



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

FACULTAD DE INGENIERIA

**PERFORACION DE POZOS PARA
AGUA**

TRABAJO RECEPCIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA

SAN LUIS POTOSI, S.L.P.

MAYO 1990





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
DR. MANUEL NAVA 8 TELEFONO 3-11-86
C.P. 78200
SAN LUIS POTOSI, S.L.P., MEXICO

NOVIEMBRE 23, 1989.

Al Pasante Sr. Victor Manuel Alvarez Maya
Presente.-

En atención a su solicitud relativa me es grato indicar a usted que el H. Consejo Técnico Consultivo de la Facultad de Ingeniería ha designado como Asesor del Trabajo Recepcional que deberá desarrollar en su Examen Profesional de Ingeniero Geólogo, al Sr. Ing. Rawiro Gallegos González. Así como el Título propuesto para el mismo es:

" PERFORACION DE POZOS PARA AGUA "

TEMARIO:

- I.- INTRODUCCION
- II.- ANTECEDENTES
- III.- DESCRIPCION DEL EQUIPO Y SU METODO DE PERFORACION
- IV.- DIFERENTES FLUIDOS USADOS EN LA PERFORACION DE POZOS.
- V.- LA PERFORACION EN SI Y SU PROBLEMÁTICA
 - a).- PERDIDAS DE CIRCULACION
 - b).- DERRUMBES
 - c).- FEGADAS O ATRAPAMIENTOS DE TUBERIA
 - d).- DESVIACION DE POZOS
 - e).- PESOS
- VI.- DISEÑO Y TERMINACION DEL POZO
 - a).- REGISTROS ELECTRICOS
 - b).- DISEÑO DE LA TERMINACION
 - c).- REHABILITACION DE LA FORMACION
- VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

" MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS ALDEBO "

ING. DAVID ATISHA CASTILLO
DIRECTOR DE LA FACULTAD

A MIS PADRES:

Sr. Javier Alvarez Acevedo.

Sra. Ma. Elena Maya de Alvarez.

Con infinito cariño les dedico el presente como una muestra de agradecimiento, ya que con su confianza y consejos, lograron encauzar en el camino del bien a sus hijos e inculcarnos el deseo de superación.

Hoy, después de muchos sacrificios y trabajos ven coronado con éxito un anhelo por mucho tiempo deseado, por ésto y por todo, gracias mil.

Victor Manuel

Agradezco al Ing. RAMIRO GALLEGOS GONZALEZ
por su valiosa cooperación en la elaboración
de el presente trabajo, ya que sin sus consejos
y conocimientos, hubiera sido imposible la
realización de el mismo.

~~Cariñosamente~~ a mis hermanos
Javier y Rosi, por el ejemplo
que me brindaron.

A el Area Ciencias de la Tierra
de la facultad de Ingeniería en
la cual forjé mis anhelos.

A mis maestros, que con su
paciencia y amistad, supieron
transmitirme sus conocimientos
y experiencias.

A la familia Mendoza Sánchez,
especialmente a Nora Imelda, la
cual con su cariño y apoyo supo
alentarme a seguir adelante.

A mis amigos y compañeros que
me brindaron su ayuda en los
momentos difíciles.

CONTENIDO.

	PAG.
CONTENIDO.....	1
INTRODUCCION.....	2
ANTECEDENTES.....	4
DESCRIPCION DEL EQUIPO Y SU METODO DE PERFORACION.....	10
DIFERENTES FLUIDOS USADOS EN LA PERFORACION DE POZOS.....	75
LA PERFORACION EN SI Y SU PROBLEMÁTICA.....	94
a).- PERDIDAS DE CIRCULACION.....	97
b).- DERRUMBES.....	99
c).- PEGADAS O ATRAPAMIENTOS DE TUBERIA.....	101
d).- DESVIACION DE POZOS.....	102
e).- PESCAS.....	105
DISEÑO Y TERMINACION DEL POZO.....	115
a).- REGISTROS ELECTRICOS.....	116
b).- DISEÑO DE LA TERMINACION.....	125
c).- REHABILITACION DE LA FORMACION.....	135
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	162
BIBLIOGRAFIA.....	165

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

Introducción.

El hombre en cada una de las actividades que realiza, en el transcurso de su vida, siempre está tratando de mejorar su bienestar, ahora con la ayuda de la avanzada tecnología está logrando su objetivo a pasos agigantados, y en la perforación de pozos no podía ser la excepción.

En esta actividad, el hombre está tratando de conseguir - que los pozos que se perforan, no solamente en nuestro país sino en el resto del mundo, sean lo más productivos que sea posible, así como también está tratando de encontrar las técnicas adecuadas que le permitan corregir los errores que en un principio, por causas naturales o cometidos por el hombre mismo, no le permitieron aprovechar al máximo un pozo perforado, ya sea para la explotación de hidrocarburos y/o agua.

En este trabajo, se trata de dar una idea general del procedimiento que se sigue en la perforación de un pozo para agua, así como también los problemas más generales que se presentan durante la perforación de un pozo y por consiguiente la manera de evitarlos y en su caso la manera más apropiada de resolver estos problemas en caso de presentarse.

Así también, se indican cuáles son algunos criterios que se siguen en el diseño de la terminación, para tener al final un pozo que dure el mayor tiempo posible.

Se han colocado los capítulos en una secuencia lógica para que sea fácil de entender por las personas interesadas y para aquellas que no están familiarizadas con el tema, y que éste pueda ser de gran ayuda profesional en el campo para aquellos que tengan relación con el mismo.

C A P I T U L O I I

ANTECEDENTES

Antecedentes.

Antes de iniciar el tema relativo a la perforación de pozos se ha creído conveniente hacer mención de algunos conceptos fundamentales, ya que para llevar a cabo cualquier actividad que tenga como finalidad producir algo al menor costo posible es necesario seguir los pasos siguientes:

- 1) Programar las actividades.
- 2) Organizar lo que se programa.
- 3) Supervisar el funcionamiento de la organización.
- 4) Controlar lo que se está supervisando.

Se puede deducir, que estos pasos están íntimamente ligados entre sí y su aplicación deberá ser precisamente en el orden señalado.

Programación.

La programación será el arranque de las actividades al verse favorecida una compañía por un contrato de perforación, es decir, se obtendrán buenos resultados, tanto en el aspecto financiero como de calidad de trabajo y cumplimiento de los plazos propuestos.

- Programa de obra.

También llamado PROGRAMA DE CONSTRUCCION, el cual permite comparar constantemente el avance programado con el avance real, determinando con ello el atraso o adelanto que se lleve en el trabajo en cualquier momento y consecuentemente corrigiendo deficiencias para poder terminar los trabajos dentro del límite de tiempo pactado.

- Programa de maquinaria.

La elección de la capacidad y tipo de máquina dependerá principalmente de las especificaciones que se tengan para la obra, las más importantes serán:

- a) Profundidad probable.
- b) Litología que se espera atravesar.
- c) Dificultades de acceso.
- d) Disponibilidad del agua.

Determinado el número y tipo de equipos a utilizar, se elige la maquinaria auxiliar necesaria, y será principalmente:

- a) Bomba de lodo.
- b) Bombas de pozo profundo.
- c) Bombas para suministro de agua.
- d) Compresores.
- e) Soldaduras.
- f) Equipos de cementación.
- g) Plantas de luz.
- h) Tractocamiones.
- i) Plataformas.
- j) Camiones grúa.
- k) Camionetas de varios tipos.
- l) Fijas.

- Programa de personal.

Depende primordialmente del tipo y cantidad de maquinaria a utilizar.

- Programa de suministros.

En función del programa de obra que se determina la fecha aproximada de utilización de algunos materiales de difícil adquisición.

- Programa de herramientas.

Consiste en determinar todo el equipo complementario, como son:

- a) Lastrabarreras.
- b) Barras de perforación.
- c) Ampliadores.
- d) Barreras.
- e) Substitutos y combinaciones.
- f) Elevadores.
- g) Traapas.

Organización.

En base a la serie de programas realizados, se procede a la organización del trabajo para llegar a las metas trazadas.

- Visita al sitio.

Es importante hacer una visita al sitio de los trabajos para ver los siguientes puntos más importantes:

a) Campamento.- se tendrá que alquilar un local, generalmente una casa con capacidad suficiente para el personal proyectado y que cuente con los servicios fundamentales (cocina, dormitorio, agua potable).

b) Oficina.- dependiendo del tamaño y función de la obra.

c) Clientes.- se hace una visita a las empresas encargadas de la supervisión de los trabajos.

d) Comunicaciones.- se deberá resolver tanto la comunicación dentro de la obra como con la oficina central, las soluciones pueden ser radio y teléfono.

e) Pedidos de transporte.- para recibir materiales y refacciones pesadas y ligeras, servicio de paquetería.

f) Otros.- se arreglan asuntos como seguro social, impuestos estatales y municipales.

- Preparación de maquinaria.

Una vez elegida la herramienta es sometida a una revisión mecánica lo más completa posible, comprobando su funcionamiento en todas sus partes.

- Preparación de la herramienta de perforación.

Se inspecciona la herramienta, sobre todo aquello que se refiere al estado de las lastrabarreras, tuberías de perforación y combinaciones.

- Preparación del personal.

Determinada la cantidad y especialidad del personal que intervendrá en la obra.

- Preparación de suministros.

Se tendrán que hacer pedidos de los materiales y pedidos que no puedan adquirirse en la zona de trabajo.

Supervisión.

En general el personal de supervisión será el siguiente:

- a) Jefe de obra.
- b) Auxiliar técnico.
- c) Jefe de pozo.
- d) Administrativo.

Los puntos principales que tendrán que cuidar estas personas son:

a) Personal.- cuidar que la plantilla planeada sea la que se mantenga constante.

b) Operación.- cuidar constantemente los pesos aplicados a la barrena, las rpm, la densidad, viscosidad del lodo de perforación, la presión de la bomba, la velocidad con que se mete y se saca la sarta de perforación.

c) Mantenimiento.- un descuido puede originar tremendas fallas del equipo que son pérdidas de dinero y tiempo.

d) Estado mecánico.- es necesario llevar una bitácora donde se asiente el estado mecánico de cada equipo.

e) Reportes y muestras.- se proporcionará a los operadores en general formas especiales para llevar un reporte diario.

f) Almacenes.- se debe revisar constantemente las existencias mínimas de materiales y refacciones.

g) Controles.- constantemente deben revisarse las gráficas de control como la del avance real, croquis de pozos terminados y en proceso.

Control.

Con unos buenos reportes diarios se puede obtener qué porcentaje de tiempo se tiene sin actividades productivas, se puede determinar el tiempo parado, por diversas causas.

Se hace nuevamente la aclaración de que en **este capítulo** solamente se han enumerado los puntos que se juzgan de mayor importancia para el buen desarrollo de una obra de perforación de pozos; es claro que existen innumerables detalles que requerirán de toda la atención posible.

C A P I T U L O I I I

DESCRIPCION DEL EQUIPO
Y
SU METODO DE PERFORACION

PARTES DEL EQUIPO ROTARIO

OPERACIONES DE ROTATORIA

Uniones giratorias.

Las uniones giratorias desempeñan tres funciones que son:

- a) Sujetar el Kelly y la tubería de perforación.
- b) Permitir la rotación libre del vástago de transmisión y de la tubería de perforación.
- c) Suministrar una conexión para la manguera reforzada de perforación que se conecta para inyectar el lodo al vástago de perforación por medio de un acoplamiento giratorio por el que se inyecta a través de la tubería de perforación hasta el fondo del pozo.

En consecuencia, las principales partes componentes de la unión giratoria son, una chumacera de empuje de alta capacidad, que a menudo es del tipo de balero de rodillos y un sello giratorio para el fluido que consiste de anillos de hule o fibras, y anillos metálicos que forman un sello contra el miembro giratorio dentro de la caja. El sello de fluido está arreglado de modo que el lodo de perforación abrasivo y corrosivo no se ponga en contacto con los baleros.

La unión giratoria está suspendida de su asa del gancho de la grúa viajera o bloque viajero.

La entrada del fluido en la parte superior de la unión es un tubo suavemente curvado, al que se le llama CUELLO DE GANSO, que proporciona una conexión dirigida hacia abajo para la manguera.

De esta manera, la manguera de perforación queda soportada entre la parte superior fija de la caja de la unión y el tubo de unión que se extiende en parte hacia arriba de la torre y comunica-

con la bomba de lodo.

Las torres capaces de operar en perforaciones profundas - requieren uniones giratorias de mayor capacidad que los equipos usados en perforaciones poco profundas, la fig. 3.1 muestra una unión-giratoria.

El KELLY O VASTAGO DE TRANSMISION es hueco y su extremo superior está colgado de la unión giratoria.

El flujo del fluido de perforación pasa hacia abajo a través del vástago al interior de la parte superior de la tubería de perforación.

La sección transversal exterior del Kelly comunmente es - cuadrada aunque algunas veces se usan vástagos hexagonales. El propósito de la sección transversal exterior, cuadrada o hexagonal, es permitir la transmisión del momento de torsión de la mesa rotatoria a la tubería de perforación, la rosca de acoplamiento del extremo inferior del Kelly es derecha (similar a las roscas de los tubos de perforación) y la rosca en la parte superior es izquierda de modo que la rotación normal hacia la derecha tenderá a apretar todos los coples.

El momento de torsión es aplicado a la mesa rotatoria, a través de la boquilla del vástago y de ahí al vástago mismo.

Se usa entre el Kelly y la unión superior de la tubería de perforación una SECCION DE REEMPLAZO que protega al vástago. El uso de esa corta sección elimina la necesidad de desenroscar el extremo inferior del Kelly durante las operaciones de perforación y así evita el desgaste de la rosca en su unión. El acoplamiento del protector del vástago deberá ser menos resistente que el acoplamiento del Kelly. Este arreglo protector hará que si ocurre una falla, ésta sea en el reemplazo y no en el Kelly. Este economizador también provee un espacio para montar un protector de hule que evitará que el Kelly golpee contra el interior de la tubería de revestimiento, de modo que evita el desgaste de ambos.

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

Mesas rotarias o rotatorias.

La función principal de la mesa rotatoria es transmitir el momento de torsión (torque) e impartir el movimiento giratorio al vástago y a la tubería de perforación. La parte superior de la cubierta de la mesa rotatoria, por lo general, forma una proyección del piso de la torre y está provista de un labrado antiderrapante.

