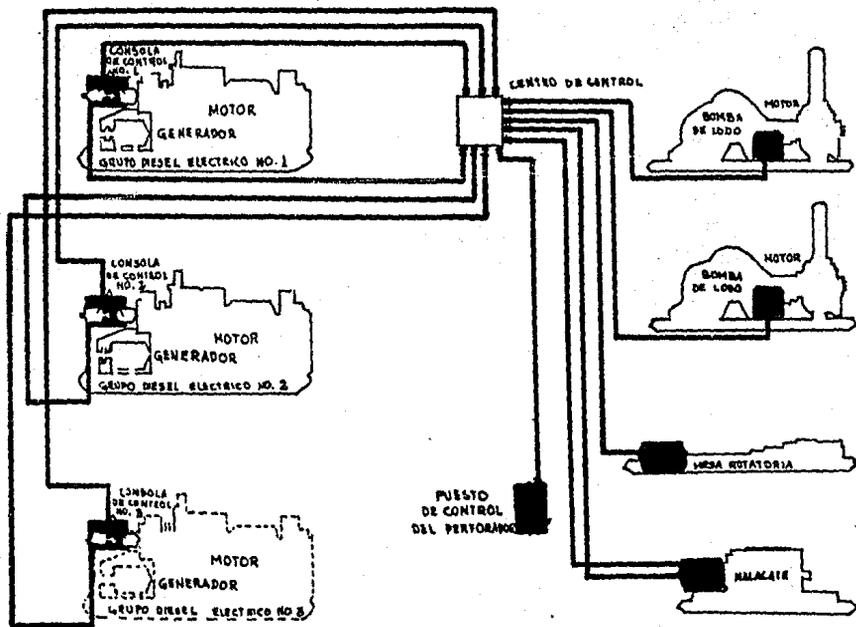
ESQUEMA DE UN EQUIPO ROTATORIO NEUMATICO



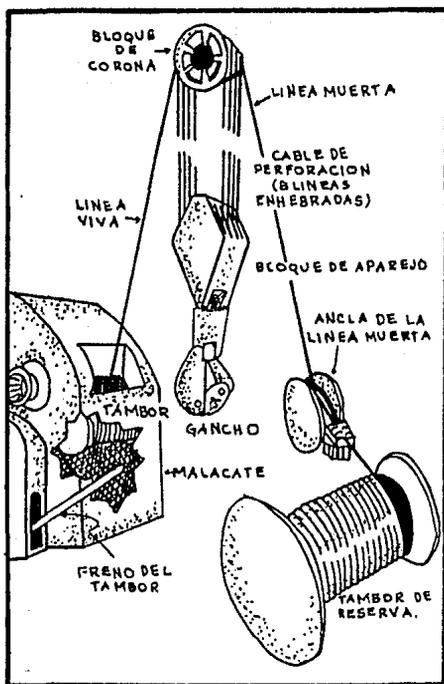
- 1--BOMBA DE LODO
- 2--COMPRESOR
- 3--MANGUERA DE LODOS
- 4--STAND PIPE
- 5--SWIVEL
- 6--KELLY
- 7--TANQUE
- 8--LUBRICADOR
- 9--BOMBA DE AGUA
- 10--GATO HIDRAULICO
- 11--CONTRA ADEME
- 12--MARTILLO
- 13--COLECTOR DE POLVOS



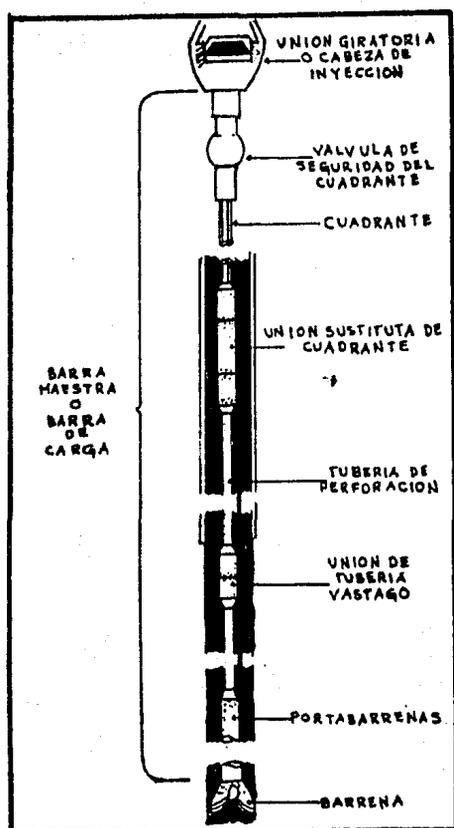
(fig. 2.22). Una transmisión compuesta por varios motores con transmisión a cadena para una instalación mecánica.



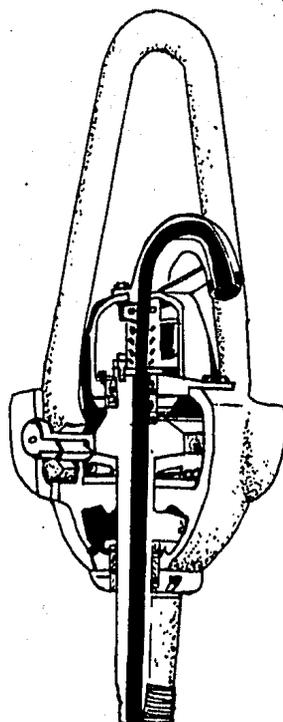
(fig. 2.23). Un sistema de transmisión Diesel - eléctrico para una instalación mecánica.



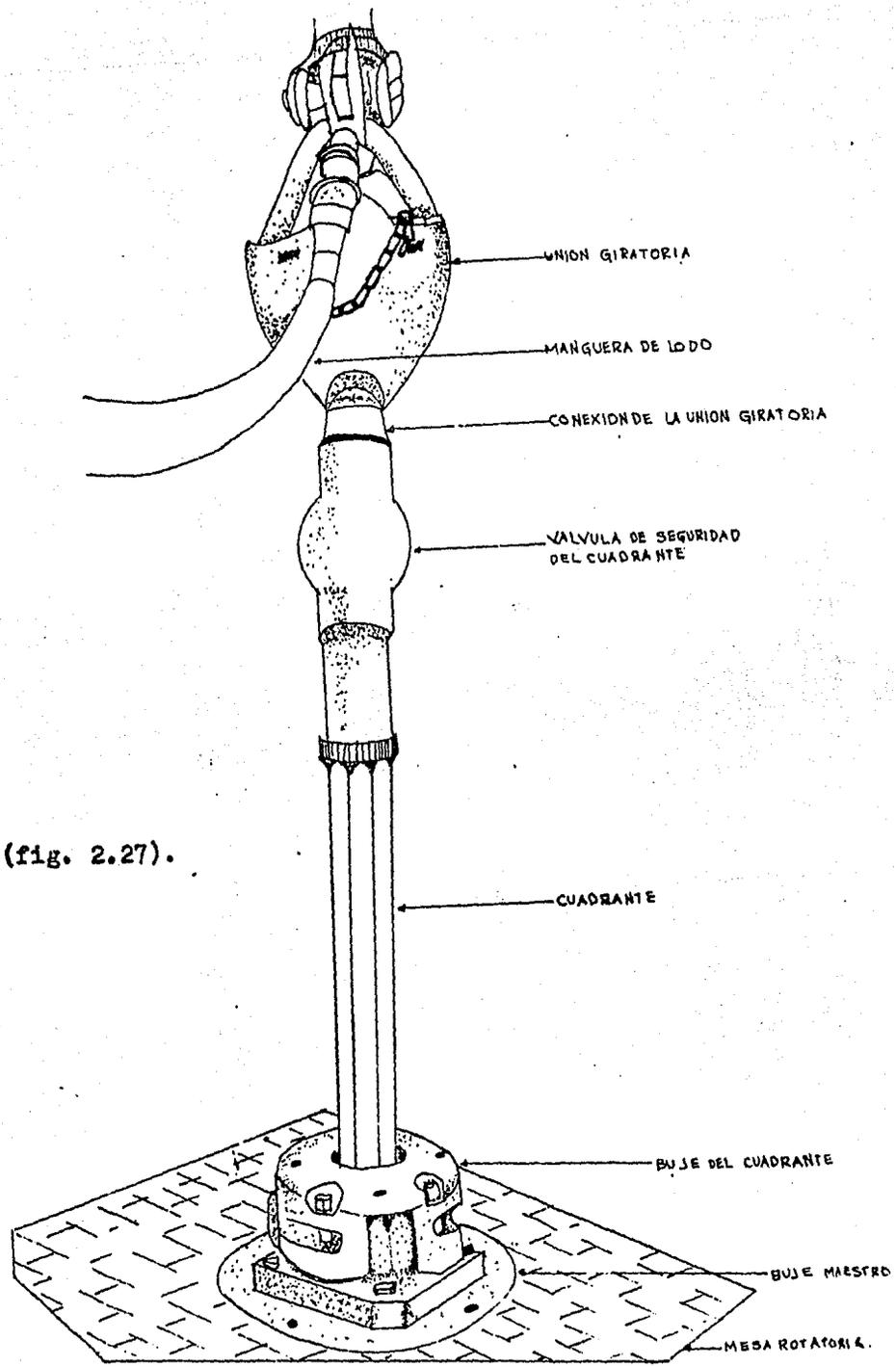
(fig. 2.24).



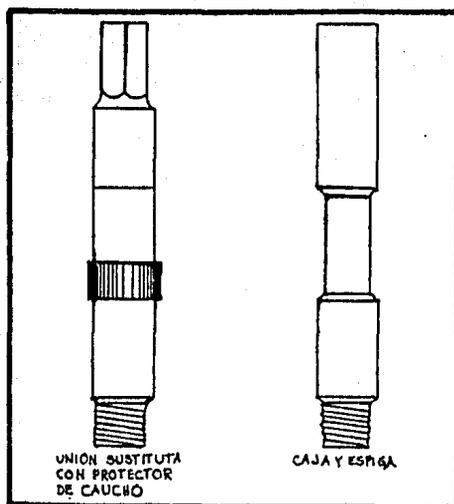
(fig. 2.25).