La mesa rotatoria es comunmente fundida de aleación de acero y ajustada por debajo con un anillo de engrane que se contrae contra la mesa propiamente dicha; la mesa está sostenida por baleros de rodillos o de bolas capaces de soportar el peso muerto de la tubería de perforación o de la tubería de revestimiento que pudiera bajarse al pozo.

Se colocan protecciones adecuadas para que el lodo o el agua no puedan meterse al baño de aceite destinado a los engranes o baleros.

Con frecuencia la fuerza para mover la mesa rotaria se toma del malacate y se le transmite con una cadena para engranaje y rueda dentada, con este arreglo del exceso de fuerza disponible, así como el impulso de las partes pesadas representa un riesgo de torcer la tubería de perforación si se llega a atascar la barrena. Este riesgo se reducirá si se puede usar una sola máquina de combustión interna para mover la rotatoria.

También se usan transmisiones independientes (separadas) para las mesas rotatorias y con éstas se usan una máquina de vapor, o de combustión interna o un motor eléctrico según el tipo de fuerza que tiene la planta del equipo.

Las mesas rotatorias se clasifican de acuerdo con:

- el tamaño del agujero, como 508 mm (20plg).
- la capacidad de carga muerta de la mesa, como 320 ton. (700 000lb).

En la fig. 3.2 se muestra una mesa rotatoria, vista en corte.

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

Tuberías de perforación, uniones de barrenas y herramientas.

La mayor parte de la columna de tubería de perforación la constituye la propia tubería.

El extremo superior de la tubería de perforación está soportada por el vástago de transmisión Kelly durante la perforación.

La tubería de perforación gira junto con el vástago Kelly y el fluido de perforación es conducido hacia abajo simultáneamente por el interior de la tubería y luego regresa a la superficie por el espacio anular exterior.

En un pozo profundo, la parte superior de la tubería de perforación está sujeta a considerable tensión durante la perforación, ya que la mayoría del peso de la tubería se sostiene desde la tierra.

La tubería de perforación en uso común está laminada en caliente, taladrada sin costura, grado D de A.P.I. (Instituto Americano del petróleo) con una resistencia al esfuerzo de 3876 kg/cm^2 (55 000 lpc) y el grado E de tubería de perforación tiene una resistencia al esfuerzo de 5285 kg/cm^2 (75 000 lpc) y también se puede obtener de acero de más resistencia.

La tubería de perforación más comúnmente usada es de clase 2 que tiene una longitud promedio de 10 m (30 pies) por tramo -- (entre uniones) de tubería, al agrandarse los acoplamientos de tubería da una longitud promedio de 10.30 m por cada tramo.

Los tramos de tubería se unen entre sí por medio de uniones de herramientas, lo que significa que hay una de ellas a cada 10.30 m de intervalo en toda la longitud de la columna. La mitad macho de la unión se fija a un extremo de cada tramo de tubería y la otra mitad a otro extremo de otro tramo.

La tubería ordinaria ha demostrado que no sirve para perforaciones y cuando se ha fabricado con mejor acero ha fallado en las conexiones roscadas.

Las roscas de dimensiones ordinarias no resisten las repeticiones aflojadas y apretadas que se requieren en viajes de ida y -

vuelta que son necesarios para cambiar barrenas gastadas.

Se ha logrado un funcionamiento satisfactorio ajustando estrechamente la unión de herramienta a la tubería y soldando una pestaña alrededor del extremo de la unión para que quede firmemente apretada en la tubería.

Además de las conexiones enroscadas, las uniones se soldan a tope en la tubería y algunas tuberías son suficientemente reforzadas para maquinarse la unión de herramienta en la propia tubería.

Las uniones de herramientas están sujetas a desgaste por rozamiento en su superficie exterior, pues invariablemente, rozan contra la pared del agujero.

Soldando pestañas de material de superficie dura alrededor de las juntas de herramientas, a menudo aumenta su duración al doble.

Si hay partículas extrañas presentes o se produce mucha fricción, se arrancarán partes del metal y se conglomerarán como bola de nieve lo que resulta en perjuicio de la rosca o de la superficie del tope que harán fallar la junta. Por esto es muy importante que las roscas y los toques se conserven limpios y protegidos con un lubricante adecuado para roscas.

La columna de tubería en un pozo profundo tiene las dimensiones relativas de un tramo de rosca, la forma larga y delgada de la columna de perforación le da cierta debilidad inherente, un tramo nuevo de tubería puede fallar por la aplicación de una tensión excesiva o un momento de torsión, aunque estas fallas son raras.

La mayoría de las fallas de tubería de perforación se originan por el proceso de corrosión-fatiga.

Esas fallas, por lo general, empiezan en el interior de la tubería. Grietas minúsculas se abren en la superficie y se cierran al trabajar la tubería en rotación y tensión o compresión y los fluidos corrosivos se bombean metiéndolos y sacándolos de la grieta de modo que ésta es agrandada tanto por falla mecánica como por corrosión hasta que el tramo de tubería se desecha o falla. La superficie de algunas tuberías de perforación se recubren con plástico para disminuir esa acción.

Cualquier movimiento de balanceo en la columna de perforación favorece las fallas por fatiga, este balanceo puede producirse en la parte superior de la columna por un vástago Kelly doblado. Antiguamente el balanceo en la parte inferior de la columna era común cuando todo el peso sobre la barrena lo constituía la tubería de perforación. Un choque violento como el que se puede producir si se aplica mucho peso en una barrena del tipo de arrastre, también puede producir fatiga y falla de la tubería.

Mangos (o collares) de perforación.

La sección inferior de la columna de perforación de la rotatoria está compuesta de mangos. El nombre de collares de perforación deriva originalmente del corto reemplazo que se usó para adaptar la junta roscada de la barrena con la tubería de perforación.

El objetivo de los collares de perforación o mangos, es suministrar peso y tensión en la porción inferior de la columna de perforación. Durante la perforación, la columna de perforación debe estar en tensión, ya que la tubería de perforación es esencialmente un tubo de espesor de pared mediana y tiene poca resistencia a la flexión por acción de la columna. Esto significa que la parte de columna de collares de perforación debe determinarse por el peso que actúa sobre la barrena. Durante la perforación de una capa de roca varía por instantes el peso sobre la barrena debido a la misma acción de ella, por lo que el peso efectivo de los collares de perforación sumergido en lodo debe exceder el peso promedio de la barrena como acusa el indicador de peso.

La práctica evoluciona, sin embargo, una de las recomendaciones que se hacían antes, era que el peso efectivo de los collares de perforación el 70% debería estar en compresión y suministrar el peso a la barrena.

Los collares de perforación (mangos) se hacen esencial -

mente con diámetros interiores y exteriores uniformes. El taladro interior de los collares de perforación es de 57 mm a 60 mm pero el orificio más pequeño tiende a producir caída de presión muy alta en el flujo del fluido de perforación y el uso del mayor resulta en muy poca diferencia en peso.

El diámetro exterior de los collares de perforación está limitado por el tamaño del agujero que se está perforando.

Se ha informado que la barrena trabaja mejor con el uso de collares de perforación de sobre medida y R.J. Bromell sugirió que los collares más grandes tenían menos torsión o más bien dicen la tenían en menor grado debido a que se ajustaban más al agujero y por lo tanto sostenían la barrena en el fondo más perpendicularmente reduciendo la descarga o sobrecarga de un cono de la barrena en un momento dado.

Uno de los propósitos que se tienen al usar esos collares de perforación con diámetro exterior más grande es el de producir un agujero más derecho. Hay cierta evidencia de que el uso de los collares de perforación más grandes tiende a reducir el que se pegen los collares de perforación en cajas de cuñas.

Las cajas de cuñas, generalmente, se forman en un rebordo donde un agujero que se había desviado algo de la vertical se endereza hacia abajo y una ranura que tiende a adquirir el tamaño del diámetro exterior de la unión de herramientas en la tubería de perforación, se forma en el área del lado del agujero que debe soportar parte del peso de la columna de perforación, al continuar ésta más profundamente.

Cuando se levanta la tubería en esas cajas de cuña, o ranuras, se presume que hay menos tendencia a que se atore un collar cuyo diámetro es apreciablemente mayor que el diámetro exterior de la unión de herramientas que en caso de que se trate de un collar de perforación sólo ligeramente más grande que las uniones de herramienta que continuamente se desgastan en la caja de cuña durante la perforación.

Barrenas de perforación rotatorias.

La barrena que hace la verdadera perforación está enganchada al extremo inferior del portabarenas. En el sistema rotario de perforación, el agujero se hace bajando la columna de tubería de perforación y collares de perforación hasta que la barrena toca o se acerca al fondo del agujero. Se establece la circulación del fluido de perforación por el interior de la tubería y el fluido es descargado a través de puertos o ductos en la barrena, de modo que ésta y el fondo del agujero se mantengan limpios. Se establece la rotación de la tubería por medio de la mesa rotatoria. La parte superior de la columna se baja entonces lentamente por medio del malacate o grúa hasta que el peso apropiado para la perforación, se aplica a la barrena.

El tipo de barrena que debe usarse en cualquier momento se rige principalmente por las características de la roca que se va a perforar y las condiciones bajo las cuales esto debe hacerse.

Para perforar los esquistos más duros, areniscas y calizas, se usan generalmente barrenas del tipo de ruedas dentadas.

Los estratos rocosos que se tienden horizontalmente son más fáciles de perforar que las capas inclinadas, en los que es necesario a menudo usar menos peso en la barrena para poder mantener vertical el agujero. Las rocas de carácter uniforme constituyen un solo problema, mientras que las capas duras y suaves, intercaladas, requieren un arreglo apropiado para que sea efectiva la penetración en el intervalo total.

Las condiciones de perforar incluyen la columna, particularmente el tamaño y peso de los collares, el peso que puede soportar la barrena durante la perforación, la rectitud y la verticalidad del agujero, la naturaleza del fluido de perforación, la velocidad de perforación, la acción de chorro empleada, la velocidad rotatoria y las precauciones de seguridad exigidas por el equipo de perforación, derrumbe de las formaciones, o la inversión financiera que representa la profundidad del agujero ya perforado.

Por lo tanto se usan diferentes tipos y variedades de barrenas en la perforación de pozos.

Las diferentes consideraciones económicas que generalmente se toman en cuenta exigen que el agujero se perforo al costo mínimo posible por metro. El costo total por metro depende, entre otras cosas, de la velocidad promedio de perforación y el total de metros perforados por barrena. El total de metros de perforación por barrena aumenta en importancia a mayores profundidades, pues se necesita más tiempo del equipo para un viaje de ida y vuelta para reponer la barrena gastada.

Tipos de barrenas.

a) Barrenas de fricción o arrastre.

Las barrenas de fricción no tienen partes que se muevan independientemente, y el término se adjudica específicamente a barrenas de tipo de aletas. La más sencilla de las barrenas de aletas es la que tiene sólo 2, separadas 180° una de otra y se le llama de cola de pescado.

También se usan barrenas con 3 ó 4 aletas pero éstas están espigadas en forma de que la longitud total de los filos cortantes no exceda al diámetro del agujero en más de 20%. Las paletas en las barrenas modernas se fabrican con incrustaciones de carburo de tungsteno o están endurecidas por algún otro método para reducir el desgaste.

Las barrenas de fricción o arrastre se usan para perforar formaciones suaves y en condiciones ideales, la acción de perforación se asemeja a la de un surco de tierra que renueve el arado, las corrientes de lodo dirigidas al fondo del agujero separan el material aflojado y lo levantan llevándolo hasta la superficie. En muchas formaciones suaves se puede hacer el agujero con la acción de chorro del lodo de perforación. En la mayoría de los casos la función principal del lodo es sacar los recortes y mantener limpios la barrena y el fondo del agujero.

b) Barrena de discos.

Estas barrenas son interesantes desde el punto de vista histórico. Son una especie de barrenas de fricción en las que los filos cortantes están montados en discos, los discos están montados excéntricos con respecto al eje de la columna de perforación para que cuando ésta gire, la acción de raspar en el fondo - haga que los discos giren lentamente. En esta forma los bordes de las paletas disponibles para perforar se aumentan en comparación con las paletas estacionarias de la barrena de fricción. Dos o cuatro discos son montados en las barrenas. El fondo del agujero perforado se redondea con la forma adecuada para que la corriente de lodo arrastre los recortes. La barrena de discos por naturaleza no tiene la capacidad para soportar peso de la barrena de fricción o arrastre y no provee tanto espacio en el fondo del agujero para eliminar los recortes.

c) Barrenas de cilindros cortantes.

Las barrenas más comúnmente usadas son las de cilindros cortantes. Estructuralmente, las barrenas se clasifican como:

- Barrenas de tipo cónico
- Barrenas de rodillos cruzados

Se maquilan hileras de dientes en los miembros giratorios, de modo que estas barrenas también se llaman de RUEDAS DENTADAS.

Los dientes están endurecidos con materiales como carburo de tungsteno para obtener la vida más larga de la barrena. Las ruedas dentadas giran independientemente, al girar la columna de perforación, los rodillos cortantes giran debido a su contacto con el fondo del agujero. Una adaptación reciente para la penetración de rocas muy duras ha sido la sustitución de incrustaciones redondas de carburo de tungsteno, en lugar de los dientes ordinariamente cortados en los rodillos y a éstas se les llama BARRENAS DE HOLON. Con respecto al tamaño de los puertos de descarga de

los lodos de perforación, las barrenas se clasifican como convencionales o de chorro.

En el diseño de barrenas con rodillos de ruedas dentadas cortantes, el tamaño de las partes giratorias está limitado por la geometría de las barrenas y el diámetro del agujero.

Las barrenas más grandes son capaces de trabajar bajo mayores cargas por centímetro de diámetro del agujero - que las barrenas chicas y dan mayor velocidad de penetración por lo menos hasta diámetros del agujero de 200 mm. Los dientes en las barrenas más grandes pueden hacerse más largos y esto coincide con la experiencia actual de que las barrenas más grandes pueden perforar más metros. Las barrenas de cilindros cortantes están diseñadas para formaciones suaves, medianas y duras.