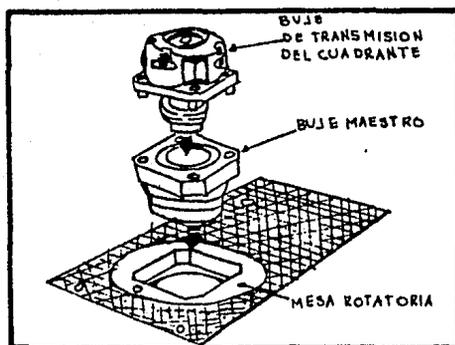
(fig. 2.26).



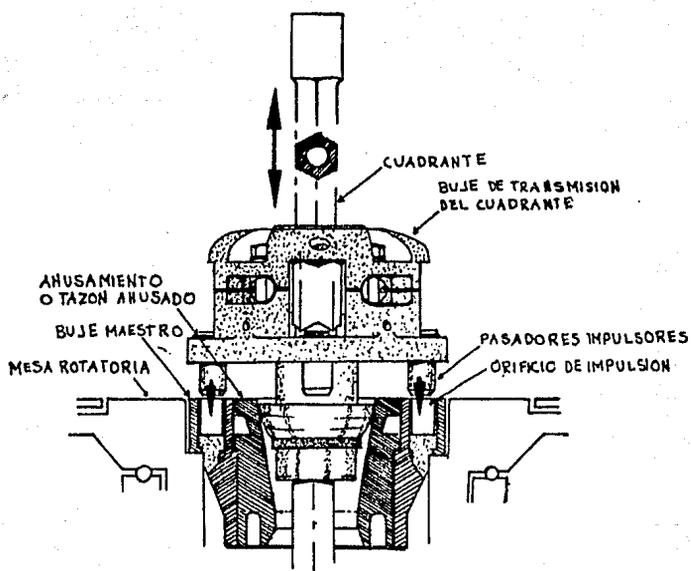
(fig. 2.27).



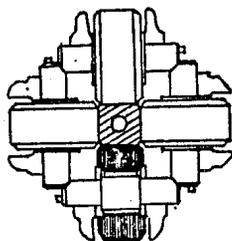
(fig. 2.28).



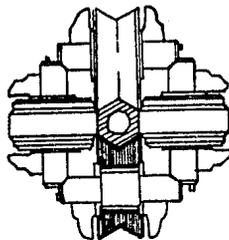
(fig. 2.29).

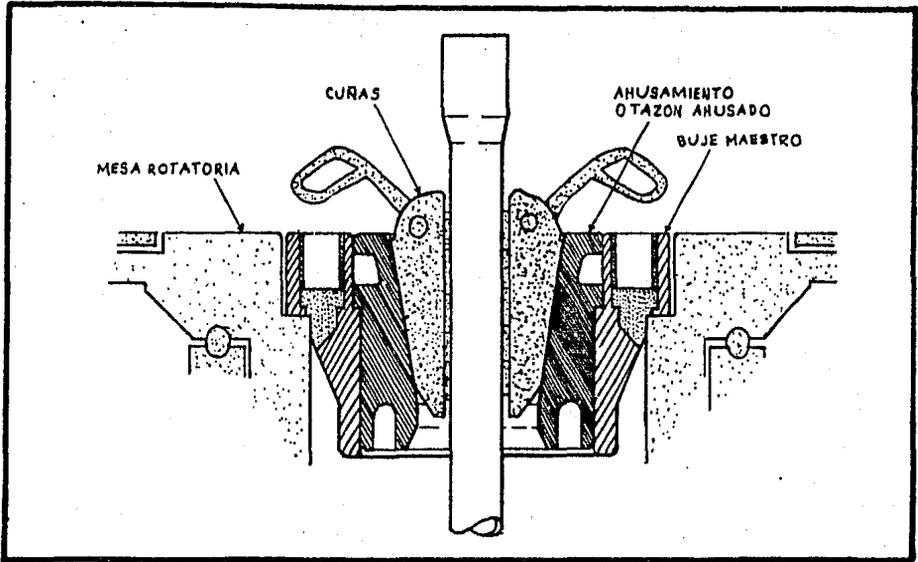


(fig. 2.30).

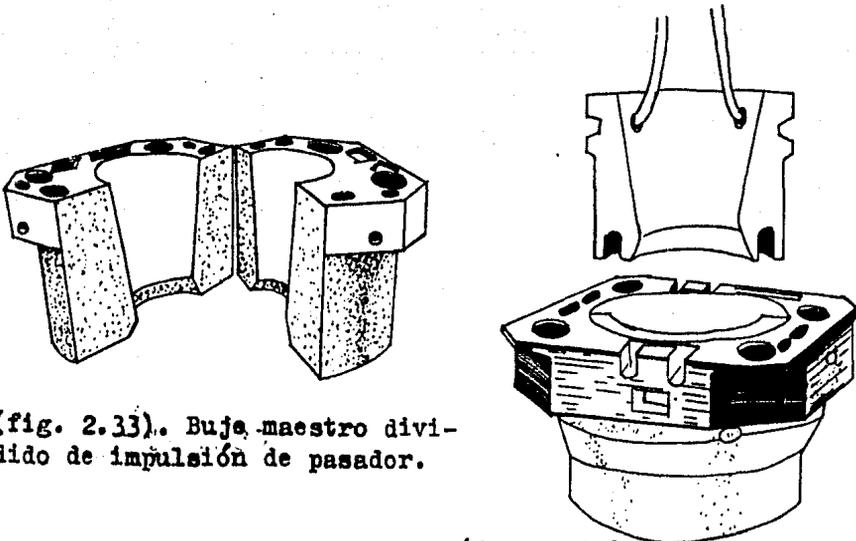


(fig. 2.31).



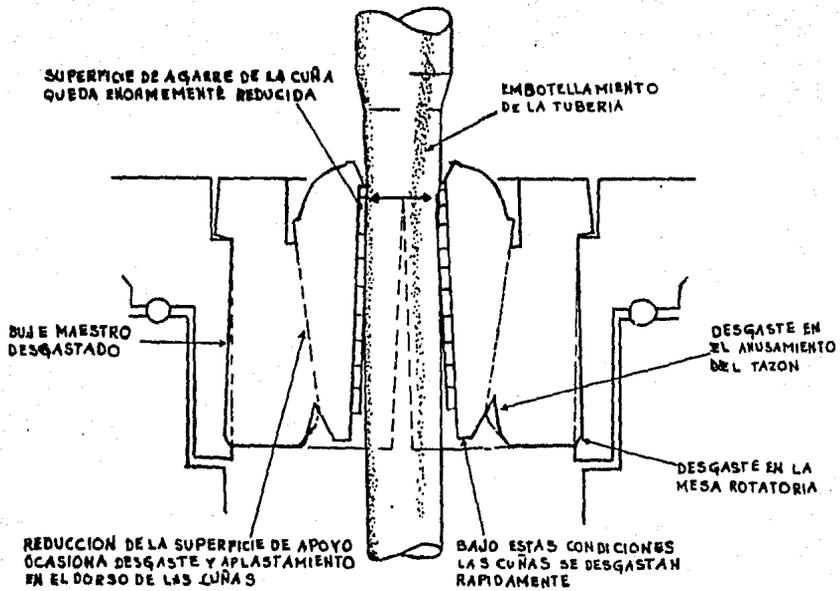


(fig. 2.32). Buje maestro con ahusamiento para sostener las cuñas.

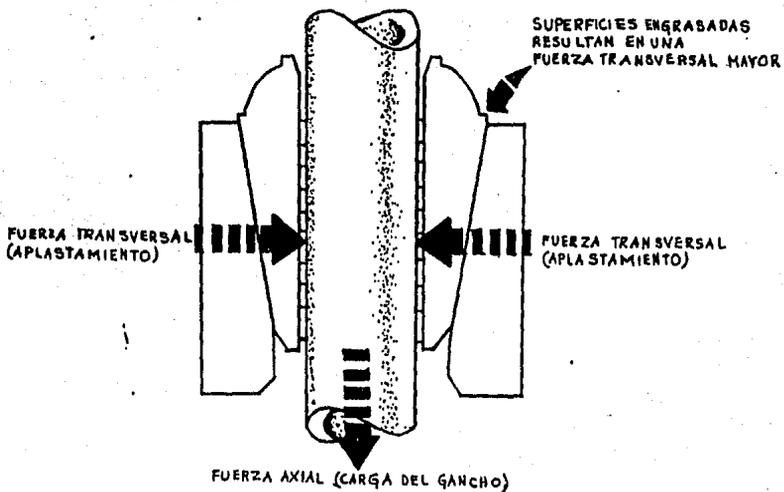


(fig. 2.33). Buje maestro dividido de impulsión de pasador.

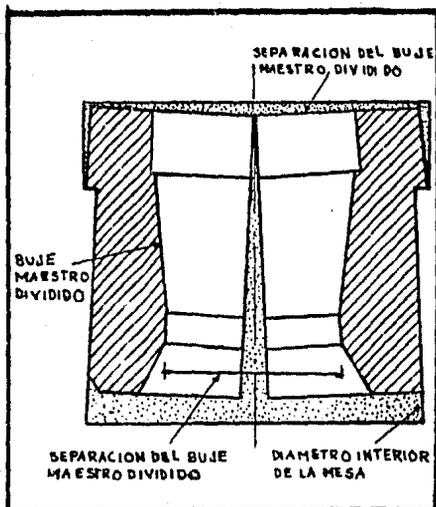
(fig. 2.34). Buje maestro macizo de impulsión de pasador, con tazón.



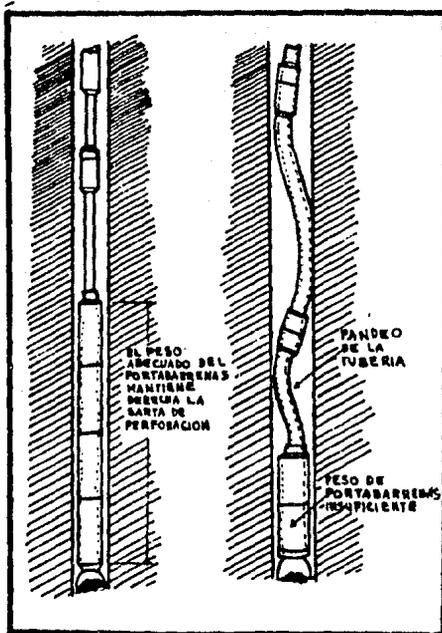
(fig. 2.35).