Para perforar en formaciones más suaves, es recomendable tener dientes largos, delgados y espaciados para reducir la tendencia de los recortes a empasarse entre los dientes; en algunos casos, los dientes de un rodillo pasan entre las hileras de los dientes adyacentes. Esto permite el uso de dientes de barrena más largas y también se obtiene una acción limpiadora y desprendimiento de los recortes acumulados, los dientes largos y delgados se conservan relativamente afilados, aún cuando los dientes están bastante espaciados, su número debe ser suficiente para asegurar la rotación; los distintos elementos giratorios, como los conos, tienen número suficiente de dientes cada uno, esto se hace con el objeto de que los dientes de rodillo adyacentes no toquen el mismo lugar - en el fondo del agujero y el tamaño de las astillas es menor que el espacio entre los dientes, los dientes de la barrena en una formación suave tienden a raspar y arrancar del fondo del agujero, esto ayuda a la perforación.

Las barrenas de cilindros cortantes cuando se usan para perforar en formaciones duras, tienen los dientes más cortos y menos espaciados, esta disposición da la fuerza máxima y la superficie dentada que puede usarse para perforar la formación - y por ello aumentan los metros perforados por barrena. Los elementos rodantes están diseñados de modo que tienen una acción verdade-

ra de ruedas en el fondo del agujero, pues si resbalan tiende a aumentar el desgaste de los dientes de la barrena. La acción de perforar de esas barrenas, posiblemente, consiste en desprender pequeños fragmentos o granos de roca por la acción de molino (trituration) con el contacto de cada diente y ocasionalmente el desprendimiento de fragmentos más grandes que se pueden formar por arrugas acanaladas del molde de la barrena, así por ejemplo, donde una barrena está perforando a razón de 15 min. por 0.3 m y la mesa está girando a 60 rpm, la velocidad de penetración por revolución de la barrena es:

$$\text{Penetración por revolución: } \frac{30 \text{ cm}}{(15 \text{ min}/0.3 \text{ m})(60 \text{ rpm})} \\ = 0.33 \text{ cm por revolución}$$

La perforación eficiente de las formaciones duras requiere lastrar barrenas adecuadas, lo que es más, se debe considerar la evidencia como concluyente de que sobre la acción de perforación incluye grandemente la naturaleza del fluido de perforación y las relaciones de presión en el fondo del agujero.

Para formaciones que se perforan y que son intermedias, ni muy suaves ni muy duras, los diferentes fabricantes de barrenas tienen un amplio surtido para escoger las de características medias y perforar económicamente las formaciones que se encuentran. En algunos casos, se han fabricado barrenas con un cono cuyas características eran distintas de los de los otros dos y esa mezcla de elementos cortantes ha dado buenos resultados ocasionalmente, las puertas de descarga de lodo en los tipos convencionales de barrenas se llaman a veces CONDUCTOS DE AGUA.

d) Barrenas Zublin.

Esta barrena que lleva el nombre de su diseñador, es la única fabricada en los últimos años que tiene un movimiento articulado en su elemento constante contra el fondo del agu-

jero. Sin embargo, se emitieron varias patentes para barrenas de tipo articulado en los primeros tiempos. Cuando se gira la columna de perforación, el elemento cortante rueda a una velocidad más lenta mientras los dientes se deslizan hacia arriba y para abajo a todo lo largo del fondo redondeado del agujero con cada recolección de la columna de perforación.

e) Barrena diferencial Zublin.

Se han usado a veces para enderezar un pozo y para mantener vertical un agujero, también, se ha usado experimentalmente con la turbina de lodo, los elementos cortantes son pequeños y están montados en el borde de una rueda más grande. La rotación de la columna de perforación hace que los elementos cortantes rueden en el fondo del agujero que es redondeado. Como la rueda grande está montada descentrada, también, rueda lentamente para que los distintos elementos cortantes sean obligados a empujar progresivamente sobre el fondo del agujero. La corriente de lodo está dividida para que una parte lave las filas mientras están en su posición superior dentro de la caja de la barrena, mientras que la corriente principal de lodo barre el fondo redondeado del agujero librándolo de resortes.

f) Barrenas de diamante.

Estas al igual que las barrenas de fricción no tienen partes independientes móviles. Perforan por desgaste directo o escarbando el fondo del agujero. Los diamantes son mucho más duros que las rocas minerales comunes y es el único material que se ha usado económicamente para un servicio tan severo. Cuando se extraen los diamantes de las minas, las piedras con valor de gemas son separadas de los diamantes comerciales que son de color o de forma cristalina imperfecta, las mejores clases de estas piedras se usan para herramientas cortadoras, para tornos y para frezadoras.

Al fabricar una barrena de diamante, se maquina una forma de barrena de acero con roscas que se pueden acoplar a un tubo-estuche o a las lastra-barrenas. Los diamantes se colocan en el molde de una barrena y se cubren con metal pulverizado. Con la forma de barrena sostenida en posición el conjunto se calienta hasta que el metal pulverizado se funde y luego se enfría lentamente, de esta manera se sostiene en una matriz que está adherida a la base de acero de la barrena. La matriz está constituida en parte por partículas duras como el carburo de tungsteno, junto con una aleación más suave que trabaja como el material de liga. El material de ligadura deberá fundirse a una temperatura lo bastante baja para no dañar a los diamantes en el proceso.

Las partículas duras en la matriz son necesarias para evitar que se gaste o se erosione con el resultado de pérdida de los diamantes y falla de la barrena. Las barrenas de diamante son mucho menos sensibles a la naturaleza del fluido de perforación que las barrenas de rodillos cortantes. Se tiene la idea general de que los fluidos de perforación más delgados son más ventajosos para el trabajo de la barrena de diamantes y para su economía, a pesar de ello se continúan usando lodos espesos; también se distinguen en otros aspectos importantes, pues las barrenas de diamantes pequeños trabajan tan bien y mejor que las barrenas de diamante de gran tamaño y son por supuesto mucho menos caras.

Una desventaja de la barrena de diamante es su fragilidad, si se quedan en el fondo del agujero recortes o astillas, o rebabas de los dientes de una barrena de rodillos y caen de bajo de ella al girarla causarán una falla rápidamente; por esto, es indispensable lavar el fondo del agujero con circulación de lodo todas y cada una de las veces que la barrena de diamante se coloca en el fondo. En esta operación debe tenerse cuidado de que la pulsación de la bomba de lodo y consecuentemente la vibración longitudinal de la columna de perforación no haga que la barrena golpee en el fondo.

Mientras que velocidades de perforación ligeramente más altas pudieran ser más ventajosas para perforación más-

rápida, las barrenas son ordinariamente rodadas con el mismo grado de velocidad que las barrenas de rodillos cortantes a unas 40 a 100 rpm para evitar cualquier acción irregular de la columna de perforación que pudiera dañar la barrena.

Escariador.

El uso del escariador es agrandar el agujero ya perforado por la barrena, esa ampliación generalmente se restringe a la práctica de correr un escariador arriba de la barrena al estar perforando el agujero. En este caso, el escariador sirve de estabilizador de la barrena. Además, de un escariador directamente arriba de la barrena, uno o dos más se colocan en el tramo de lastra-barrenas en puntos donde se crea que puede encorvarse.

El propósito de usar escariadores en esa forma es poder usar mayores pesos en la barrena y poder conservar el agujero vertical.

Operaciones elevadoras.

La función del equipo elevador es meter o sacar los implementos necesarios al agujero tan rápida y económicamente como sea posible.

Las principales piezas de equipo que se usarán en el agujero son la tubería de perforación, tubería de revestimiento e instrumentos misceláneos para reconocimientos de pozos como los de registros y verificación de desvíos.

La tubería de perforación es probablemente el factor más importante en el diseño de equipo elevador, aún cuando las cargas de tubería de revestimiento puedan ser las mayores que tenga que soportar la torre.

En la operación ordinaria de perforación la barrena se desgasta a intervalos frecuentes, necesiéndose sacarla y reponerla lo que origina sacar toda la tubería de perforación. El número de veces que se tendrá que reponer la barrena dependerá de la profundid

dad del pozo y el carácter de las formaciones encontradas.

El sacar la tubería de perforación con el objeto de reponer una barrena gastada se llama generalmente HACER UN VIAJE, por ello, UN VIAJE DE IDA Y VUELTA se refiere a sacar y meter de nueva cuenta la tubería. El diseño de las torres de perforación está - - grandemente influido por los gastos que se cargan a la sacada de la tubería del agujero.

Los principales componentes de un sistema de elevación - son:

- a) Sistema de aparejo de poleas.
- b) Torre.
- c) Malacate.
- d) Equipo de elevación misceláneos como ganchos elevadores e indicadores de peso.

Sistema de aparejo de poleas.

El sistema de aparejo de poleas está compuesto de:

- a) Caballete porta-polea.
- b) Polea viajera.
- c) Cable de perforación.

La principal función de este sistema de aparejo de poleas es suministrar el medio para sacar el equipo o meter el equipo al - agujero.

La colocación en posición del equipo de perforación en el agujero es también una función del sistema de aparejo de poleas, así como el suministro de un medio de bajar gradualmente la columna de perforación en el agujero a medida que se va profundizando con - la barrena.

En la fig. 3.3 se muestra un diagrama esquemático de los elementos de elevación de una torre rotatoria.

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

Montacargas.

El punto de partida en el diseño de un equipo de elevación debe ser el sistema de aparejo de poleas usado para levantar o bajar tubería de perforación, tubería de revestimiento y otros equipos. Como ya se dijo, los sistemas de montacargas deben manejar pesos muy grandes.

Torres.

Las torres pueden ser portátiles o fijas, llamándose comúnmente MASTIL a la torre portátil. La torre fija se arma por lo general remachando unos a otros los miembros de la estructura.

Cuando se ha perforado el pozo, la torre puede desarmarse-desempernando y armándose otra vez en la siguiente localización.

Las principales consideraciones que se toman en cuenta en el diseño de una torre son:

a) La torre debe diseñarse para soportar con seguridad todas las cargas que se vayan a usar en los pozos sobre los cuales se coloca, ésta es la resistencia al colapso causado por cargas verticales, es decir, la capacidad de carga muerta de la torre. Normalmente, la carga muerta más grande que soporte una torre será la tubería de revestimiento más pesada que se meta al pozo, sin embargo, esta columna de tubería de revestimiento muy pesada no será el esfuerzo más grande a que se someta la torre. Probablemente, la carga máxima vertical que se imponga será el resultado de jalar un equipo, con tubería de perforación o revestimiento que se haya pegado en el agujero.

b) También debe diseñarse para soportar el empuje máximo del viento al cual está expuesto, también debe considerarse el hecho de que la tubería esté afuera del agujero y apilada en la torre durante periodos de vientos fuertes.

La fuerza horizontal del viento que se ejerce sobre la torre y la tubería de perforación se contrarresta con el diseño piramidal de la torre anclando los pies derechos de la torre usando de uno a tres tirantes o retenes en cada u-

no de los pies derechos de la torre. Estos tirantes se sujetan a un muerto situado a cierta distancia de la torre.

El MUERTO se hace de concreto o un trozo de madera que se entierran para servir de ancla al cable de retén. -- Los tirantes son cables de poco diámetro, por lo general, de menos de 13 mm de diámetro.

Las partes que componen una torre son:

- a) Plataforma superior.
- b) Caballete porta-poleas.
- c) Plataforma de trabajo.
- d) Pies derechos.
- e) Travesaños.
- f) Contravientos.
- g) Escalera.

La PLATAFORMA SUPERIOR suministra un lugar seguro para trabajar alrededor del caballete porta-poleas.

La PLATAFORMA DE TRABAJO es el área colocada a la altura apropiada de las paradas o tramos de tubos de perforación y sirve para colocar al obrero encargado de manejarlas cuando se sacan o insertan en el agujero. Los PIES DERECHOS de la torre -- son los miembros estructurales más importantes; cada uno, de los cuales hay cuatro, es continuo y se extiende desde la base hasta la CORONA o remate superior (corona). Los TRAVESAÑOS son las partes estructurales que conectan y soportan los cuatro pies derechos de la torre, los travesaños son partes estructurales horizontales.

Los CONTRAVIENTOS son las partes estructurales utilizadas para fortalecer la torre con refuerzos apropiados entre los travesaños. La ESCALERA se usa para tener un acceso adecuado a las partes superiores de la torre, principalmente para el obrero de la plataforma de trabajo y para el caballete porta-poleas. En la fig. 3.4 se muestra una vista en planta del piso de una torre

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo

Mástiles.

Un mástil, ilustrado en la fig. 3.5, se define como una estructura que puede moverse sin desmantelarse.

Los mástiles usados en la perforación de pozos petroleros puede variar desde una estructura sencilla para perforar pozos de poca profundidad hasta una estructura de cuatro pies derechos que se parece mucho a una torre normal.

Los mástiles se han fabricado con alturas tan grandes como 45 m y capacidades de carga de más de 454 ton. Estos mástiles se pueden usar con seguridad hasta profundidades cercanas a 5000 m en algunos lugares. El mástil requiere un método sencillo y efectivo de levantarlo y bajarlo, lo que generalmente se consigue usando el cable de perforación junto con un marco en forma de A de algún tipo.

Uno de los problemas que se presentaron en el desarrollo de las torres portátiles es el de suministrar suficiente lugar para trabajar en el piso de la torre y al mismo tiempo limitar las dimensiones de su base que permitan transportarlas en los caminos públicos.

La mayoría de los diseños que se fabrican son telescópicos o desarmables para lograr las dimensiones requeridas por las leyes de caminos.

Como resultado de la gran demanda de torres portátiles se ha llegado a 2 tipos básicos de mástiles:

- a) Mástil de pedestal libre
- b) Mástil retenido con vientos

El primero como su nombre lo indica, no usa tirantes para sostenerse. Si está diseñado podrá resistir cargas tan grandes como cualquier mástil sostenido con tirantes.

El material más comúnmente usado actualmente para torres es acero estructural con una forma u otra. El acero tubular se usa para reforzar los pies derechos de las torres.

Los mástiles de una sola estructura están hechos de acero tubular, muchos de ellos con tubería de revestimiento o tubería de línea. Como el problema del peso es el más importante en el diseño

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

de mástiles portátiles, en algunos, se ha usado aluminio estructural para fabricarlos lo que reduce considerablemente el peso.

Sub-estructuras de la torre.

En las operaciones de perforación se debe dejar un espacio para trabajar debajo del piso del faro. El espacio necesario dependerá del tipo de equipo que se esté usando y de las presiones de formaciones que se encontrarán en la formación del pozo. Para poder controlar las presiones de formación muy altas y evitar perder el control del pozo se deben colocar PREVENTORES de reventones en la tubería de revestimiento que se haya utilizado dentro de otras para que se pueda cerrar alrededor de la tubería de perforación, o si ésta está fuera del agujero se pueda usar como válvula para cerrar completamente la tubería de revestimiento.