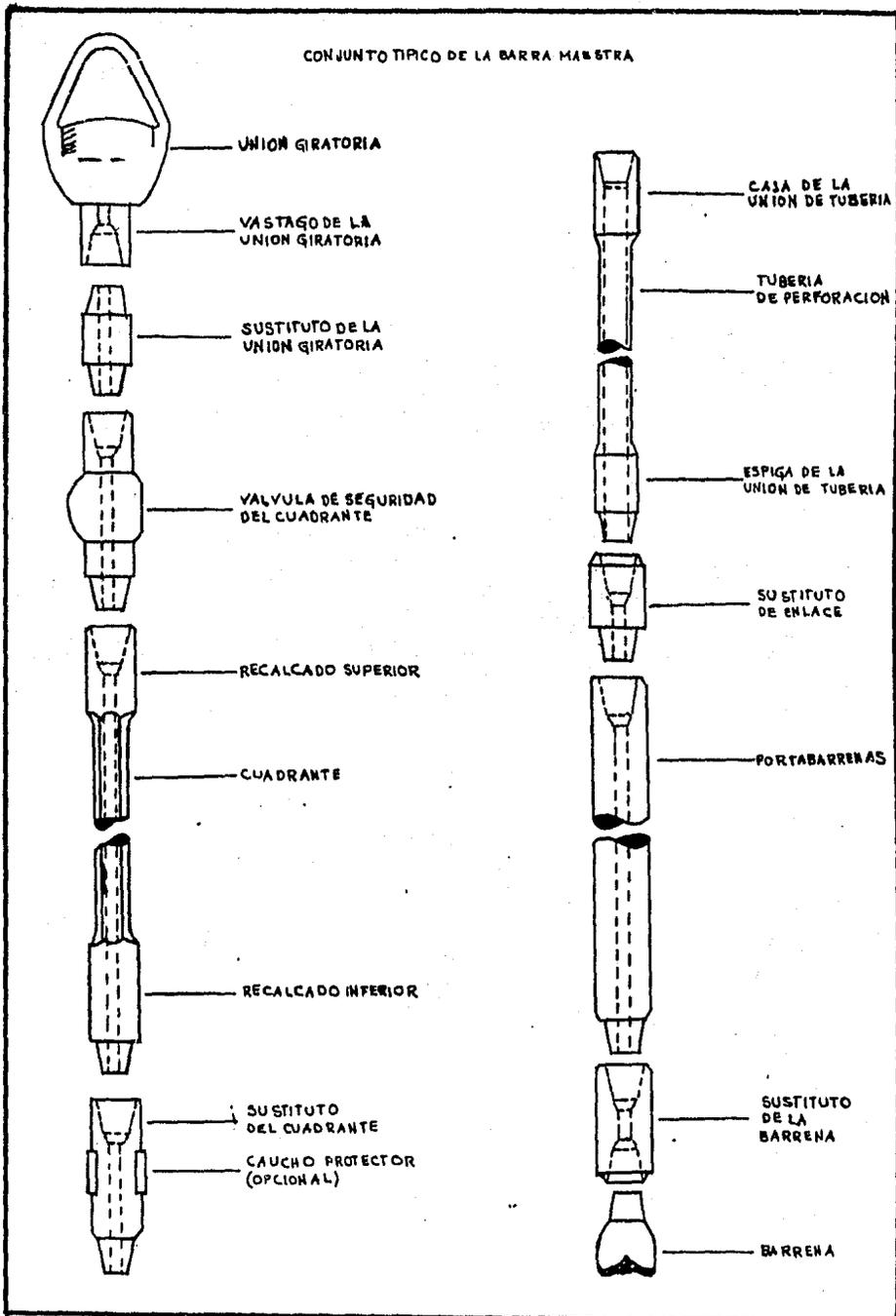
(fig. 2.37).



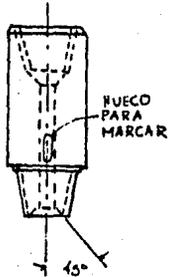
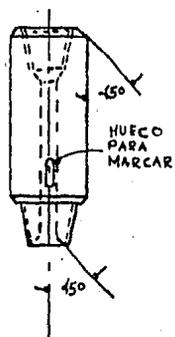
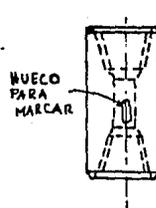
(fig. 2.36).



(fig. 2.38).

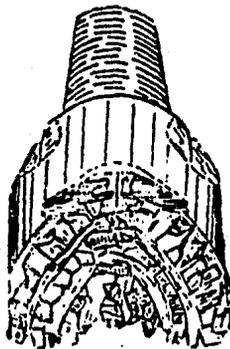


(fig. 2.39).

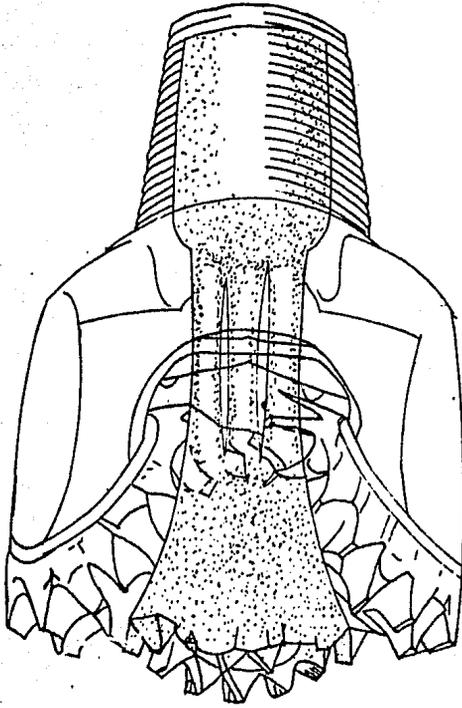
SUSTITUTO
DEL CUADRANTESUSTITUTO
DE ENLACESUSTITUTO
DEL PORTABARRINAS.SUSTITUTO
DE LA BARRINA

(fig. 2.40).

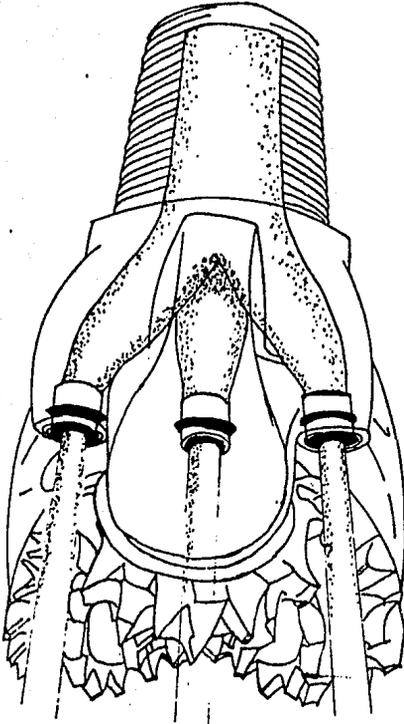
BARRINA

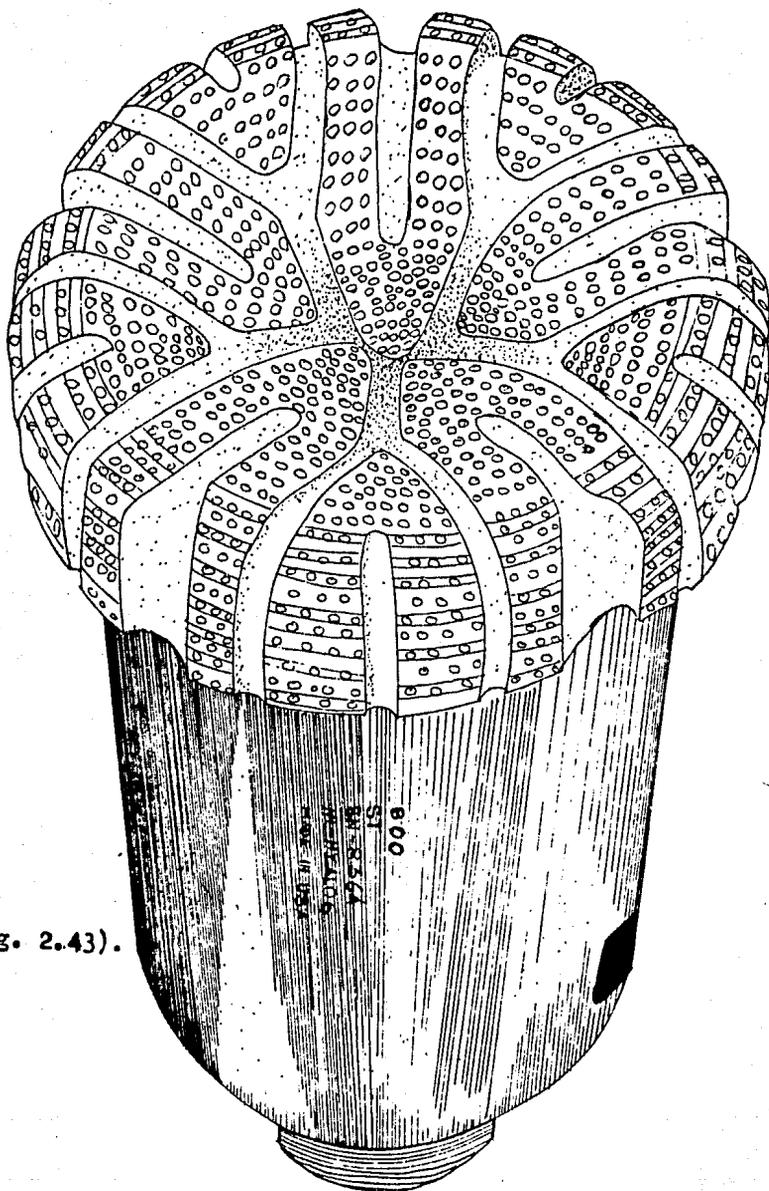


(fig. 2.41).