Algunos preventores de reventones están diseñados para cerrar la abertura en la parte superior de la tubería de revestimiento sin considerar que la tubería esté dentro o fuera del agujero. El elemento de cierre está constituido por una manga de hule hidráulicamente expandida y que puede resistir cualquier presión que se espere encontrar. El elemento de hule en este tipo de preventores es suficientemente flexible para permitir la rotación y aún el retiro completo de la tubería de perforación mientras conserva un sello positivo.

Otros tipos de preventores están provistos de arietes que están hechos con acero cubiertos de hule duro. Los elementos selladores de este tipo de preventor no son flexibles y por lo tanto cerrarán sólo alrededor de una forma geométrica (anular). Si estos preventores están equipados para cerrar alrededor de la tubería de perforación y se hace necesario cerrar el preventor cuando la tubería está fuera del agujero entonces, por lo menos un tramo de tubería de perforación deberá colocarse en el agujero antes de que se logre un sello efectivo. Los arietes o elementos de cierre de estos preventores pueden cambiarse para ajustar sobre el tamaño de tubería que se esté usando, o bien con arietes ciegos que se cierran-

totalmente con la tubería fuera del pozo. En muchos lugares por lo menos se usan dos preventores en serie y entonces se necesitan varios metros de espacio abajo del piso de la torre. Para suministrar lugar amplio para trabajar, la torre se coloca sobre una sobreestructura quedando arriba del nivel del suelo.

La sobreestructura, generalmente, se hace de acero estructural y las cargas que debe soportar son superiores a las que soporta la torre, puesto que la sobreestructura debe resistir no sólo a la torre con su carga, sino cargas como la mesa rotatoria y el malacate también.

La torre y la sub-estructura deben colocarse sobre cimientos que resistan con margen de seguridad las cargas a las que se sujetan la torre y la sub-estructura.

Equipo de elevación misceláneos.

Además de la polea viajera, se necesitan otras piezas del equipo para el manejo adecuado de la tubería de perforación y otras partes del equipo que pueden usarse en el agujero. Otros 4 elementos importantes son:

- Gancho
- Eslabones
- Unión giratoria
- Elevadores

El GANCRO es una conexión entre la polea viajera y la UNIÓN GIRATORIA. Esta es un dispositivo que permite que la tubería de perforación gire sin hacer girar la polea viajera y los cables. Los GANCHOS y ELEVADORES se usan para sacar o introducir la tubería de perforación al agujero.

El gancho ordinario puede sustituirse por una conexión giratoria.

Uso de los cables de Acero.

El cable que se usa para perforación se fabrica armando alambre de menor diámetro en torones. Varios torones se retuercen alrededor de un alma para formar el cable. La trama de un cable

describe la dirección en la que los alambres y los torones están en vueltos con respecto uno del otro.

La fig. 3.6 muestra los 3 arreglos tipos de construcción. La vista A de la fig. 3.6 ilustra "trama derecha, trama regular" del cable. Trama derecha quiere decir que los torones están torcidos en dirección de la mano derecha cuando se ve desde una punta del cable. Trama regular describe el arreglo individual de los alambres de un torón y significa que los alambres están formando el torón dirigiéndose en sentido contrario a la dirección en que se colocaron los torones para formar el cable.

En el caso de trama derecha, trama regular, los alambres de cada torón están torcidos hacia la izquierda. La vista B de la fig. 3.6 muestra "trama izquierda, trama regular" como clase de cable. La designación de trama izquierda quiere decir que los torones se han torcido hacia la izquierda. Trama regular indica que los alambres que forma cada torón fueron torcidos en dirección opuesta al enrollado de los torones.

Así, en este caso el término trama regular significa que los alambres se torcieron en dirección a la derecha. El término trama lang significa que los alambres y los torones están torcidos en la misma dirección. La vista C de la fig. 3.6 muestra un cable de "trama derecha, trama lang". En los cables de trama lang los torones y los alambres de cada torón están enrollados en la misma dirección.

El alma de un cable de perforación alrededor del cual están envueltos los torones puede ser una cuerda de fibra o de alambre. La fibra usada como alma, en cable con alma de fibra, que están fabricados según las especificaciones A.P.I. debe ser Manila dura, torcida de la mayor calidad o henequén o su equivalente. En cables A.P.I. no se pueden usar almas de yute o cáñamo de la India. La fibra se impregna perfectamente con un compuesto lubricante para alargar la vida útil del cable. La principal ventaja de los cables con alma de fibra consiste en su mayor flexibilidad, puede enredarse en tambores y poleas más pequeñas sin dañarse que uno similar de alma de acero.

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

La principal ventaja del cable con alma de alambre consiste en su mayor resistencia. Es mucho más rígido que el cable con alma de fibra y por ello su uso está restringido a operaciones de perforación profunda en los que el equipo es grande y no se usan tambores y poleas de diámetro pequeño.

El cable de acero se describe por trama de los torones, trama de los alambres que forman los torones, material del alma, número de torones usados en él y número de alambres para cada torón.

Así un cable de trama derecha, trama regular de 6 X 19 con alma de fibra, queda bien identificada. Los términos trama derecha y trama regular describen la trama de los torones y de los alambres en cada torón; el número 6 da el número de torones usados para fabricar el cable, el número 19 se refiere al número de alambres para formar cada torón y se dice que el alma es de fibra.

Los alambres usados para formar un torón pueden tener diferentes diámetros al algunos diseños de cables. Para aumentar la resistencia y la vida útil del cable, algunos diseños de cables usan un alambre más delgado para llenar el espacio que normalmente en los torones no tiene alambre. Este alambre de relleno, cuando se usa, se designará en la descripción, generalmente, con el término RELLENO o SELLADOR.

El cable de perforación usado en operaciones rotarias está siempre arriba del nivel del suelo, nunca se baja al agujero. Su principal función es bajar, subir de cualquier otro modo, mangas, la tubería de perforación, la de revestimiento o cualquier otro equipo usado para perforar o terminar el pozo. Se requiere un cable relativamente corto y su longitud no depende de la profundidad del pozo, sino de la altura de la torre y del número de vueltas que da en las poleas del caballete y en la polea viajera. Comúnmente esfuerzos severos y condiciones que aceleran el desgaste de un cable hacen variar la vida útil del mismo. Por ello la inspección ocular continua es muy necesaria.

El trabajo principal del cable de perforación se concreta a cuatro operaciones específicas:

- a) Perforación o hechura de agujeros
- b) Viajes redondos para reponer las barrenas gastadas
- c) Meter tubería de perforación
- d) Operaciones diversas como pesca y toma de muestras

Las operaciones que comprende la perforación de una distancia equivalente a la longitud del vástago son:

1) Alzar la tubería de perforación, la longitud del vástago más unos metros adicionales.

2) Aflojar el vástago y bajarlo al agujero inclinado de ocho metros de profundidad aproximadamente (POZO RATA)-sirve como funda del vástago.

3) Elevar la polea viajera lo largo de un tramo de tubería para alzar el acoplamiento de otro tramo. El peso en este caso es el de la unión con el tramo de tubería y las poleas.

4) Bajar el nuevo tramo de tubería en el agujero.- Esto comprende el peso de toda la tubería de perforación más las poleas.

5) Levantar el vástago del agujero inclinado y unirlo a la tubería de perforación. El peso levantado es sólo el del vástago y el de las poleas.

6) Perforar el largo del vástago. El peso de la columna de perforación es igual al peso de toda la tubería y poleas menos el peso soportado por la barrena.

7) Alzar la tubería de perforación lo largo del vástago.

8) Escariar lo largo del vástago. El peso en la torre de perforación es igual al peso de toda la columna más el de las poleas.

Una gran proporción del trabajo desempeñado por el cable de perforación es en las operaciones de viaje redondo. El ciclo de operaciones desarrolladas durante un viaje redondo con la tubería de perforación se describe brevemente en seguida:

1) La tubería de perforación se levanta la longitud del vástago.

2) Se quita el vástago y se baja al agujero inclinado (ratonera); el peso considerado en esta operación es sólo el del vástago y el de la polea.

3) La tubería de perforación, se levanta la distancia de una parada, esta parada se desconecta y se apila en la torre. Se levanta con el cable todo el peso de la tubería de perforación y el conjunto de la polea.

4) El conjunto de la polea se baja hasta el piso del faro y se fija a la tubería de perforación para iniciar otra elevación. El peso manejado por el cable es sólo el de la polea viajera.

5) Se repiten los pasos 3 y 4 hasta que toda la tubería de perforación se ha sacado del agujero.

Al regresar la tubería de perforación al agujero, el procedimiento previamente descrito se repite en reversa, sin embargo, los pesos manejados y las distancias recorridas serán idénticas.

OPERACIONES DE MUESTREO: el trabajo ejecutado por el cable en las operaciones de extracción de núcleos es prácticamente idéntica al que hace el cable al perforar.

Malacates.

El malacate se ha llamado a menudo el centro de control de la fuerza de la torre de perforación, porque en él se encuentran colocados los controles requeridos para el trabajo del equipo. Las partes principales del malacate son:

- Bombos elevador.
- Aparejo de gatos.
- Frenos.
- Embragues.

El tambor elevador es probablemente la pieza más importante del equipo en el malacate porque es por medio de este tambor como se transmite la fuerza para sacar la tubería de perforación y en este tambor el cable de perforación se enreda y desenreda según se maneja el equipo en el agujero. La fuerza para el tambor viene de-

la planta de fuerza por medio de transmisiones adecuadas, ya sean mecánicas, hidráulicas o eléctricas.

Desde el punto de vista de suministrar la fuerza motriz para elevación, el tambor ideal tendría el diámetro más pequeño posible y también el mayor ancho posible. Esto es verdad porque la fuerza de entrada requerida para girar el tambor será una función no sólo del tiro del cable, sino también del diámetro del tambor. Al aumentar el radio del tambor aumentará la fuerza requerida. Hay velocidades máximas seguras a las cuales la cuerda puede enrollarse alrededor del tambor, que varían directamente con el diámetro del tambor permitiendo las velocidades mayores los tambores de mayor diámetro.

Los aparejos de gatos son pequeños tambores colocados en ambos lados del malacate. Se usan como fuente de fuerza para muchas operaciones de rutina en la torre, tales como enroscaado y desenroscaado ("armando" y "desarmando"), tubería de perforación o de revestimiento y jalando tramos de tubería de las estibas al piso de la torre. La mayor parte de los trabajos de "aparejos de gatos" se hacía a mano y se lograba enredando una cuerda de Manila, varias vueltas, en las poleas laterales y aplicando la fuerza necesaria por la fricción provocada por la cuerda de Manila en el pescante giratorio. Esta operación es sumamente peligrosa porque una vez que la cuerda se atasca en la polea, con el resultado de que se pierde la acción de deslizamiento de la cuerda, el "aparejo de gatos" inmediatamente se convierte en una fuerza poderosa que enrolla la cuerda en el tambor.

Los frenos son unidades importantes del conjunto del malacate, ya que de ellos depende parar el movimiento de cargas con mucho peso que se bajan al agujero. Cuando se hace un viraje redondo los frenos están casi continuamente en uso. Por ello, los frenos deben tener una larga vida y deben diseñarse a modo de que el calor generado al frenar se disipe rápidamente.

El freno principal de un tambor elevador es un freno mecánico del tipo de fricción, en la fig. 3.7 se muestra un diagrama de este freno. Está esencialmente compuesto de una banda flexible

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

(hecha de asbesto o de otro material resistente al calor y al desgaste) envuelta alrededor de un tambor. Un extremo de esta banda flexible está anclada permanentemente, mientras el otro es movable y sujeto a una palanca por medio de la cual la banda puede aflojarse o ajustarse contra el tambor giratorio. La palanca del freno está diseñada para proporcionar una ventaja mecánica en su acción para reducir al mínimo el calor generado por el uso continuo de los frenos de fricción al estar bajando equipo al agujero, se han desarrollado frenos auxiliares que ejecutan una gran parte de la acción de "retrasar" para que no se tengan velocidades excesivas de retardamiento.

Se han inventado 2 tipos básicos de frenos auxiliares, - uno hidráulico y el otro electromagnético. El freno hidráulico utiliza la fricción del fluido para absorber algo de trabajo hecho al bajar el equipo al agujero. El freno hidráulico está diseñado para impulsar el líquido en dirección opuesta a la rotación del tambor y así tiende a retardar la rotación del tambor. El freno electromagnético es esencialmente un par de campos magnéticos opuestos, cuya magnitud depende de la velocidad de rotación del tambor y de la magnitud de la corriente externa aplicada. Para que sean efectivos los frenos, ya sea hidráulicos o electromagnéticos, se requiere un movimiento ligero del tambor por lo que ninguno de estos frenos detendrá totalmente el tambor. Queda para el freno de fricción efectuar la parada total.

El embrague del malacate se usa para acoplar mecánicamente el tambor elevador con la fuerza transmitida. Uno de los tipos más antiguos de embrague fue uno mecánico o de quijada, así llamado por la naturaleza del cierre del juego de embragues, sin embargo, con la introducción de las plantas de fuerza con máquinas de combustión interna, el embrague de quijada no era satisfactorio pues ocasionaba golpes de carga que se aplicaban al sistema, se diseñaron embragues neumáticos para subsanar los inconvenientes de los embragues mecánicos. El embrague neumático u operado con aire es en realidad un embrague de fricción. Consiste básicamente en un elemento dilatante en el interior del cual se han fijado algunas zapatas de-

fricción que hacen que el embrague se engrane al dilatarse el elemento neumático.

Sistema de circulación.

En las operaciones usuales de perforación rotatoria, se utiliza más potencia (caballos de fuerza) en la circulación del lodo de perforación que en cualquier otra operación. Las bombas, líneas de flujo, tubería de perforación, boquillas y áreas en las que fluye el lodo merecen atención cuidadosa.

En la circulación normal, el lodo se bombea hacia adentro por la tubería de perforación, descarga por la barrena y regresa a la superficie por el espacio anular afuera de la tubería de perforación y dentro del agujero perforado y de la tubería de revestimiento colocado en el pozo. En circulación contraria, que sólo puede usarse donde no hay tendencia a perder lodo en las formaciones rocosas expuestas, el lodo se bombea por el espacio anular y regresa por el interior de la tubería de perforación a la superficie.

Las distintas piezas del equipo a través de las cuales pasa el lodo se describen en los siguientes pasos en el orden de circulación normal.