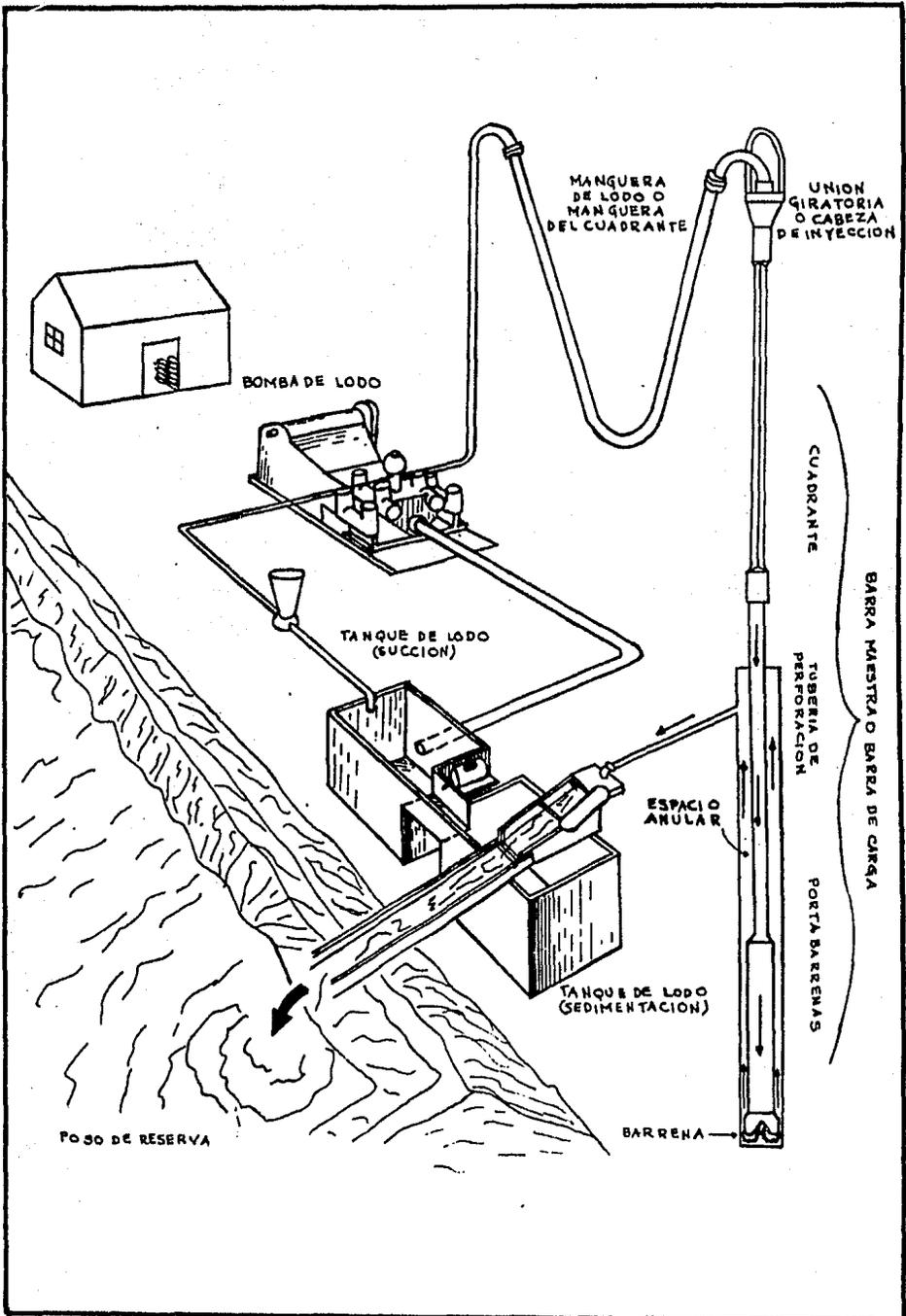


(fig. 2.42).





(fig. 2.43).



(fig. 2.44).

CAPITULO III

RENDIMIENTOS DE PERFORACION

Mientras más pronto se efectúe una perforación, mejores son los resultados del pozo.

Todo vicio o deficiencia en la perforación, irremediablemente se refleja en la calidad del pozo, y consecuentemente, en su vida útil y costos de operación.

En los tres tipos de rocas hay varios factores a considerar durante la perforación.

Las diaclasas que ocurren practicamente en todos los tipos de rocas conocidas y son producidas por las tensiones a que estan siendo sometidas, así como el fracturamiento y/o el fallamiento, nos provocan una pérdida de eficiencia durante la perforación, debido a las perdidas de circulación que pueden ser desde ligeras hasta totales, con la consiguiente disminución de velocidad de retorno aun en aquellos casos en que la pérdida del fluido es mínimo, creando durante el recorrido zonas con variaciones importantes en las velocidades de circulación por los cambios bruscos de áreas esto produce en algunos casos la acumulación y el anillamiento de corte y la dis-

minución del potencial del fluido utilizando para el acarreo de los cortes; además de lo anterior el fracturamiento provoca que se tenga que usar menos velocidad de rotación de la herramienta de perforación para evitar la ruptura de diamantes inciertos de carburo de tungsteno o de los dientes de la broca y la transmisión de impactos severos al equipo a través de la herramienta de perforación.

El ángulo en que se atraviesan las diferentes capas, fracturas fallas o estratos, nos afecta la perforación debido a la tendencia a desviar el agujero, por la diferente compacidad de las capas, estructura, dureza, estabilidad ante determinado fluido de perforación.

El grado de intemperismo de las rocas generalmente permitirá una mayor facilidad de perforación en las rocas superficiales, aumentando su dureza conforme se penetra a capas más profundas que son generalmente más antiguas y han estado sometidas a mayores cargas durante un mayor tiempo.

A continuación se resumen en una forma escueta la conveniencia de emplear un determinado equipo de perforación para las diversas formaciones:

Formaciones Granulares no Cementadas.

En estas formaciones granulares no cementadas, con la única limitación granulométrica hasta guijarros de 305 mm (10") de diámetro, se puede perforar con cualquiera de los dos procedimientos, de perforación a percusión o rotatoria, y según el equipo empleado se tendrán las siguientes ventajas y desventajas:

Perforación con máquina rotatoria.

Ventajas.

a) Gran rapidez en los trabajos, lo cual beneficia notablemente a las formaciones, ya que durante la perforación, la alteración de su estructura y textura es mínima, lo que se manifiesta en la productividad del pozo.

b) Se obtiene un corte litológico mucho más representativo de las formaciones cruzadas lo cual permite;

c) Realizar un correcto diseño en la entubación definitiva del pozo;

d) Poder diseñar y colocar un filtro de grava artificial adecuado, en concordancia con la granulometría de las formaciones perforadas, con lo que se garantizará el efectivo control del arrastre de sólidos en suspensión durante el bombeo del pozo, alargándose así la vida del correspondiente equipo de bombeo, y del propio pozo.

e) Si el pozo es correctamente construido, su rendimiento o productividad específica será mayor que el correspondiente, si el pozo fuera construido con métodos de percusión;

f) El equipo de bombeo necesario para la operación del pozo será más económico;

g) El ahorro en los costos de operación resarcirá con creces la inversión realizada durante la construcción.

Desventajas.

a) El mayor costo inicial en los trabajos de perforación y desarrollo del pozo.

b) Se requiere en la construcción una técnica más cuidadosa y especializada, así como personal más capaz y entrenado que el necesario en los trabajos de percusión.

Perforación con máquina de percusión.

Ventajas.

a) Menor costo en la inversión inicial correspondiente - al trabajo de perforación.

b) Menores cuidados en la ejecución de los trabajos, así como equipo más fácil de ser operado por personal menos experimentado.

Desventajas.

a) Trabajos ejecutados muy lentamente.

b) Se obtiene un muestreo litológico muy alterado y poco representativo de las formaciones cruzadas, lo cual fácilmente conduce a errores de apreciación.

c) Muy difícilmente se podrá proyectar una tubería de ademe que, combinada con un cedazo, cuyas ubicaciones en el pozo resulten óptimas, y permitan aprovechar al máximo la potencialidad de los acuíferos perforados.

d) Generalmente, en los acuíferos con altos contenidos de materiales de grano muy fino, es necesario conducir las perforaciones y entubado del pozo simultáneamente, hincando los ademes para evitar los caídos y derrumbes de las paredes de la perforación; esta técnica obliga a realizar la ranuración de la tubería una vez ya instalada en el pozo, empleando para ello cuchillas; operación que depende en gran medida de la habilidad del operador.

e) En aquellas formaciones que requieran un filtro de grava para controlar el arrastre de sólidos en suspensión durante el bombeo, cuando se hinca la tubería es imposible colocar un filtro artificial, y la formación de un filtro natural por acomodamientos de fragmentos gruesos de las formaciones en torno a la tubería de cedazo, se forma en forma eventual y está sujeta a los errores en que se haya incurrido en la co

locación de las tuberías, por defectuosa apreciación de los cortes litológicos y las profundidades que les corresponden en la columna respectiva.

Velocidad Relativa de Perforación con los Diferentes Tipos de Máquinas.

Tipo de Formación	Percusión	Rotatoria	Neumática
Arenas finas o de duna.	difícil	rápida	no recomendable
Arena y grava sueltas.	difícil	rápida	no recomendable
Arena fluida y movediza.	difícil	rápida	no recomendable
Boleo suelto en terrazas aluviales y morenas de glaciarea.	"lenta con hincado - simultáneo de ademe.	difícil, frecuente mente im- posible.	no recomendable
Arcilla y limo.	lenta	rápida	no recomendable
Esquistos y pizarra	rápida	rápida	no recomendable
Esquistos pegajosos	lenta	rápida	no recomendable
Esquistos y pizarra quebradizos.	rápida	rápida	no recomendable
Arenisca mal cementada.	lenta	lenta	no recomendable
Arenisca muy cementada.	lenta	lenta	no recomendable
Nódulos de pedernal	rápida	lenta	no recomendable
Calizas y dolomitas.	rápida	lenta	muy rápida
Calizas con nódulos de pedernal.	rápida	lenta	muy rápida
Calizas poco fracturadas.	rápida	lenta	muy rápida
Calizas cavernosas. ⁺	rápida	muy lenta	difícil
Basalto en coladas delgadas.	lenta	lenta	rápida
Rocas metamórficas.	lenta	lenta	rápida
Granito y gneiss	lenta	lenta	rápida

+ En las rocas cársicas y cavernosas la dificultad reside en las pérdidas de fluidos de perforación.

Con amplias bases estadísticas, se aconseja que siempre que sea posible, la perforación en materiales granulares no cementados, se deberá practicar con máquinas rotatorias, ya que la economía que representa la perforación con máquinas de percusión, frecuentemente es aparente, si se toman en cuenta los futuros costos de operación del pozo.

Formaciones Granulares Cementadas.

La perforación de formaciones granulares aglutinadas por cementantes que no proporcionen una extrema dureza, es practicable tanto con máquinas rotatorias como de percusión. Evidentemente, en tantos más finos sean los granos constituyentes, mayores serán las que reportará la perforación con máquinas rotatorias, con las mismas desventajas ya expuestas en la discusión de los materiales granulares no cementados.