En las superficies se requieren PRESAS Y TANQUES para almacenar el exceso de lodo. El volumen así conservado en el sistema de circulación oscila entre 300 y 700 barriles. Las presas de lodo excavadas en la tierra con un tractor de cuchilla, son por lo general dos en número y de 2 a 3 m de ancho por 13m de largo y 1 a 1.25 m de profundidad. El molde de flujo que esta forma ofrece, permite el asentamiento máximo de burbujas de gas arrastradas con el lodo (presa de asentamiento). Las presas de lodo de acero, a menudo son de las mismas dimensiones anteriores, pues pueden ser transportadas por los caminos públicos en camiones.

A veces, se tienen 3 de estas presas de asentamiento, de tratamiento y de succión, y se conectan entre sí por medio de uno o más ductos de 305 a 405 mm de diámetro. Se colocan en los bordes de estas presas tuberías de 102 mm con conexiones para colocar bo-

quillas que pueden montarse para transegar el lodo y lanzarlo en chorros sobre la superficie. Estas boquillas para lanzar el lodo a chorros están alimentadas por una bomba auxiliar o mezcladora de lodo similar pero más chica que la de circulación (también llamada es copera de lodo movable que está en la presa de asentamiento y la pistola de barra fija colocada en la fosa de succión).

Las presas de acero y los tanques tienen la ventaja sobre las presas cavadas en la tierra ya que hay menos oportunidad de que el lodo se contamine con arena o con otros materiales, también las presas y tanques de acero están colocados sobre el nivel del suelo a modo de que puedan proporcionar cierta presión en la succión de la bomba.

Los recortes de perforación y derrumbes y cualquier cantidad de lodo que se retire del sistema, generalmente, se descarga o se lanza en chorros a la presa de reserva. Esta es un área, adyacente a las presas de lodo como de 9 m² aproximadamente, rodeada de bordos de tierra de 1 m de alto. El lodo de la presa de reserva es usado en ocasiones en que el lodo se ha perdido en la formación expuesta en el agujero.

Bombas de lodo.

Están en uso dos tipos de bombas de lodo.

Estas son las conectadas directamente, dos cilindros (duplex) de doble acción movidos a vapor y los de 2 cilindros de doble acción movidos con fuerza en las que los pistones se mueven por medio de un cigüeñal. Los dos tipos son de pistones y ambos bombeando por los dos lados del pistón. En un lado del pistón la capacidad por embolada se calcula por el diámetro del cilindro y la carrera del émbolo, mientras que del otro lado el volumen del vástago del pistón que corre de adentro a afuera por el prensaestopas, debe encontrarse para calcular la capacidad por embolada. Hay una válvula de entrada y otra de salida en cada uno de los extremos del cilindro. Los cilindros en las bombas de lodo están hechos con carcasas intercambiables, porque el lodo contiene arena abrasiva y las

superficies cilíndricas se rayan tarde o temprano a tal grado que se tienen que cambiar. Las camisas son cilindros huecos, simplemente lisos, que se ajustan dentro de la bomba de lodo, pero las superficies interiores son maquinadas lisas y altamente pulidas, hechas de acero endurecido por los diferentes fabricantes. Los elementos sellantes en los pistones, comúnmente, consisten de copas de hule duro que trabajan contra el interior de las camisas y se presionan con el líquido que se está bombeando, puesto que los pistones son de doble acción, cada pistón debe tener un juego de copas colocadas en un sentido contrario. Las copas de hule también son intercambiables. Las válvulas son operadas por la presión del líquido que se está bombeando. Estas también se pueden reponer, en general son de acero que sella sobre asientos de hule duro o un arreglo equivalente.

Las bombas de acción directa son fundamental e hidráulicamente piezas de equipo satisfactorias. El flujo de descarga de lodo en ella es muy regular, sin cambios notables en la presión o el volumen.

Con excepción del área de las válvulas, las bombas consisten esencialmente de cilindros, pistones y vástagos; trabajan lentamente a velocidades de cerca de 50 emboladas/min (ciclos). La presión del vapor pocas veces se tiene a más de 24 kg/cm^2 (350 lb/in^2). Si la fricción en el interior de la bomba, tanto de flujo como mecánica, se desprecia una bomba equipada con cilindros para lodo de 17.8 cm de diámetro (7 in) y cilindros de vapor de 35.5 cm (14 in), la que podrá entregar lodo a 4×24 , es decir, 96 kg/cm^2 . La presión disponible de entrega será de 60 a 80% de la teórica, dependiendo de las condiciones de operación.

Las bombas movidas por motor son aquellas en las cuales los pistones se mueven desde un cigüeñal, pueden fabricarse con cualquier número de cilindros y pueden ser de acción sencilla o doble. Las bombas de acción sencillas son las que bombean lodo sólo por un lado del pistón mientras que las de doble acción lo hacen por ambos lados. La única bomba movida con motor que se usa ampliamente en la industria de la perforación es de dos cilindros y doble acción.

Nota- Observar tablas adicionales al final del capítulo.

La bomba de motor está muy lejos de ser una máquina hidráulica perfecta. La inercia de las partes giratorias de la bomba tiende a darle a los pistones un movimiento de tipo armónico, lo que hace que las velocidades del pistón son altas cerca del centro de la carrera y se acerca a cero en cada extremo de ella. Cuatro emboladas de descarga se sobreponen en cada revolución, aún cuando la descarga es continua y no es suave.

LAS LINEAS DE SUCCION DE LODO de las presas o tanques a la bomba deberán ser por lo menos una vez y media, en diámetro, mayores que los cilindros de la bomba para que se pueda llenar completamente en cada embolada. El uso de bombas centrífugas para mantener una presión positiva en el lado de succión de las bombas, se introdujo en 1950. Esto ha permitido que las bombas se trabajen a velocidades 50% más altas que las usuales de 40 a 50 rpm.

LA LINEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE LODO es generalmente tubería de 101.6 ó 152.4 mm de diámetro doble extrarreforzada. Se acostumbra tener una cámara de amortiguación, con un poco de aire comprimido en la parte superior, cerca de la descarga de la bomba.

El aire comprimido sirve de colchón para suavizar parcialmente las variaciones de presión en la descarga de la bomba. La línea de descarga de la bomba de lodo siempre debe tener una válvula de seguridad, y ésta deberá estar protegida y equipada a modo de que el personal no vaya a sufrir daño o heridas cuando descarga la válvula.

LA MANGUERA GIRATORIA conduce el lodo del extremo superior del tubo regulador vertical que se extiende hasta la mitad de la altura de la torre hasta la unión giratoria que soporta la parte superior de la columna de perforación.

Las mangueras giratorias son por lo general de 7.62 mm ó más de diámetro interior para que no se tengan en ellas caídas de presión apreciables. La característica de flexibilidad permite elevar y bajar la tubería de perforación durante las operaciones de perforación mientras que el lodo se está bombeando a través y hacia abajo de la tubería.

La unión giratoria desempeña dos funciones. Permite que-

gire la tubería y conduce el lodo hacia ella. La unión giratoria está soportada por la polea viajera en la torre y a su vez la unión giratoria sostiene el vástago Kelly que es girado por la mesa rotatoria. Al elemento que cambia lentamente la dirección del flujo de lodo de la manguera suspendida, se le llama CUELLO DE GANSO.

Los diámetros interiores de la tubería de perforación, las uniones para tubería y lastra-barrenas y las secciones transversales de las boquillas de descarga en las barrenas, determinan la mayor parte de las pérdidas de presión en el flujo de los fluidos de perforación, las que a su vez fijan la presión que debe suministrar la bomba de lodo.

Los diámetros interiores de las uniones de tubería (porta herramientas) así como el diámetro interior de las lastra-barrenas deben ser también, suficientemente, grandes para evitar pérdidas excesivas de presión durante la circulación de lodo. El flujo de fluido de perforación regresa a la superficie por el espacio anular fuera de la tubería, el flujo ascendente del lodo pasa por el preventor de reventones y luego por la LINEA DE FLUJO casi horizontal que está debajo del piso de la torre que lleva el lodo otra vez a las presas de lodo.

UNA CRIBA VIBRATORIA, que por lo general está colocada en cima de la primera presa de lodo, recibe el lodo que regresa de la línea de circulación. La criba vibratoria es esencialmente un tamiz que se usa para separar los detritus de las perforaciones y los derrumbes del lodo.

Hay dos tipos en uso común. En un tipo la malla está en forma de cilindro cónico que gira debido al flujo del fluido. El otro es una malla inclinada montada horizontalmente en hule que se hace vibrar por la rotación de una masa excéntrica movida por un motor eléctrico o hidráulico. En los dos el fluido cae por gravedad a través del tamiz y los recortes de perforación, así como los restos de derrumbes, paran y caen por el extremo de la malla. Las aberturas de la malla son casi siempre rectangulares.

La criba vibratoria es el lugar favorito para agregar agua al lodo porque ahí el lodo que regresa por el tubo de fluido

si se compara con el lodo que se mueve lentamente en las presas. Una pequeña corriente de agua distribuida por un tubo con perforaciones se usa para lavar el lodo adherido a los recortes antes de que éstos salgan por el extremo del tamiz.

Otras piezas de equipo, incluyen CAMARAS DE VACIO, que eliminan el gas del lodo y las centrifugas que se usan para recuperar de los lodos de densidad alta el material, apesantarlos y mantenerlos semejantes con objeto de conservar lodos de perforación con peso específico mínimo.

Plantas motrices.

La planta motriz es el corazón de la torre de perforación. La energía producida por la planta motriz del equipo de perforación se usa principalmente para tres operaciones:

- 1) Rotación.
- 2) Elevación (con malacate).
- 3) Circulación del fluido de perforación.

Además de estas funciones fundamentales, el motor de la torre puede proporcionar energía para otras muchas operaciones auxiliares. Algunas son:

- 1) Criba vibratoria de lodos.
- 2) Bombas de alimentación de aguas a las calderas.
- 3) Sistema de alumbrado del faro.
- 4) Potencia para operar hidráulicamente los preventores de reventones.

Se puede exigir de la planta desempeñar a la vez todas estas operaciones o puede ser necesario ejecutar una sola y por último, puede tratarse de una combinación de funciones en un momento dado.

En cualquier forma el principal requisito de una planta motriz es la flexibilidad. La planta de energía debe diseñarse de modo que siempre que se requiera cualquiera de las dos últimas operaciones principales, pueda recibir, esencialmente, toda la potencia.

cia neta útil que ésta sea capaz de suministrar.

La fuerza para una torre de perforación es suministrada normalmente por vapor, máquinas de combustión interna, electricidad o una combinación de estas plantas.

La máquina de pistón libre y la turbina de gas pueden tal vez tener una aplicación en las plantas motrices de las torres de perforación, pero hasta ahora no se han usado.

Para seleccionar adecuadamente las diferentes partes del equipo, el diseñador debe tener un conocimiento completo de los requerimientos de energía para elevación, rotación y circulación.

Al seleccionar el tamaño conveniente de la planta de fuerza motriz para ejecutar un tipo específico de trabajo de perforación, debe referirse a determinadas unidades de fuerza.

Cuando un objeto es desplazado o movido a cierta distancia por la aplicación de una fuerza, entonces, se ha hecho trabajo en el objeto; matemáticamente el trabajo es igual al producto de la fuerza por la distancia.

Un principio importante en la operación de las plantas de fuerza es el momento de torsión (torque). Este es una medida de la capacidad de un motor para hacer trabajo y se distingue de la fuerza en caballos, en que el caballo de fuerza es una medida de la velocidad con que se hace el trabajo.

El momento de torsión es importante porque determina la capacidad de un motor para desempeñar un trabajo específico, mientras que la potencia en caballos determina la velocidad a la cual se puede hacer este trabajo.

Las máquinas en una torre de perforación deberán ejecutar una, o todas, de las siguientes operaciones al mismo tiempo:

- 1) Circulación.
- 2) Elevación.
- 3) Rotación.

Esto es para aumentar el momento de torsión inicial (de arranque) de una máquina, el tamaño de ella debe aumentarse.

Plantas de fuerza para torres de perforación.

a) Máquina de vapor.

La máquina de vapor es una de las plantas de fuerza de tipo más antiguo, usada en la industria de la perforación. La planta de vapor fue la única que se usaba en los viejos tiempos para las operaciones de perforación porque era la única existente que tenía la potencia y la flexibilidad para ejecutar las operaciones requeridas, poco a poco a medida que se desarrollaron las máquinas de combustión interna con mayor tamaño y menos costo, éstas fueron desplazando a las de vapor, a la falta de agua y al alto costo del combustible en muchos lugares se atribuye esta a sustitución, sin embargo, otro factor de gran importancia fue la poca portabilidad de las plantas de vapor.

La caldera es el corazón de las plantas de fuerza de vapor. Esta genera vapor del agua y el vapor suministra la fuerza para mover las bombas de lodo, girar la tubería de perforación y ejecutar las operaciones de elevación necesarias. Cuando el vapor llega al elemento motriz y hace el trabajo puede descargarse a la atmósfera o recuperarse para volverse a usar en el sistema. Si el vapor agotado se va a usar nuevamente debe condensarse para que el destilado pueda manejarse satisfactoriamente con la bomba de alimentación a la caldera.

La planta de fuerza de vapor es ideal para usarse en las operaciones de perforación por dos razones básicas:

- 1) En el momento de torsión máximo, se desarrolla en el motor paraco o a cero de velocidad en la máquina.
- 2) Hay una distribución de fuerza con flexibilidad máxima.

El desarrollo de la fuerza máxima a velocidad cero de la máquina es ideal desde el punto de vista de elevación, porque al levantar cargas pesadas desde el fondo, es conveniente empezar lentamente la operación. Lo que es más en operaciones de pesca, cuando se está tratando de recuperar equipo atascado la necesidad es de máxima fuerza a cero de velocidad.

Mejoramiento de la eficiencia de las plantas de vapor.

La demanda de más caballos de fuerza ha originado los siguientes cambios en el diseño de las plantas de fuerza de vapor:

1) Una construcción más fuerte que permita un aumento en la presión de trabajo de las calderas.

2) Un cambio en el diseño de las calderas de tal naturaleza que por la distribución de las superficies de calentamiento resulte mayor capacidad de caldeo.

3) El uso de material aislante para recubrir las calderas y las líneas de vapor.

4) La práctica de precalentar el agua de alimentación.

b) Maquinas de combustión interna.

La máquina de combustión interna obtiene la energía de la combustión de una mezcla de combustible y aire, con los productos de la combustión suministrando directamente la fuerza motriz haciendo trabajo sobre pistones desplazables. La energía producida por la máquina de combustión interna es utilizada por medio de eslabones de conexión con los pistones móviles.

Hay dos tipos básicos de máquinas de combustión interna:

1) La de encendido por chispa.

2) La de ignición por compresión.

La máquina de encendido por chispa produce fuerza encendiendo en un cilindro cerrado una mezcla de combustible y aire con flama o chispa.

Un extremo del cilindro está cerrado por un pistón movable, al encenderse la mezcla aire-combustible se expande causando el desplazamiento del pistón. Con bielas y cigüeñales convierte el movimiento lineal del pistón en el movimiento giratorio deseado en la flecha generadora de fuerza de la máquina.

Hay dos divisiones principales en la clasificac-

ción de máquinas de encendido por chispa:

- 1) Las de 4 tiempos por ciclo.
- 2) Las de 2 tiempos por ciclo.

La máquina de 4 tiempos por ciclo fue construida por primera vez en 1876 por un ingeniero alemán llamado Otto. Los principios básicos de la máquina Otto aún se usan en las actuales de encendido por chispa y por esta razón a las máquinas que operan bajo estos principios se les llama MÁQUINAS DE CICLO OTTO.

El ciclo de 4 tiempos de Otto consiste de:

- 1) El recorrido (del pistón) de succión que mete el aire y el combustible en el cilindro de la máquina.
- 2) El recorrido (del pistón) de compresión, que comprime la mezcla de aire y combustible y aumenta su temperatura.
- 3) El recorrido (del pistón) de fuerza, en el que la mezcla combustible arde forzando el pistón hacia el extremo del cilindro y en esa forma desarrolla la fuerza motriz de la máquina.
- 4) El recorrido (del pistón) de descarga, que saca del cilindro los gases de combustión preparándolo para la repetición de la serie precedente de movimientos.

La fig. 3.8, describe las fases que ocurren en el ciclo Otto de cuatro tiempos; con objeto de aumentar la fuerza producida por la máquina de cuatro tiempos, se diseñó una máquina que produjera un recorrido de fuerza del pistón en sólo dos tiempos de operación desarrollando así un recorrido de fuerza por cada revolución del cigüeñal.

En la máquina de dos tiempos la mezcla de aire y combustible se introduce en el cilindro en el recorrido inicial ascendente del pistón. La mezcla combustible es comprimida y encendida en el recorrido ascendente y la fuerza se produce en el recorrido descendente del pistón, cerca del final del recorrido descendente del pistón, los productos de la combustión son barridos fuera del cilindro preparándolo así para el siguiente ciclo. La serie de fases que ocurren en el ciclo de dos tiempos se ilustra en la fig. 3.9.

Para aumentar la fuerza producida útil de la máquina, es-

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

costumbre establecida el usar varios cilindros en vez de uno.

Como combustible, las máquinas de encendido con chispa, por lo general, usan gasolina, gas natural, gas licuado, butano o propano, o mezclas de éstos.

La máquina de ignición por compresión opera bajo el principio de comprimir aire, lo suficiente, para que cuando se inyecta combustible a este aire comprimido y caliente ocurra una combustión espontánea.

Este tipo de máquina que no requiere chispa para el encendido fue inventado por el ingeniero alemán Rudolf Diesel. Estas máquinas pueden trabajar en ciclos de cuatro o de dos tiempos.

El ciclo Diesel de cuatro tiempos consiste de:

1) La carrera de succión, que mete aire al cilindro.

2) La carrera de compresión, que ocurre al moverse el pistón reduciendo el espacio efectivo del cilindro aumentando así la presión y la temperatura.

3) La carrera de fuerza, que se obtiene inyectando aceite en el aire comprimido causando la combustión espontánea de la mezcla. Esta combustión de la mezcla combustible-aire aumenta la presión en el cilindro haciendo que se mueva el pistón.

4) La carrera de descarga, que elimina los gases inertes del cilindro.

La diferencia principal entre las máquinas de encendido por chispa y las de combustión espontánea es que en éstas no se usa chispa para el proceso de combustión, en vez de ello se usa un inyector de combustible que pulveriza el combustible en el cilindro en forma de una niebla fina. La inyección de combustible en el cilindro en forma de partículas diminutas acorta el tiempo necesario para el proceso de combustión completa, aumentando así la energía útil de la máquina.

Las máquinas de combustión por ignición se llaman comúnmente MÁQUINAS DIESEL en honor de su inventor.

Como la máquina Diesel debe comprimir la mezcla de combustible y aire hasta el punto en que se provoca la ignición-

La fuerza eléctrica es producida por un generador que mueve motores eléctricos, que a su vez suministran la fuerza para operar las bombas de lodo, malacates, mesas rotatorias y equipo auxiliar; debe contarse con una fuerza para mover el generador y, normalmente, ésta es suministrada por una máquina de combustión interna, o en muy raras ocasiones por energía eléctrica comprada. Así, una torre Diesel-eléctrica es aquella que está movida por motores eléctricos accionados por un generador, que a su vez mueve una máquina Diesel o una torre eléctrica, sería una, en la que el generador se mueve con un motor eléctrico, que trabaja con energía comprada. Es obvio que esta última sólo puede usarse en lugares donde hay suministro seguro de energía eléctrica.

Turbinas.

La turbina de gas como una máquina generadora de energía no es nuevo descubrimiento de hecho es una de las más viejas máquinas de combustión interna.

Una compresora centrífuga proporciona aire a una cámara de combustión a la que se inyecta combustible. Los gases de la combustión se dirigen, entonces, donde los gases calientes chocan contra las paletas de la turbina haciendo que muevan la flecha girando la y produciendo movimiento giratorio o energía mecánica. La combustión del combustible y el aire producen un gran aumento de volumen de gas y presión. Al entrar en la turbina los gases calientes, se reduce la presión y por ello aumenta considerablemente la velocidad del gas.

En la práctica, la turbina de gas se usa para mover la compresora de aire, por lo tanto es necesario contar con una fuente auxiliar de fuerza de arranque para iniciar el ciclo, ésta es suministrada, generalmente, por un pequeño motor eléctrico o una máquina de combustión interna.

Debido a la ausencia de movimientos recíprocos, la turbina de gas puede trabajar a velocidades mucho más altas que las máquinas de tipo de pistón.

espontánea, debe fabricarse para resistir mayores presiones que las máquinas de encendido con chispa. Como resultado de esto, una máquina Diesel es más costosa que una de gasolina.

Algunas veces se usan algunos métodos en la clasificación de las máquinas Diesel como:

- 1) Potencia intermitente.
- 2) Potencia nominal.
- 3) Potencia continua.

La potencia intermitente indica los caballos de fuerza al freno que la máquina puede desarrollar con escape libre durante 1 hora o menos. La potencia nominal es el número de caballos de fuerza al freno que puede generar la máquina por un periodo de doce horas. La potencia continua es la carga máxima recomendada en caballos de fuerza al freno, para servicio continuo de más de 24 horas.

Las máquinas Diesel pueden adaptarse para quemar gas natural en vez de aceite Diesel, a estas máquinas se les llama GAS-DIESEL o DE COMBUSTIBLE DUAL. El gas natural se inyecta en el centro de la parte superior del cilindro conteniendo el aire comprimido y caliente, una pequeña cantidad de aceite, llamado aceite piloto, inyectado al mismo tiempo tiene por objeto encender el aire comprimido caliente, que a su vez enciende el gas.

Energía eléctrica.

La energía eléctrica puede proyectarse para ofrecer la flexibilidad requerida en las operaciones de perforación de pozos petroleros. Para adaptarse a éstos, la energía eléctrica debe garantizar:

- 1) Una fuente de energía segura.
- 2) Una variedad muy amplia de características de velocidad-momento de torsión.
- 3) Una fuente de energía que esté en condiciones de competir, considerando todos los factores, con otras energías disponibles.

Equipo auxiliar.

Además de las 3 operaciones - circulación, rotación y elevación - muchas funciones secundarias se ejecutan y también requieren fuerza de alguna fuente. Se debe tener cuidado en la colocación de este equipo auxiliar, en la distribución de fuerza, pues de lo contrario puede no entregarse energía adecuada a una de las principales operaciones cuando sea necesario.

Algunas de las funciones misceláneas que requieren fuerza son:

- 1) Planta de luz.
- 2) Molacate de la cuchara (para limpieza de tubos, etc.).
- 3) Ventiladores o sopidores.
- 4) Cribas vibratorias.
- 5) Centrífugas de lodo.
- 6) Bombas de trasiego.
- 7) Compresores de aire.

Perforación rotaria.

Se explicará ampliamente en el capítulo V

Perforación con aire-gas.

En algunas regiones el gas natural se toma de pozos cercanos, se circula en el pozo en perforación y se quemá cuando sale de la línea de flujo.

En donde no se tiene gas natural a presión disponible, se usan compresoras de aire para forzarlo hacia abajo por la tubería de perforación. Se usan enfriadores en la descarga de los compresores para proteger la manguera rotaria y otras partes de hule del excesivo calor. Por lo general, esas compresoras son unidades auxiliares movidas por motores independientes, el volumen y la presión de entrega requeridos dependen de la profundidad y son también influenciados por la velocidad de penetración, tamaño de la tubería y

del agujero y condiciones del pozo.

Una gran cantidad de los recortes se soplan en la línea de flujo en forma de polvo. Cuando ese polvo tiene que controlarse se humedece a menudo con un rociador de agua o un método equivalente, también se han usado filtros.

La práctica ha consistido en reducir el peso en la barrena de 50 a 75% del usado cuando se perfora con lodo. Las velocidades de rotación también se reducen a 50-60 de los valores ordinarios. En estas condiciones los recortes pueden eliminarse del agujero tan pronto como se forman, ésto es un factor importante, porque la circulación deberá interrumpirse periódicamente para poder agregar un tramo de tubo de perforación a la columna, también en estas condiciones se obtiene una vida más larga de la barrena y se perforan más metros por barrena. El total de metros perforados por barrena así como la velocidad de penetración, son factores importantes en los costos de perforación, especialmente a profundidades mayores donde se requiere más tiempo de la torre para hacer un viaje redondo y reponer la carrena gastada, las penetraciones son de 50 a 500% mayores que cuando se perfora con lodo.

El agua que entra al agujero de las formaciones permeables constituye uno de los problemas más serios en la perforación con gas-aire. Pequeñas cantidades de agua hacen que los recortes de aspecto de polvo se adhieran unas a otras, a la tubería de perforación y a la pared del agujero los recortes húmedos pueden conglomerarse y pegar la columna de perforación. Se agrega una cantidad de agua, suficiente, de 40 a 100 litros/min para conservar los recortes en una condición móvil, también se usan aceites espumantes en cantidades de de 1.5 a 4 litros/hr para ayudar a conservar los recortes y agua dispersados. Se ha informado que el agregar estos agentes espumantes reduce la velocidad de perforación. Si entra al agujero una cantidad mayor de agua debe continuarse la perforación con agua o lodo.

Quando se usa aire hay peligro de incendio y explosiones. Algunos de ellos han ocurrido dentro del agujero. Se cree que éstos están asociados con el taponamiento del espacio anular por lo

que la presión en el sistema iba en aumento cuando ocurrió la explosión. En operaciones normales las presiones disminuyen continuamente en las condiciones de circulación.

Las principales ventajas de perforar con aire son:

- 1) No hay pérdida de circulación.
- 2) Gran rapidez en la perforación.
- 3) Larga duración de la barrena.
- 4) Menos daños en las zonas productoras.
- 5) Mejor descubrimiento de las zonas productoras.
- 6) Mejores muestras de perforación.

Como ya se mencionó, las causas de la mayor duración de la barrena son:

- 1) El efecto enfriador del aire esparcido por la barrena.
- 2) El gran volumen de capacidad enfriadora y las altas velocidades turbulentas del aire.
- 3) La rápida remoción de los recortes propios de la perforación.

Perforación con cable (Método de percusión).

Los métodos de perforación con herramientas de cable se han usado continuamente desde el primer pozo petrolero, el pozo --- Drake, que fue perforado cerca de Titusville, Pensilvania el 18 de Junio de 1859.

En este sistema todas las herramientas usadas en las operaciones de perforación se bajan dentro del pozo con cables. La maquinaria superficial principalmente consiste de MALACATES para retirar los distintos cables del agujero y algunos medios de impartir movimientos recíproco al cable de perforación, no se circula fluido en el agujero.

Las operaciones de perforación son de carácter intermitente y tienden a dar velocidades de penetración más lentas que los métodos de rotaria. Sin embargo, la inversión y los costos de operación son menores. Aún cuando muchos de los pozos han sido perfora-

dos con herramientas de cable a perforaciones de 2420 metros y más los límites de profundidad para la mejor operación son, probablemente, menos de 600 m.

El procedimiento general de perforación consiste en perforar de 1.5 a 2.4 m de agujero, retirar las herramientas de perforación, luego retirar los recortes de la roca perforada del agujero y después proseguir con la perforación. La cantidad total de elevación involucrada es proporcional a la profundidad del agujero. El material recortado de la roca se mezcla con agua, cerca de un barril de agua que debe tenerse, en el fondo del agujero. El movimiento recíproco de las herramientas de perforación causa el desplazamiento correspondiente del fluido en el fondo del agujero y el flujo ascendente y descendente del fluido, es muy efectivo para mezclar rocas en una suspensión pegada que se asemeja al lodo de perforación de la rotaria. Los lados acanalados de la BARRERA (trépano) tienen capacidad para ese movimiento del fluido y se les llaman CANALES DE CORRIENTE DE AGUA.