Por otra parte, en tanto mayormente predominen los granos gruesos en las formaciones aglutinadas, y mayor dureza -- les proporcione el cementante, más evidentes serán las ventajas de perforar con máquinas de percusión. En la perforación de formaciones granulares cementadas deberá ponerse mucho celo en vigilar que no existen mantos de granulares no cementados o sin cementación apreciable, ya que se podría incurrir en errores costosos.

En materiales cementados con dureza del orden de 3 a 4, resulta prácticamente igual perforar con rotatoria o con percusión, salvo que con la rotatoria siempre se obtendrán muestras litológicas mucho más representativas de las formaciones cruzadas, a más de que los trabajos se practicarán con mayor rapidez, pero los costos son bastante más reducidos empleando perforadoras de percusión.

La perforación de formaciones granulares cementadas con silicatos, generalmente resultará más conveniente efectuarla con máquinas de percusión; aunque no debe pasarse por alto - que tanto más cementada se encuentra una formación, menores serán sus propiedades como acuíferos económicamente explotables, lo cual viene significando que si se ataca una formación altamente cementada, sera porque se tenga esperanza de encontrar algún estrato subyacente con mayor porocidad y permeabilidad, y por consiguiente, al localizar tal formación, se podrán presentar problemas diferentes a los característicos de las granuladas muy cementadas.

Rocas Pétreas.

Lutitas no Silicificadas.

La perforación es practicable con cualquiera de los dos tipos de maquinaria de perforación analizados.

Su perforación con máquinas de percusión es rápida y eficiente, salvo la desventaja de obtener muestreos muy alterados y poco representativos, lo cual constituye un peligro pero los costos son apreciablemente económicos.

La perforación con máquinas rotatorias es sumamente rápida y tiene todas las ventajas ya discutidas para materiales granulares no cementados.

Calizas, Dolomitas y Lutitas Silicificadas.

La perforación se puede practicar tanto con máquinas de percusión como con rotatorias; la perforación con rotatorias es muy rápida, especialmente cuando las rocas no tienen contaminaciones de nódulos de pedernal, y el principal problema se presenta eventualmente en las fuertes pérdidas que ocurren en los fluidos de perforación. La perforación con percusión

resulta ventajosa cuando estas rocas tienen contenidos apreciables de pedernal.

Es común que los acuíferos en rocas calizas se localicen a grandes profundidades, en cuyos casos será preferible perforar con máquinas rotatorias, por el ahorro de tiempo que se tiene con ellas, pero hacerlo con percusión es económico y practicable, dentro de ciertos límites.

Rocas Volcánicas.

Tratándose de rocas compactas y abrasivas, como el basalto y la riolita, se impone la perforación con máquina de percusión, y no siempre es aconsejable intentar realizar los trabajos con rotatoria, salvo en exploraciones en que resulta conveniente utilizar brocas de diamantes, o neumática de percusión, preferiblemente.

En los casos de acumulaciones de espesor importante formadas por materiales cineríticos y piroclásticos, la perforación presenta todos los serios inconvenientes característicos de las formaciones granulares no cementados, a más de una elevada dureza y gran poder abrasivo. Aunque pueden ser perforadas con rapidez por máquinas rotatorias, las pérdidas en circulación de los fluidos de perforación pueden llegar a extremos que constituyan una barrena insuperable; por otra teniendo en cuenta que los cineríticos y piroclásticos comúnmente se encuentran interestratificados con corrientes de lava, será preferible, previendo esto, realizar las perforaciones con máquinas de percusión.

Clasificación Práctica de Materiales.

Material tipo A(I)

Arcillas.

Arenas y gravas hasta 7.5cm (3") de diámetro

Limos

Tobas sedimentarias

Depositos lacustres

Pómez, tezontle, lapilli y cenizas volcánicas

Material tipo B(II)

Areniscas

Conglomerados

Lutitas

Pizarras

Calizas y dolomitas

Rocas ígneas y metamórficas alteradas de mediana dureza

Aluviones formados predominantemente por "boleos" de -
12.5cm (5").

Material tipo C(III)

Aluviones gruesos, sueltos de más de 12.5cm (5")

Aglomerados volcánicos

Rocas ígneas intrusivas y extrusivas

Gneiss y esquistos sanos

Calizas silificadas

Tobas volcánicas

Rendimientos de perforación con Máquinas Rotatorias

La perforación de grandes diámetros nos plantea diversos problemas, por lo cual es explicable y usual para realizarlos. Se acostumbra perforar primero un barreno piloto de diámetro comercial más conveniente que es con broca de $8\frac{5}{8}$ ", aproximada

mente; por lo cual para el mismo ya se tiene sobrada experiencia, por cuanto atañe a su respectivo rendimiento, siendo una base estadística sólida, para que con uso de criterio, experiencia y razonamiento fijar los rendimientos correspondientes a diámetros mayores.

Rendimientos base, para diámetros de $8\frac{5}{8}$ ";	
Clasificación	Rendimiento efectivo por hora.
Material tipo I(A)	5.0 mt..
Material tipo II(B)	1.4 mt.
Material tipo III(C)	0.7 mt.

En las gráficas I, II, III se ilustran rendimientos reales de perforación, con varios criterios.

Todos los rendimientos se deben considerar a un nivel de confianza de 80% o sea, se pueden esperar variaciones razonables hasta de 20% en ambos sentidos. Los rendimientos corresponden hasta una profundidad de 100 mt.

Incremento de costo por profundidad.

Se acostumbra tomar un valor promedio, único, para los rendimientos de perforación a profundidades hasta de 100 mt. Para los tramos de pozo comprendidos entre 100 y 200 mt. y entre 200 y 300 mt., se establecen coeficientes que, aplicados a los costos calculados para el primer tramo de 0 a 100 mt., expresen los efectos por aumento de profundidad debidos a las siguientes causas:

a) Tiempos empleados en sacar la barrena, revisarla o cambiarla, en su caso, y volverla a introducir hasta el nivel de perforación; deben incluir los tiempos de acondicionamien-

to del pozo haciendo circular el fluido de perforación para extraer detritus tanto antes de sacar la barrena como antes de reiniciar la perforación.

b) Disminución del rendimiento, debido a incremento de la compacidad de las formaciones con la profundidad y la reducción de la eficiencia de operación de la máquina al manejar mayor peso de tubería, consumiendo potencia extra.

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

Coeficientes por aplicar a los costos de perforación del tramo 0 a 100 mt. para tomar en cuenta los efectos del aumento de profundidad

Material	Profundidades	
	100 a 200	200 a 300
Tipo I(A)	1.05	1.10
Tipo II(B)	1.08	1.16
Tipo III(C)	1.10	1.20

Rendimientos con Máquinas de Percusión a Cable.

Sus rendimientos son notoriamente erráticos, tanto porque se abusa de ellas en lo que respecta a su vida económica como por ser aplicadas a los trabajos más adversos.

En la siguiente tabla se consignan rendimientos promedios de perforación que corresponden a jornadas o turnos de 12 horas de trabajo continuo, los que son valores efectivos para -

condiciones que podríamos calificar como normales; esto es, promedio, para profundidades hasta de 100 metros, y a un nivel de confianza de 80%.

Los valores consignados en la tabla siguiente, pueden aplicarse a cualquier tipo de máquina pulseta con capacidad adecuada al diámetro y profundidad de la perforación, y aun hasta profundidades del orden de 300 a 400 metros.

Rendimientos efectivos de perforación con máquinas de percusión tipo "pulseta", por turno de 12 horas (en metros).

Material	Diámetro	
	6"	12"
Arenas acuíferas	12	9
Grava	18	13
Lutita Pegajosa	12	8
Lutita arenosa	22	16
Arcilla pegajosa	12	8
Arcilla arenosa	25	18
Boleo y cantos rodados	6	5
Arenisca dura	15	12
Brechas	6	5
Aglomerados	6	5
Arenisca suave	27	22
Conglomerados	9	7
Esquisto y pizarra	27	23
Calizas sanas	15	12
Dolomitas sanas	9	7
Granito	6	4.5
Rocas metamórficas	10	8
Basalto masivo	5	3
Basalto fracturado	3	2
Riolita y andesita	6	4

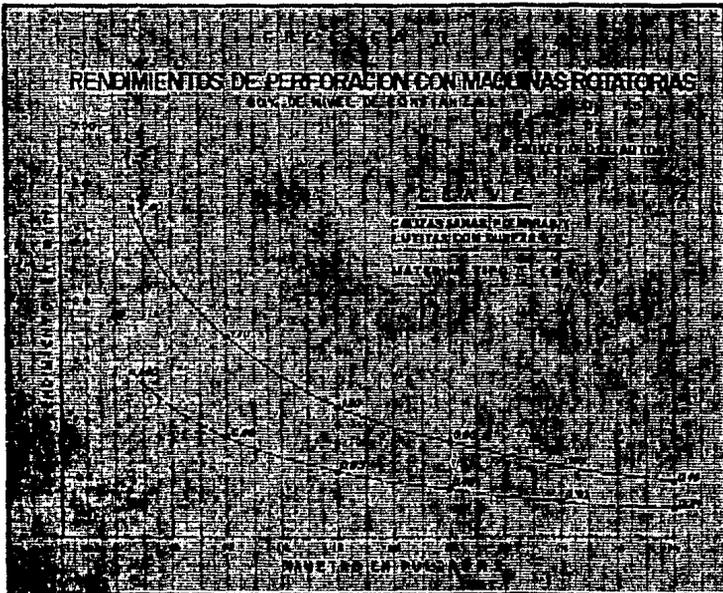
Rendimientos con Perforadoras de Percusión Neumática.

En las gráficas IV y V se muestran seis curvas de rendimiento para diferentes diámetros y materiales, los cuales, - debe advertirse, corresponden a la perforación con martillo - percusor frontal.

Cuando se perfore con estas máquinas a rotación utilizando brocas tricónicas, deberán tomarse los rendimientos correspondientes a máquinas rotatorias, los cuales serán válidos - hasta profundidades de 100 metros, y diámetros no mayores de 12" a 14" nominales.



Gráfica I
Rendimientos de perforación con máquinas rotatorias



Gráfica II
Rendimientos de perforación con máquinas rotatorias
(80% de nivel de confianza)



Gráfica III

Rendimientos de perforación con máquinas rotatorias
(90% de nivel de confianza)

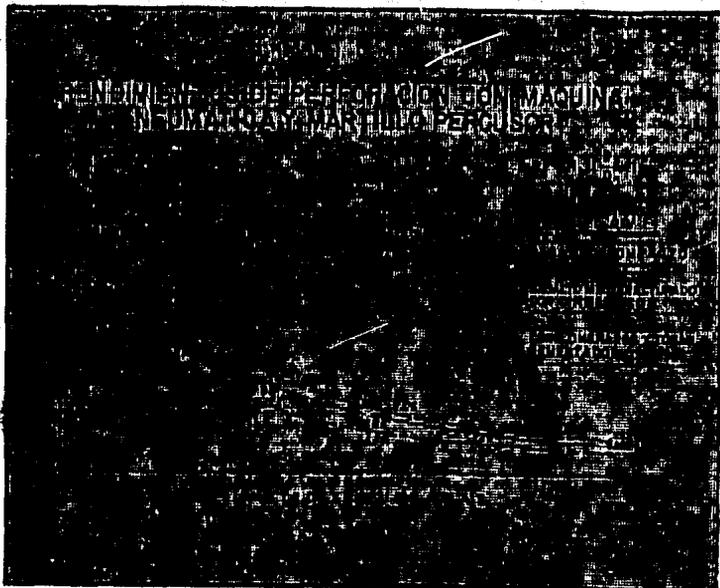


Gráfico IV
 Rendimientos de perforación con máquinas neumáticas y martillo percusor.

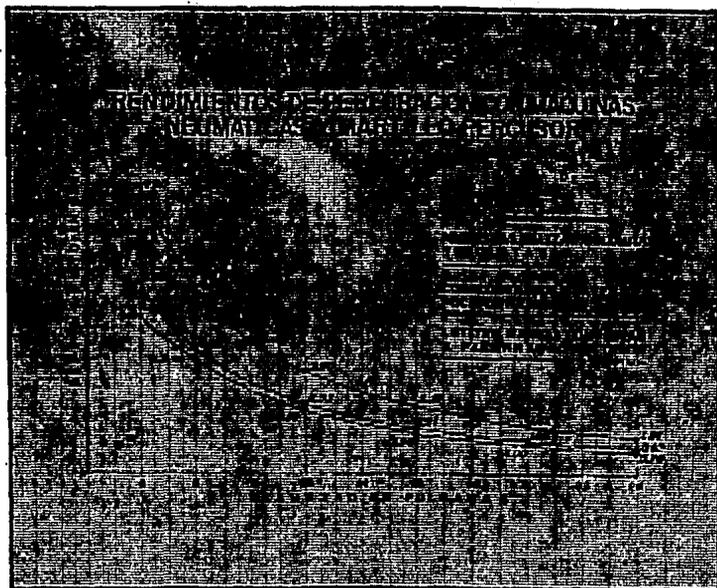


Gráfico V
 Rendimientos de perforación con máquinas neumáticas y martillo percusor.

CAPITULO IV

PRECIOS UNITARIOS DE PERFORACION

Salarios.

Alguien sentenció, y con justa razón, que: "El personal de una empresa es su plusvalía real." Esto, cierto para toda suerte de actividades constructivas, lo es mayormente para la de perforación, industria que se desarrolla en condiciones de gran riesgo e incertidumbre.

En los tiempos en que vivimos, todo patrón, bien sea - dueño o gestor de cualquier empresa comercial o industrial, - adicionalmente al sueldo que paga en munerario a sus trabajadores, tiene un costo adicional, intimamente relacionado con aquél, consistente en las prestaciones, beneficios e impuestos que paga en beneficio de aquellos y sus subsectores que representan.

Coexisten indisolubles y mancomunadamente dos salarios: el nominal y el real.

a) Salario nominal es el que percibe en munerario un trabajador como compensación a su trabajo.

b) Salario real es el que le cuesta al patrono cada trabajador, incluyendo las prestaciones legales y convencionales

pero reales; éstas, por tener costo tan efectivo como las primeras.

Determinación de Salarios Reales

1. Salarios pagados.

Días pagados al año	365
Días pagados por aguinaldo	15
Más 25% sobre 6 días de vacaciones	<u>1.5</u>
Suma	381.5 días/año

2. Días no laborables

Domingos	52
Vacaciones	6
Días festivos	7
1o. de Diciembre de cada seis años	0.17
Por mal tiempo	<u>7</u>
Suma	72.17

3. Días laborables. $365 - 72.17 = 292.83$

4. Factor de conversión = días pagados / días trabajados

$$F.C. = \frac{381.50}{292.83}$$

$$F.C. = 1.3028$$

5. Impuestos.

Seguro Social 19.6875% para el salario mínimo
15.9375% para el salario no mínimo

Impuesto A

Educación 1% (D.F.) (Edo. de México 1.5)
Guardería 1%

Impuesto B

INFONAVIT 5%

6. Obtención del factor del salario real.

Para el salario mínimo:

Factor c. + Seg. Social + Educ. + Guard. + INFONAVIT = F.S.R
30.28 + 19.69 + 1.0 + 1.0 + 5.0 = 56.97%

F.S.R mínimo = 1.5697

Para el salario no mínimo:

Factor c. + Seg. Social + Educ. + Guard. + INFONAVIT = F.S.R
30.28 + 15.94 + 1.0 + 1.0 + 5.0 = 53.22

F.S.R no mínimo = 1.5322

7. El salario integrado real se obtiene de multiplicar el nominal por el factor correspondiente.

Por otra parte, es imperativo señalar, con especial énfasis, que las actividades de perforación de pozos profundos para alumbramiento de aguas subterráneas exigen trabajar las 24 horas del día, visto y comprobado que ha sido, el que cualquier interrupción en las actividades potencializa las ya de suyo extraordinarias condiciones de riesgo e incertidumbre que caracterizan a tan procelosa industria. Toda suspensión en la perforación suele traer aparejada costosa y desagradable experiencia, puesto que las leyes naturales rigen las 24 horas del día.

Así no queda más alternativa que tener tres turnos que se releven o dos de 12 horas; a cuyo efecto entra en juego una alternativa de costos: ¿Que es más económico, disponer de tres turnos de personal, o dos de 12 horas? Se ha demostrado que la segunda resulta más económica. En la demostración se argumenta lo siguiente.

La práctica ha enseñado que no conviene tener tres turnos de cuadrillas ya que se multiplica innecesariamente el número de operarios, encareciendo notablemente los costos indirectos de las empresas, derivados de intangibles reales como son:

a) Salarios durante los largos periodos en que el equipo no trabaja, bien sea por falta de obra contratada, maquinaria en reparación o en tránsito.

b) Depresión de actividades productivas durante los cíclicos periodos en que se restringe la inversión gubernamental, que inhibe a la inversión privada.

c) Paradójicamente, en los tiempos de gran actividad se dificulta mucho conseguir personal capacitado y especialista en perforación, cuyo costo se eleva en virtud de la ley de la

oferta y la demanda.

d) Lo antes expuesto explica que las empresas rehúyan - costosos conflictos laborales, que aumentan en función directa del número de obreros.

e) La industria de perforación requiere de gente con espíritu inherentemente trashumante, puesto que es una actividad migratoria. Este carácter propicia una constante fuga de personal, cuya capacitación les resulta muy cara a las empresas, sin posibilidad de eludirla, ya que constantemente tienen que pagar el elevado costo de capacitar nuevo personal.

f) Se ha comprobado que en tanto más numeroso sea el personal que atiende a un equipo de perforación, menor es el rendimiento por persona, y si en cambio aumentan los riesgos y accidentes, así como fricciones entre los operarios.

Por lo anterior, las empresas bien organizadas han experimentado que resulta más económico y eficaz atender la operación del equipo con solo dos turnos de personal que trabajen en relevos de 12 horas, y disfruten sus días de descanso y festivos en forma programada, para aprovechar los periodos de inactividad del equipo.

Ahora hablemos acerca de la cuadrilla de personal que interviene en la perforación (rotatoria).

Una cuadrilla de perforación puede consistir de cuatro, cinco, seis o más individuos, dependiendo del tamaño de la instalación y de su capacidad para soportar peso y viento.

El Supervisor.

El supervisor o superintendente, de la instalación es la persona encargada de la instalación y de las operaciones de perforación. Generalmente está disponible las veinticuatro ho

ras del día y vive en un remolque cerca de la instalación.

Sus conocimientos incluyen años de experiencia en una instalación como miembro de la cuadrilla y perforador. Tiene que tener vastos conocimientos sobre la instalación, su equipo y herramientas. El dirige las operaciones de perforación de la instalación y el trabajo llevado a cabo por la cuadrilla y también es responsable de contratar nuevos empleados además de coordinar los negocios entre la compañía operadora y el contratista de perforación.

El Perforador.

El perforador, está a cargo de las tareas rutinarias de perforación y manipula la maquinaria de perforación. El perforador queda bajo la dirección directa del supervisor de la instalación y es a su vez el supervisor de la cuadrilla. El perforador da las instrucciones sobre el trabajo en la instalación a los otros cinco o seis miembros de la cuadrilla. En algunos países, el perforador tiene un asistente llamado segundo que le sigue en rango en la instalación y que lo releva a varios intervalos durante su turno.

El Encuellador

El encuellador, enganchador, torrero o chango trabaja en el piso de enganche, una pequeña plataforma también llamada encuelladero que está localizada alta en la instalación. El piso de enganche está localizado como a 30 metros (90 pies) del piso de la instalación. Cuando se está sacando tubería del hoyo, él manipula el extremo superior, guiándolo hacia el hoyo y retirándolo con equipo especial utilizado para sacar la tubería y volverla a meter en el hoyo. Mientras se están llevando a cabo operaciones de perforación, el encuellador es responsable de mantener las cualidades del lodo de perforación

y el mantenimiento y reparación de las bombas y otro equipo de circulación.

El Motorista y el Mecánico

El motorista es generalmente responsable de los motores, el combustible y el equipo auxiliar tal como los generadores, los compresores de aire, las bombas de agua y otros accesorios. El motorista mantiene el nivel del aceite de lubricación en las máquinas y puede hacer arreglos menores en los motores, pero un mecánico es generalmente empleado para reparaciones mayores.

El mecánico de la instalación, si es que hay uno, está encargado del mantenimiento general de todos los componentes mecánicos en la instalación. Puede hacer arreglos menores en los motores, bombas pequeñas y otra maquinaria en o alrededor de la instalación.