La suspensión de mezcla de roca, se elimina por medio de tubos con válvulas acecuadas. El diámetro de esos tubos es aproximadamente de 3/4 partes del diámetro del agujero y su longitud es comúnmente de 7 a 12.5 metros, se bajan con cables de acero de 10 a 17 mm y se les llama CABLE DE LA CUCHARA. EL ACHICADOR SIMPLE (o cuchara) es un tubo equipado con una válvula del tipo de bola en su extremo inferior; sin embargo, la bola puede levantarse de su asiento por medio de un dardo que está fijado a ella y sobresale del extremo inferior del achicador. EL ACHICADOR DE ARENA es un tubo equipado con un pistón y el cable del achicador está pegado al pistón. Por lo tanto, cuando el achicador de arena está colocado en el fondo del agujero, el primer movimiento del cable de acero del pistón levantará solamente a éste, de modo que el fluido es admitido por el extremo inferior del tubo mientras está en el fondo del agujero. El achicador de arena se usa para recoger granos de arena que se asientan en el fondo del agujero en ausencia de suficiente barro para producir una suspensión espesa. LOS CABLES DE ACERO de 10 mm a 25.4 mm de diámetro se usan como cables de perforación. En perfora

ción profunda se utilizan para mejorar el comportamiento de los cables, unos de sección cónica más gruesos en el extremo superior o boca del pozo y más delgados en el fondo del pozo. Los cables de manila de aproximadamente 50 mm de diámetro se usaron primitivamente como cables de perforación.

Esos cables se amarran en su extremo inferior a un casquillo que es parte de la columna de perforación. Los CASQUILLOS GIRATORIOS que permiten un movimiento de rotación, independiente de la parte inferior del cable, son muy ventajosos cuando se usan cables de acero.

La columna de perforación más sencilla consiste de una barrena, un vástago de perforación y un casquillo para el cable; estas partes están unidas entre sí por medio de uniones cónicas. El vástago es, comúnmente, de 127 mm de diámetro y 10 a 12.5 m de largo dependiendo del diámetro del agujero que se va a perforar.

El vástago (o barretón) proporciona peso que aumenta la fuerza del impacto producido por la barrena, y su longitud y rigidez ayudan a formar un agujero derecho. Cuando existen condiciones de derrumbes que pueden hacer que se atasque la barrena es necesario agregar un juego de percusores a la columna de perforación. Las partes que se mueven en los percusores son equivalentes a 2 eslabones de cadena y permiten el movimiento longitudinal.

La parte inferior de una barrena de cable común se parece a un cincel desafilado, al perforar, la barrena gira lo suficiente para chocar en posiciones sucesivas, diferentes, para hacer un agujero redondo.

Las tendencias a girar, que son activas al momento del contacto, se transmiten cuando la barrena golpea el fondo irregular del agujero cuando se perfora en rocas duras. Cuando se perfora en rocas suaves, la barrena gira principalmente por la torsión del cable que se genera de la tensión variable en el cable durante cada golpe.

El número de impactos requeridos para moler la roca en la superficie del fondo del agujero, depende del diámetro del agujero. Consecuentemente para un número de golpes por minutos dados, las ve

locidades de perforación son inversamente proporcionales al diámetro. Dicho de otro modo se requiere doble tiempo para perforar un agujero de 300 mm de diámetro que el necesario para perforar uno de 150 mm de diámetro.

La perforación fructuosa con herramienta de cable depende de que se les imparta un movimiento satisfactorio a éstas para lograrlo.

Los impactos más duros se logran con mayor frecuencia (y cesión rápida) y con acción suave cuando el cable está en tensión - al golpear la formación con la barrena.

La carrera ascendente del levantamiento del cable debe ser suficientemente lento para permitir que el cable levante las herramientas y se contraiga en toda su longitud. La carrera descendente inmediata puede dividirse en 2 partes principales. Durante la primera parte las herramientas y el cable caen libremente. Durante la segunda parte las herramientas se retardan y el cable se estira a la tensión requerida que corresponde al instante del impacto en el fondo del agujero. La longitud total de la carrera está delimitada por dos factores, el alargamiento necesario para producir la tensión en el cable y la distancia de la caída libre requerida. Esta última debe ser lo suficientemente grande para permitir que las herramientas alcancen suficiente impulso para estirar el cable y además producir un impacto efectivo en el fondo del agujero. La descripción anterior corresponde a un ciclo ideal.

La acción de la barrena y el vástago de perforación es amortiguada por el fluido del fondo del pozo. Cuando entra agua al agujero de las arenas que la contienen, de modo que todo o una gran parte de él se llena de agua, la acción de todo el cable es amortiguada aún más por el tiro viscoso del agua. En esas condiciones el movimiento de perforación es apreciablemente retardado, y los efectos de presión en la roca en el fondo del agujero disminuyen la tendencia a la fractura con lo que las velocidades de penetración se reducen mucho.

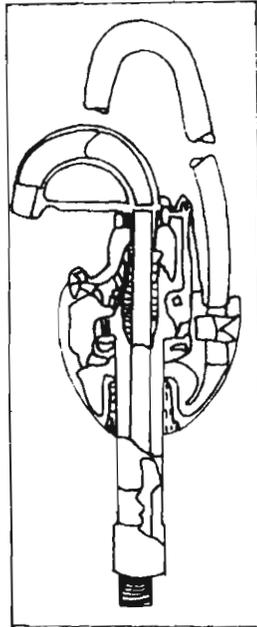
Plantas de fuerza para un sistema de perforación con cable.

Las necesidades de fuerza para la perforación con herramienta de cable son mucho menores que las requeridas para perforación rotaria. En las operaciones de herramientas de cable, el hecho de que no hay sistema de fluido de perforación elimina una necesidad de energía muy grande. El peso de las herramientas de cable en el agujero es materialmente inferior al peso de las herramientas rotarias.

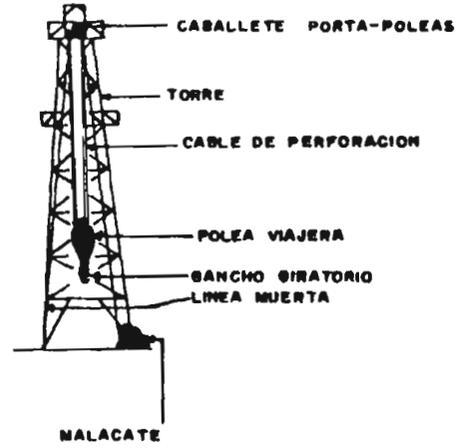
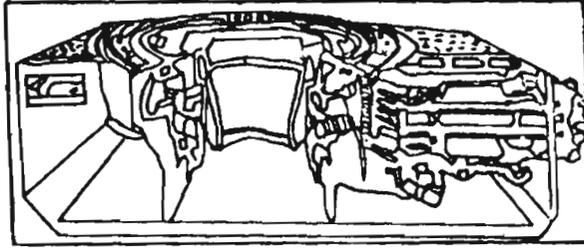
Básicamente una torre de perforación con herramienta de cable y una torre de perforación rotaria usan el mismo tipo de planta de fuerza, siendo la principal diferencia el tamaño. Una torre de perforación con herramienta de cable requerirá sólo una fracción de la potencia que necesita una torre rotatoria del mismo tamaño, - ésto es porque no se usa circulación de fluido no tubería de perforación, la necesidad de potencia para la circulación de fluido se elimina completamente y se reduce grandemente la necesidad de potencia para la elevación.

Deben considerarse 2 cosas importantes en los requerimientos de potencia de una torre de perforación con herramienta de cable y son el número de golpes por minuto deseados y la velocidad con que se desea sacar el vástago de perforación del agujero.

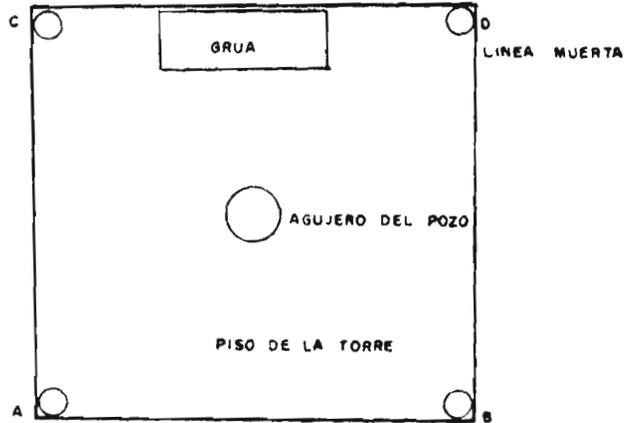
Para dar energía a las torres de perforación con herramienta de cable, se han usado plantas de vapor, eléctricas y de combustión interna. El vapor fue el primer tipo de fuerza usado y adaptado fácilmente a las operaciones de perforación con cable. La electricidad se usó por primera vez en el año de 1909.



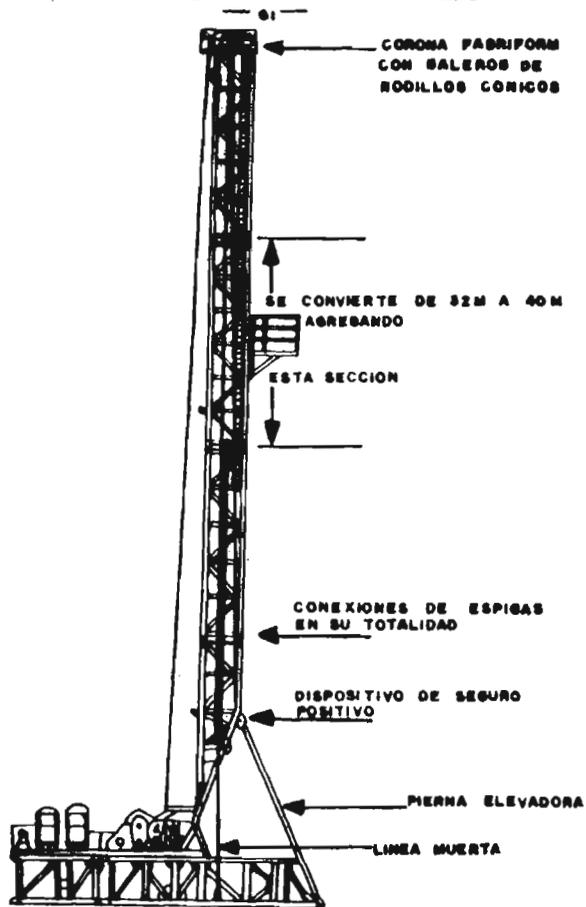
UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 3.1 UNION GIRATORIA (VISTA EN CORTE)		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS SNZ.	FECHA: SEPTIEMBRE 1989



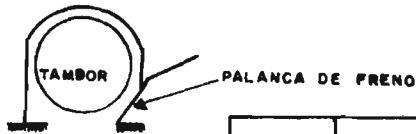
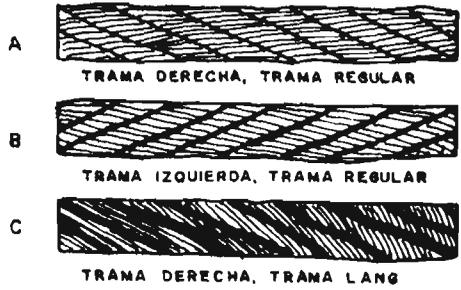
UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
FIG. 3.2 MESA ROTATORIA (VISTA EN CORTE) FIG. 3.3 ELEMENTOS ELEVADORES DE UN EQUIPO ROTATORIO			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA		REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS S.	
		FECHA: SEPTIEMBRE 1969	



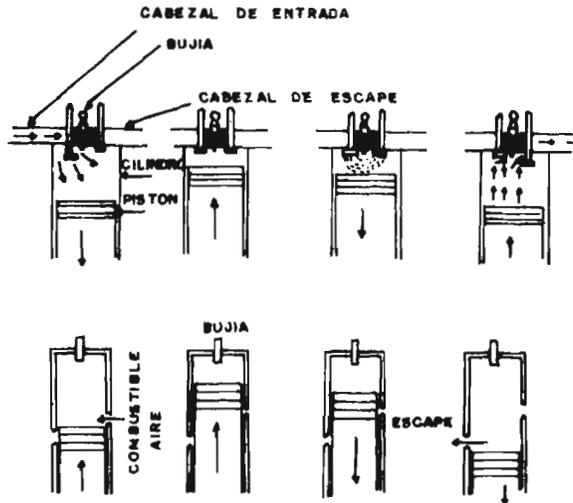
UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 3.4 VISTA EN PLANTA DEL PISO DE LA TORRE		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO SALEGOS G.	FECHA: ABRIL 1990



UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
FIG. 3.3 MASTIL			
ELABORO:	REVISO:	FECHA:	
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	ING RAMMO GALLEGOS G.	SEPTIEMBRE 1989	



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA.		
FIG.3.6. TRAMA DE CABLES DE ACERO. FIG.3.7. PRINCIPIO DEL FRENO MECANICO.		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO SALLEGOS G.	FECHA: SEPTIEMBRE 1999



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG.38 CICLO OTTO DE CUATRO TIEMPOS FIG.39 CICLO OTTO DE DOS TIEMPOS		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING RAMIRO GALLEGOS R	FECHA: SEPTIEMBRE 1989

	DIAMETRO DE CAMISA	ERROLDAS POR HIEUTO						MAXIMA PRESION PSI	VALORES POR REVOLUCION
		90	75	70	65	60	55		
NACIONAL N-1300	7-1/4"	850	780	725	675	625	570	2810	10.4
	7"	777	720	670	625	575	530	3050	9.6
	6-3/4"	710	665	620	575	530	495	3290	8.85
	6-1/2"	650	610	570	530	490	445	3580	8.13
	6-1/4"	595	560	520	485	445	410	3815	7.44
	6"	540	510	475	440	405	375	4000	6.77
	MAX H.P.	1600	1500	1400	1300	1200	1100		
NACIONAL N-1600	7-1/2"	815		715	615	510	460	4415	10.2
	7"	750		650	550	500	420	3910	9.4
	6-3/4"	695		610	555	520	475	4135	8.7
	6-1/2"	640		560	515	475	440	4510	8.0
	6-1/4"	585		510	470	435	400	4940	7.1
	6"	530		460	430	395	365	5440	6.6
	MAX H.P.	1370		1225	1000	875	755		

UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS G.	FECHA: ABRIL 1980

NACIONAL	DIAMETRO DE CAÑIZA	SERROLADAS POR HIBUTO					MAXIMA PRESION PSI	GALONES POR REVOLUCION
		70	85	60	55	50		
E-500	7-1/4"	700	650	600	550		1065	10.0
	6-1/2"	555	515	475	435		1350	7.92
	6"	465	430	400	365		1605	6.64
	5-1/2"	385	355	330	270		1950	5.47
	4-3/4"	275	255	235	215		2755	3.9
	MAX. H.P.	323	476	440	405			
NACIONAL E-700	7-3/4"		790	730	675	610	1790	12.2
	7-1/4"		685	630	580	525	1490	10.5
	7"		635	585	535	490	1605	9.76
	6"		450	415	380	345	2265	6.93
	5-1/2"		370	340	315	285	2760	5.60
	MAX H.P.		700	646	592	550		