El Electricista

El electricista de la instalación mantiene y repara los sistemas de generación de energía y de distribución de la instalación. Puede hacer reparaciones menores en los generadores o motores eléctricos, inspeccionar y mantener el alumbrado y otros enseres eléctricos. No todas las instalaciones tienen un electricista.

El Ayudante del Perforador.

El ayudante del perforador, u obrero, es el responsable de manejar el extremo inferior de la tubería de perforación cuando se le está metiendo o sacando del hoyo. Una cuadrilla completa puede consistir de dos hasta cuatro ayudantes del perforador. Los ayudantes del perforador también manejan las tenazas cuando se está conectando o desconectando tubería. Además de estas tareas en el piso de la instalación, los ayu-

dantes del perforador mantienen el equipo limpio y pintado y hacen reparaciones generales.

Análisis de Precios Unitarios. Es importante señalar - que el siguiente análisis nos sirve como un criterio general para la obtención de los precios unitarios en la perforación

Vida económica del equipo. Al igual que todo el equipo de construcción, las perforadoras de pozo profundo y sus máquinas auxiliares deben trabajar dentro del periodo de su vida económica, a efecto de que garanticen los rendimientos. Así como éstos, en sus valores son producto de observación, estrictamente estadística, también la vida del equipo se rige por largas estadísticas, que han ayudado a fijar el periodo de su vida económica, que es el tiempo en años y en horas que pueden operar en condiciones económicas, pues una vez pasado, sus costos de operación aumentan en forma irrazonable, disminuyendo su eficiencia y rendimientos, con lo que el costo de los trabajos se eleva en forma no competitiva.

Con el objeto de cuantificar el importe de los trabajos que son desarrollados por los equipos y herramientas para la perforación de pozos profundos para el suministro de agua potable, es necesario llevar a cabo análisis de precios unitarios y así poder tomar las decisiones pertinentes a cada caso en particular.

La Secretaría de Programación y Presupuesto, a efecto de dejar definidos todos los cargos que constituyen un precio unitario, y evitar diferentes interpretaciones, publico en el Diario Oficial de la Federación del 7 de julio de 1983

los lineamientos para la integración de los precios unitarios
 En el análisis de un Precio Unitario intervienen los car
gos siguientes.

- 1.--CARGOS DIRECTOS
- 2.--CARGOS INDIRECTOS
- 3.--CARGOS POR UTILIDAD
- 4.--CARGOS ADICIONALES

Estos cuatro cargos están constituidos por:

- 1.--CARGOS DIRECTOS

Mano de Obra

Materiales

Maquinaria

Herramienta de Mano

La suma de los importes a estos cuatro cargos, nos dá
 como resultado el COSTO DIRECTO del concepto analizado.

Cargo Directo por Mano de Obra. Este cargo es el resul-
 tado de dividir el importe de los salarios del personal
 (afectado del factor de salario real calculado en las pagi-
 nas anteriores) entre el rendimiento del mismo personal por
 unidad de tiempo.

Cargo Directo por Materiales. Es el correspondiente a
 las erogaciones que hace "El Contratista", para adquirir o
 producir todos los materiales necesarios para la correcta -
 ejecución del concepto de trabajo, que cumpla con las normas
 de construcción y especificaciones de la "Dependencia" o -
 "Entidad" con excepción de los considerados en los cargos -
 por maquinaria. Los materiales que se usen podrán ser per-
 manente o temporales, los primeros son los que se incorporan
 y forman parte de la obra; los segundos son los que se consu

men en uno o varios usos y no pasan a formar parte integrante de la obra.

El cargo unitario por concepto de materiales "M" se obtendrá de la ecuación:

$$M = P_m \cdot C$$

en la cual:

"P_m" representa el precio de mercado más económico por unidad de material de que se trate, puesto en el sitio de su utilización. El precio unitario del material se integrará sumando los precios de adquisición en el mercado, los acarreos, maniobras y mermas aceptables durante su manejo.

Cuando se usen materiales producidos en la obra, la determinación del cargo unitario será motivo del análisis respectivo.

"C" representa el consumo de materiales por unidad de concepto de trabajo. Cuando se trate de materiales permanentes, "C" se determinará de acuerdo con las cantidades que deban utilizarse según el proyecto, las normas y las especificaciones de construcción de "La dependencia" o "Entidad", considerando adicionalmente los desperdicios que la experiencia determine. Cuando se trate de trabajos temporales, "C" se determinará de acuerdo con las cantidades que deban utilizarse según el proceso de construcción y el tipo de obra, considerando los desperdicios, y el número de usos con base en el programa de obra, en la vida útil del material de que se trate y en la experiencia.

Cargo Directo por Maquinaria. Constituido por los cargos fijos, combustible, lubricantes y llantas.

Cargos Fijos. Son los correspondientes a depreciación,

inversión seguros y mantenimiento.

Cargo por Depreciación. Es el que resulta por la disminución del valor original de la maquinaria, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica.

Se considerará una depreciación lineal, es decir, que la maquinaria se deprecia una misma cantidad por unidad de tiempo.

$$D = \frac{V_a - V_r}{V_e} \text{ en donde:}$$

" V_a " Representa el valor inicial de la máquina, considerando como tal, el precio comercial de adquisición de la máquina nueva en el mercado nacional, descontando el precio de las llantas, en su caso.

" V_r " Representa el valor de rescate de la máquina, es decir, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica.

" V_e " Representa la vida económica, de la máquina, expresada en horas efectivas de trabajo, o sea el tiempo que puede mantenerse en condiciones de operar y producir trabajo en forma económica, siempre y cuando se le proporcione el mantenimiento adecuado.

Cargo por Inversión. Es el cargo equivalente a los intereses del capital invertido en maquinaria.

$$I = \frac{(V_a + V_r) \cdot i}{2 H_a}$$

" H_a " Representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

" i " Representa la tasa de interés anual expresada en de-

cimales. Las dependencias y entidades para sus estudios y análisis de precios unitarios considerarán a su juicio la tasa de interés "i". Los contratistas en su propuesta de concurso, propondrán la tasa de interés que más les convenga.

En los casos de ajustes por variación del costo de los insumos que intervengan en los precios unitarios, y cuando haya variaciones de las tasas de interés, el ajuste de éste se hará en base al relativo de los mismos, conforme a los que hubiere determinado el Banco de México en la fecha del concurso y el correspondiente a la fecha de la revisión.

Cargo por Seguros. Es el que cubre los riesgos a que está sujeta la maquinaria de construcción durante su vida económica, por accidentes que sufra. Este cargo forma parte del precio unitario, ya sea que la maquinaria se asegure por una compañía de seguros, o que la empresa constructora decida hacer frente, con sus propios recursos, a los posibles riesgos de la maquinaria.

$$S = \frac{V_a + V_r}{2H_a} s$$

"s" Representa la prima anual promedio, fijada como porcentaje del valor de la máquina y expresada en decimales.

Cargo por Mantenimiento Mayor o Menor. Es el originado por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones durante su vida económica. **Cargo por Mantenimiento Mayor.** - Son las erogaciones correspondientes a las reparaciones de la maquinaria en talleres especializados o aquellas que puedan realizarse en el campo, empleando personal especialista y que requieran retirar la maquinaria -

de los frentes de trabajo. Este cargo incluye la mano de obra repuestos y renovaciones de partes de la maquinaria, así como otros materiales necesarios.

Cargo por Mantenimiento Menor.- Son las erogaciones necesarias para efectuar los ajustes rutinarios, reparaciones y cambios de repuestos que se efectúan en las propias obras, - así como los cambios de líquido para mandos hidráulicos, aceite de transmisión, filtros, grasas y estopas.

Incluye el personal y equipo auxiliar que realiza estas operaciones de mantenimiento, los repuestos y otros materiales que sean necesarios. Este cargo está representado por:

$$T=Q \cdot D \quad \text{en donde:}$$

"Q" Es un coeficiente que considera tanto el mantenimiento mayor como el menor. Este coeficiente varía de acuerdo al tipo de máquina y las características del trabajo, y se fija en base a la experiencia estadística.

"D" Representa la depreciación de la máquina.

Cargo por Consumos. Son los que se derivan de las erogaciones que resulten por el uso de combustibles u otras fuentes de energía y en su caso lubricantes y llantas.

Cargo por Combustibles. Es el derivado de todas las erogaciones originadas por los consumos de gasolina y diesel para el funcionamiento de los motores. El cargo por combustible "E" se obtiene mediante la ecuación :

$$E=C \cdot P_c \quad \text{en donde:}$$

"C" Representa la cantidad de combustible necesario, por hora efectiva de trabajo. Este coeficiente está en función de

la potencia del motor, del factor de operación de la máquina y de un coeficiente determinado por la experiencia, que varía de acuerdo con el combustible que se utilice.

"Pc" Representa el precio del combustible puesto en la máquina.

Cargo por Lubricantes. Son los motivados por el consumo y los cambios periódicos de aceites lubricantes de los motores.

$A_l = (c + a_l) P_l$ en donde:

"a_l" Es la cantidad de aceites lubricantes necesaria por hora efectiva de trabajo, de acuerdo con las condiciones medias de operación; está determinada por la capacidad de recipiente dentro de la máquina y los tiempos entre cambios sucesivos de aceites.

"P_l" Representa el precio de los aceites lubricantes -- puestos en las máquinas.

"c" Representa el consumo entre cambios sucesivos de lubricantes.

CARGOS INDIRECTOS.

El análisis de estos cargos son muy variados, ya que dependen de los sistemas operativos de cada Empresa o Institución, por lo que cada una de estas tienen porcentajes de indirectos diferentes. La presentación de este cargo lo haremos en porcentaje del costo directo y considerando además un anticipo del 20% que sobre el importe de los trabajos nos deben de otorgar de acuerdo al reglamento de Obra Pública expedido por la S.P.P.

Administración de campo.

a) Personal técnico	3.90%
b) Personal administrativo	2.10%
c) Pasajes y viáticos	2.00%
d) Campamento	2.50%
e) Transporte de personal y vehículos	1.30%
f) I.M.S.S. e impuestos	<u>3.50%</u>
	15.30%

Administración central.

a) Personal directivo	0.80%
b) Personal técnico	1.10%
c) Personal administrativo	0.90%
d) Pasajes y viáticos	0.50%
e) Oficina y mobiliario	1.25%
f) Vehículos	0.40%
g) Financiamiento, seguros y fianzas	7.00%
h) I.M.S.S. e impuestos	<u>1.30%</u>
	13.25%

Suman los cargos indirectos 28.55%

CARGOS POR UTILIDAD.

Consideramos para este efecto la suma de la utilidad más el impuesto sobre la renta:

$$10.00\% + 8.43\% = 18.43\%$$

CARGOS ADICIONALES.

a) Obras de beneficio social	1.00%
------------------------------	-------

b) Inspección y verificación de obras	0.50%
c) Aportación para el I.C.I.C.	<u>0.20%</u>
	1.70%

Para integrarlo en un solo cargo tenemos:

$$\frac{1}{1 - 0.017} - 1 = 1.73\%$$

Suman los cargos indirectos, utilidad y adicionales:

$$28.55\% + 18.43\% + 1.73\% = 48.71\%$$

Ejemplo.

MAQUINARIA Y EQUIPO BASICO

- a) PERFORADORA ROTARIA Tipo 1500 con bomba de lodos de $5\frac{1}{2} \times 8$, montada sobre la misma plataforma, motor diesel de 145 HP.

$$V_a = 78'000,000.00; \quad V_r = 20\%V_a; \quad V_e = 12,000 \text{ hrs.}$$

$$C = 28 \text{ litros}$$

- b) CAMION PIPA para 8000 litros con motor de gasolina de 150 HP.

$$V_a = 6'000,000.00; \quad V_r = 20\%V_a; \quad V_e = 8,000 \text{ hrs.}$$

$$C = 10 \text{ litros}$$

- c) MOTOSOLDADORA de 300 Amperes con motor de gasolina de 60 HP.

$$V_a = 1'000,000.00; \quad V_r = 20\%V_a; \quad V_e = 8,000 \text{ hrs.}$$

$$C = 5 \text{ litros}$$

DETERMINACION DEL COSTO HORARIO

1.- Cargos Fijos (perforadora)

$$D = (V_a - V_r)/V_e$$

$$D = (78'000,000.00 - 0.20 \times 78'000,000.00)/6 \text{ años} \times 2000 \frac{\text{hrs}}{\text{año}}$$

$$D = 5,200.00/\text{hora}$$

$$I = (V_a + V_r)i/2Ha$$

$$I = (78'000,000.00 + 0.20 \times 78'000,000.00)0.50/2 \times 2000 \text{ hrs.}$$

$$I = 11,700.00/\text{hora}$$

$$S = (V_a + V_r)s/2Ha$$

$$S = (93'000,000.00)0.006 \text{ prima anual de seguros}/4000 \text{ hrs.}$$

$$S = 140.40/\text{hora}$$

$$\text{Factor de mantenimiento} = Q = (0.80)$$

$$T = Q.D.$$

$$T = 0.80 \times 5,200$$

$$T = 4,160.00/\text{hora}$$

Suman los cargos fijos: 21,200.40/hora

2.- Cargo por Consumos (perforadora)

Combustible Gasolina = 0.2271 HP. FOG. litro

Diesel = 0.1514 HP. FOD. litro

en donde:

HP. = potencia nominal efectiva para trabajo continuo

FOG. = factor de operación para motores de gasolina (0.70)

FOD. = factor de operación para motores diesel (0.80)

Combustible = 0.1514 HP. FOD x litro diesel

$$= 0.1514 \times 145 \times 0.80 \times 31.20 = 547.95/\text{hora}$$

En relación al cargo por lubricantes tenemos que:

$$\text{Gasolina} = (0.0030 \times \text{HP} \times 0.70 + \frac{C}{T}) \quad \text{litro}$$

$$\text{Diesel} = (0.0035 \times \text{HP} \times 0.80 + \frac{C}{T}) \quad \text{litro}$$

en donde:

C = Capacidad del carter en litros

T = Horas entre cambio de aceite

$$\text{Lubricantes} = (0.0035 \times \text{HP} \times 0.80 + \frac{C}{T}) \quad \text{litro}$$

$$= (0.0035 \times 145 \times 0.80 + \frac{28}{100}) \quad 306.00$$

$$= 209.92/\text{hora}$$

Suma del cargo por consumos: 757.87/hora

3.- Cargo por Operación

Plantilla Personal	Salario Diario
1 Jefe de Pozo	3,000.00
2 Perforistas	4,000.00
1 Soldador	2,200.00
1 Chofer	2,200.00
4 Ayudantes	<u>6,000.00</u>
	17,400.00

Cargo por operación: 17,400.00 x F.S.R. x 292.83 días/2000 hr

Cargo por operación: 17,400.00 x 1.5322 x 292.83/2000

Cargo por operación: 3,903.46/hora

Suman los cargos de la perforadora: 25,861.73/hora

1.- Cargos Fijos (equipo auxiliar).

$$D = (8'460,000.00 - 0.20 \times 8'460,000.00) / 8000 = 846.00/\text{hora}$$

$$I = (8'460,000.00 + 0.20 \times 8'460,000.00) 0.50 / 4000 = 1,269.00/\text{hr}$$

$$S = (8'460,000.00 + 0.20 \times 8'460,000.00) 0.006 / 4000 = 15.23/\text{hora}$$

$$T = 0.80 \times 846.00 = 676.80/\text{hora}$$

Suman los Cargos Fijos: 2,807.03/hora

2.- Cargo por Consumos (equipo auxiliar)

$$\text{Combustible} = 0.2271 \times 0.70 \times 55.00 = 1,836.10/\text{hora}$$

$$\text{Lubricantes} = (0.0030 \times 210 \times 0.70 + \frac{15}{100}) 290.00 = 171.39/\text{hr.}$$

Suma el cargo por Consumos: 2,007.49/hora

Suman los Cargos del Equipo Auxiliar: 4,814.52/hora

Factor de incidencia = 0.65

Importe por Equipo Auxiliar = 4,814,52 x 0.65 = 3,129.44/hr

COSTO DIRECTO MAQUINARIA Y EQUIPO : 28,991.17

A continuación y para fines prácticos, se presenta un listado de avances reales observados a lo largo de 20 años y proporcionados por la C.N.I.C.

Diámetro		Rendimiento
Perforado	Material clase I de 0 a 100 m.	en m/h.
8"	Directo	2.83
12"	Directo	1.60
18"	Ampliación de 12" a 18"	2.11
24"	Ampliación de 12" a 24"	0.99
Material clase II de 0 a 100 m.		
8"	Directo	1.32
12"	Directo	0.75
18"	Ampliación de 12" a 18"	0.95
24"	Ampliación de 12" a 24"	0.45
Material clase III de 0 a 100 m.		
8"	Directo	0.68
12"	Directo	0.39
18"	Ampliación de 12" a 18"	0.51
24"	Ampliación de 12" a 24"	0.24

Analicemos el precio unitario del concepto:

Perforación en 12" de Diámetro en Material Clase III por
Metro Lineal de 0 a 100 m. de Profundidad.

Avance promedio = 0.39 mts/hora

1.- Cargo por Maquinaria y Equipo: $28,991.17/0.39$
:= 74,336.33/metro

2.- CARGO POR BARRENA

a) Tricónica de 12" ϕ con insertos de Carburo de Tungsteno

1'600,000.CO/200m. M= 8,000.00/metro

COSTO DIRECTO = 82,336.33/metro más 48.71% de indirectos y
utilidad = 40,106.02

PRECIO UNITARIO = 122,442.35/m₆

CONCLUSIONES

Podemos concluir que en la perforación de un pozo es necesario el conocimiento de conceptos simples que aparentemente, no tendrían relación con la actividad del Ingeniero Civil más, considero que son de suma importancia. Me refiero a la - Circulación del Agua en la Atmósfera pues de no existir este fenómeno de la naturaleza, la vida no existiría en la tierra.

Otra cosa importante es el conocimiento de los eventos, geológicos ocurridos a través de la formación de nuestro planeta que provocaron la actual estructuración de la corteza -- terrestre. Claro que el conocimiento del ciclo hidrológico, los eventos geológicos así como los estudios geológicos, estudios geohidrológicos y algunos estudios geofísicos que se lleven en la zona de estudio no son suficientes para determinar; que equipo de perforación se debe utilizar.

Pero son estudios previos con los cuales tenemos información y podemos llevar a cabo un sondeo exploratorio para -- conocer con mayor precisión la estratigrafía de la zona en -- estudio.

La selección del método de perforación es muy importante ya que seleccionando el mejor nos va a producir mayores ganancias en un tiempo corto y aun costo bajo, pero no siempre podemos contar con el equipo que quisieramos por tanto considero que se deben analizar las siguientes preguntas.

¿Cuento con el equipo?, ¿Cuento con financiamiento para poder adquirir el equipo? , ¿Que tiempo tengo para realizar el trabajo? Estas serian algunas preguntas que debemos contestar además de otros factores como son:

Facilidad de obtención de refacciones, personal capaci---

tado, lugar en que se vaya a realizar el trabajo.

Es por esto que el conocimiento del equipo en la perforación de un pozo es importante ya que el Ingeniero puede ser capaz de improvisar cuando haya una emergencia por falta de una pieza o un mal funcionamiento del equipo; ya que el trabajo desarrollado generalmente es en zonas apartadas donde se tardaría bastante tiempo para conseguir lo que necesitará.

BIBLIOGRAFIA

- Vargas Alcantara, Vicente,
Técnicas y Análisis de Costos de Pozos Profundos y Aguas Subterráneas.
México, Eds. LIMUSA, 1976,
514p.
- Leet, Judson,
Fundamentos de Geología Física.
México, Eds. LIMUSA, 1982,
450p.
- Limiana González, Ricardo X.,
Perforación de Pozos para Agua.
México, E.N.E.P "ACATLAN" U.N.A.M.,
Tesis Profesional, 1981.
- Leví Marrero,
La Tierra y sus Recursos.
España, Eds. CULTURAL VENEZOLANA, 1978,
395p.
- Camara Nacional de la Industria de la Constucción,
Costos de Cimentaciones Profundas.
México, Eds. CNIC, 1983,
- Servicio de Extensión Petrolera, Instituto Mexicano del Petróleo,
Perforación Rotatoria, Unidad I Lección 1-4.
México, IMP, 1980.
- División de Recursos Hidráulicos,
Perforación de Pozos para Riego.
México, 1977
- Martínez González, Eduardo,
Precios Unitarios, Perforación de Pozos para Agua.
México, División de Educación Continua Facultad de Ingeniería U.N.A.M., 1985.