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO			
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS G.	FECHA: ABRIL 1990	

NACIONAL	DIAMETRO DE CANISA	EMBOLIDAS POR MINUTO						MAYOR POSICION PSI	SALDOS POR REDUCCION
		65	60	55	50	45	40		
C-250	7-1/4"	660	610	565	510			810	10.2
	7"	615	570	520	475			875	9.5
	6-1/2"	575	485	445	405			1025	8.1
	6"	445	410	375	340			1215	6.8
	5-1/2"	370	340	310	285			1465	5.65
	5"	300	275	250	230			1810	4.6
	MAX R.P.	370	342	315	285				
C-350	7-1/4"		730	670	610	550		1195	12.8
	6-3/4"		630	575	525	470		1390	10.5
	6-1/4"		535	490	445	400		1640	8.9
	5-3/4"		445	405	370	335		1965	7.4
	5"		385	350	320	285		2485	5.4
	MAX R.P.		600	555	500	450			

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO			
RECEPCIONAL PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA		REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS G.	
FECHA: ABRIL 1990			

	DIAMETRO DE CARBIA	ENBOIADAS POR HUBO						MAXIMA PRESION PSI	GALONES POR REVOLUCION
		70	60	50	40	30	20		
OIL WELL 220-P	8"		990	830	665	495	330	995	16.58
	7-1/2"		870	720	580	435	290	1090	14.47
	7"		750	625	500	375	250	1270	17.48
	6-1/2"		640	530	425	320	210	1485	11.55
	6"		535	445	355	270	180	1765	8.93
	5-1/2"		445	370	295	220	150	2135	7.42
	MAX. R.P.		650	540	435	325	215		
GARDNER DENVER O I P	7-3/4"	870						1171	12.50
	7-1/2"	753						1357	10.76
	7"	698						1460	9.98
	6-1/2"	595						1712	8.50
	6"	500						2040	7.13
	5-1/2"	435						2470	5.91
	MAX. R.P.	700							

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA		REVISO: ING RAMIRO GALLEGOS G.	
		FECHA: ABRIL 1990	

OIL WELL	DIAMETRO DE CAMISA	EMBOLADAS POR HIEUO					MAXIMA PRESION PSI	GALONES POR REVOLUCION.
		60	50	40	30			
214-P	7-1/4"	570	475	380	285		765	9.51
	7"	530	445	354	265		820	8.85
	6-3/4"	490	410	330	245		890	8.19
	6-1/2"	455	380	305	225		960	7.56
	6"	380	320	255	190		1140	6.37
	5-1/2"	315	265	210	165		1195	5.28
	MAX. H.P.	300	250	200	150			
219-P	7-1/4"	735	610	490	365		915	17.24
	7"	680	565	455	345		985	11.34
	6-1/2"	585	485	390	290		1155	9.73
	6"	430	410	330	245		1370	8.19
	5-1/2"	410	340	270	205		1855	6.84
	5"	330	275	220	165		2040	5.5
	MAX. H.P.	460	385	300	225			

UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA		
ELABORO:	REVISO:	FECHA:
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	ING. RAMIRO CALLES G.	ABRIL 1980

	DIAMETRO DE CAPIZA	ENBOLADAS POR HIEUO				MÁQUINA PRESIOS PSI	CALORES POR RESOLUCION
		70	65	60	55		
ENBSCO D-1350	7-1/2"	859	758	736	675	2669	12.27
	7-1/4"	754	739	662	625	2660	11.37
	7"	734	682	629	577	3125	10.49
	6-3/4"	676	627	579	531	3592	9.65
	6-1/2"	619	575	530	481	3706	8.84
	6"	512	476	439	403	4474	7.52
	MAX H.P.	1575	1465	1350	1248		
ENBSCO D-1650	7-1/2"	859	798	736	675	3262	12.27
	7-1/4"	795	752	682	625	3520	11.37
	7"	734	662	629	577	3617	10.49
	6-3/4"	676	627	579	531	4148	9.65
	6-1/2"	619	575	530	481	4530	8.84
	6"	512	476	439	403	5469	7.52
	MAX H.P.	1925	1788	1650	1513		

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA		REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS S.	
		FECHA: ABRIL 1980	

ELABORO: VICTOR MANUEL ING RAMIRO		ALVAREZ MAYA	GALLEGOS S.	ABRIL 1990
REVISO: DIVERSA				
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION				
TRABAJO RECEPCION: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA				
UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA		

DIAMETRO DE CAMBIO		85	60	35	30	45	40	MAYIMA PRESION POR REVOLUCION	
ENFOCADO POR MIB 2 0		751	635	520	449	363	237	970	11.5
7-1/2"	7"	649	549	449	349	249	149	949	11.5
6-1/2"	6"	559	460	363	265	166	71	217	8.51
5-1/2"	5"	465	363	265	166	71	217	1566	7.15
4"	3"	363	265	166	71	217	1566	1908	5.90
3"	2"	265	166	71	217	1566	1908	2350	4.76
2"	1 1/2"	166	71	217	1566	1908	2350		
1 1/2"	1"	71	217	1566	1908	2350			
1"	3/4"	217	1566	1908	2350				
3/4"	5/8"	1566	1908	2350					
5/8"	1/2"	1908	2350						
1/2"	3/8"	2350							
3/8"	1/4"								
1/4"	3/16"								
3/16"	1/8"								
1/8"	1/16"								
1/16"	1/32"								
1/32"	1/64"								
1/64"	1/128"								
1/128"	1/256"								
1/256"	1/512"								
1/512"	1/1024"								
1/1024"	1/2048"								
1/2048"	1/4096"								
1/4096"	1/8192"								
1/8192"	1/16384"								
1/16384"	1/32768"								
1/32768"	1/65536"								
1/65536"	1/131072"								
1/131072"	1/262144"								
1/262144"	1/524288"								
1/524288"	1/1048576"								
1/1048576"	1/2097152"								
1/2097152"	1/4194304"								
1/4194304"	1/8388608"								
1/8388608"	1/16777216"								
1/16777216"	1/33554432"								
1/33554432"	1/67108864"								
1/67108864"	1/134217728"								
1/134217728"	1/268435456"								
1/268435456"	1/536870912"								
1/536870912"	1/1073741824"								
1/1073741824"	1/2147483648"								
1/2147483648"	1/4294967296"								
1/4294967296"	1/8589934592"								
1/8589934592"	1/17179869184"								
1/17179869184"	1/34359738368"								
1/34359738368"	1/68719476736"								
1/68719476736"	1/137438953472"								
1/137438953472"	1/274877906944"								
1/274877906944"	1/549755813888"								
1/549755813888"	1/1099511627776"								
1/1099511627776"	1/2199023255552"								
1/2199023255552"	1/4398046511104"								
1/4398046511104"	1/8796093022208"								
1/8796093022208"	1/1759218644416"								
1/1759218644416"	1/3518437288832"								
1/3518437288832"	1/7036874577664"								
1/7036874577664"	1/14073749155328"								
1/14073749155328"	1/28147498310656"								
1/28147498310656"	1/56294996621312"								
1/56294996621312"	1/112589993242624"								
1/112589993242624"	1/225179986485248"								
1/225179986485248"	1/450359972970496"								
1/450359972970496"	1/900719945940992"								
1/900719945940992"	1/1801439891881984"								
1/1801439891881984"	1/3602879783763968"								
1/3602879783763968"	1/7205759567527936"								
1/7205759567527936"	1/14411519135054872"								
1/14411519135054872"	1/28823038270109744"								
1/28823038270109744"	1/57646076540219488"								
1/57646076540219488"	1/11529215308043936"								
1/11529215308043936"	1/23058430616087872"								
1/23058430616087872"	1/46116861232175744"								
1/46116861232175744"	1/92233722464351488"								
1/92233722464351488"	1/184467444928702976"								
1/184467444928702976"	1/368934889857405952"								
1/368934889857405952"	1/737869779714811904"								
1/737869779714811904"	1/1475739559429623808"								
1/1475739559429623808"	1/2951479118859247616"								
1/2951479118859247616"	1/5902958237718495232"								
1/5902958237718495232"	1/11805916475436990464"								
1/11805916475436990464"	1/23611832950873980928"								
1/23611832950873980928"	1/47223665901747961856"								
1/47223665901747961856"	1/94447331803495923712"								
1/94447331803495923712"	1/18889466360699187424"								
1/18889466360699187424"	1/37778932721398374848"								
1/37778932721398374848"	1/75557865442796749696"								
1/75557865442796749696"	1/15111573088559349392"								
1/15111573088559349392"	1/30223146177118698784"								
1/30223146177118698784"	1/60446292354237397568"								
1/60446292354237397568"	1/120892584688474795136"								
1/120892584688474795136"	1/241785169376949590272"								
1/241785169376949590272"	1/483570338753899180544"								
1/483570338753899180544"	1/967140677507798361088"								
1/967140677507798361088"	1/1934281355015987222176"								
1/1934281355015987222176"	1/3868562710031974444352"								
1/3868562710031974444352"	1/7737125420063948888704"								
1/7737125420063948888704"	1/1547425084012789777744"								
1/1547425084012789777744"	1/3094850168025579555488"								
1/3094850168025579555488"	1/61897003360511591111696"								
1/61897003360511591111696"	1/1237940067210231822233392"								
1/1237940067210231822233392"	1/2475880134420463644466784"								
1/2475880134420463644466784"	1/4951760268840927288933568"								
1/4951760268840927288933568"	1/9903520537681854577877136"								
1/9903520537681854577877136"	1/19807041075363709157543728"								
1/19807041075363709157543728"	1/39614082150727418315087456"								
1/39614082150727418315087456"	1/79228164301454836630175112"								
1/79228164301454836630175112"	1/158456328602909732660350224"								
1/158456328602909732660350224"	1/316912657205819465320700448"								
1/316912657205819465320700448"	1/633825314411638930641400896"								
1/633825314411638930641400896"	1/1267650628823277871282801792"								
1/1267650628823277871282801792"	1/2535301257646555742565603584"								
1/2535301257646555742565603584"	1/5070602515293111485131207168"								
1/5070602515293111485131207168"	1/1014120503058622290262414336"								
1/1014120503058622290262414336"	1/2028241006117244580524828672"								
1/2028241006117244580524828672"	1/40564820122344891610495717344"								
1/40564820122344891610495717344"	1/81129640244689783220991442688"								
1/81129640244689783220991442688"	1/162259280489379566441988885376"								
1/162259280489379566441988885376"	1/324518560978759132883977771744"								
1/32451856097875913288397771744"	1/649037121957518265767955443488"								
1/649037121957518265767955443488"	1/12980742439153653155355108889792"								
1/12980742439153653155355108889792"	1/259614848783073063110711177779584"								
1/259614848783073063110711177779584"	1/51922969756614612622212255555917168"								
1/51922969756614612622212255555917168"	1/103845939513229224444245111114354336"								
1/103845939513229224444245111114354336"	1/207691879026458448888490222228706672"								
1/207691879026458448888490222228706672"	1/41538375805291697777780444457413344"	</							

	DIAMETRO DE CANTISA	EN BOLADAS POR MINUTO						MAXIMA PRESION PSI	CALORES POR REVOLUCION
		65	60	55	50	45	40		
I D E C O N H-600	7-1/4"	689	645	591	537	484	430	1350	10.75
	7"	649	599	549	499	449	399	1348	7.99
	6-1/2"	552	510	467	425	382	340	1302	8.50
	6"	465	429	393	356	322	286	1080	7.15
	5-1/2"	384	355	325	295	266	236	7280	5.90
	5"	309	285	262	238	214	190	2630	4.75
	MAX HP	600	554	508	461	415	369		
I D E C O N H-700	7-1/4"	687	655	587	529	476	424	1487	10.60
	7"	642	595	545	494	445	395	1525	3.84
	6-1/2"	545	505	462	419	376	336	1878	2.19
	6"	456	421	386	351	316	281	2246	7.02
	5-1/2"	375	346	318	289	260	232	2750	5.77
	5-1/4"	337	311	285	259	233	207	3058	5.18
	MAX HP	700	647	592	538	485	431		

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA		REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS S.	FECHA: ABRIL 1980

PISO LASTRA AZULES

DIAMETRO EXTERIOR PULG.	DIAMETRO INTERIOR PULG.	LIBRAS - PIS	LONGITUD		SQ PIES PIS.
			LAB.	REG/MG.	
4-1/8"	2	34.7	1040	71.1	640
4-1/8"	2-1/4"	31.9	995	90.0	450
4-3/4"	2-1/4"	46.7	1399	71.6	649
5"	2-1/4"	47.1	1494	70.0	710
6-1/4"	2-3/4"	47.8	2919	127.7	1190
7-3/4"	2-3/4"	170.9	1190	211.1	1820
7-3/4"	3"	150.1	4793	209.9	1050

T I C R A S

T I P O	TAMARO	DIAMETRO INT.	LIBRAS - PIS	LONGITUD		SQ PIES PIS.
	PULG.	PULG.		LAB.	REG/MG.	
Cuadrado	4-1/4"	2-3/4"	41.3	1692	63.55	750
Cuadrado	5-1/2"	2-1/4"	20.2	1129	42.55	502
Hexagonal	5-1/4"	3-1/4"	92.9	2116	81.01	956
Hexagonal	5-1/4"	2-3/4"	60.9	2436	91.66	1100
Hexagonal	4-1/4"	2-1/4"	59.6	1701	45.76	340

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO			
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS S.	FECHA: ABRIL 1990	

PESO TUBERIA DE PERFORACION

MEDIDA PULG.	ESPESOR PARED PULG.	P E S O D E L T U B O		PESO TOTAL APROXIMADO TUBO 20 PIES	
		4.59/MT.	5.53./PIE	528.	102.
2-3/8"	.280	9.32	6.65	91.5	186
2-7/8"	.362	15.49	10.4	135	311
3-1/2"	.368	19.79	13.3	175	372
4-1/2"	.377	24.70	16.6	216	464
5"	.352	23.22	13.5	253	546

MEDIDAS BASICAS

MED DA PULG.	O.D. JUNTA PULG.	I.D. JUNTA PULG.	I.D. TUBO PULG.	I.D. RECÁLADO PULG.
2-3/8"	3-3/8"	1-3/4"	1-13/16"	1-3/4" Ex. Upset
2-7/8"	4-1/8"	2-1/8"	2-5/32"	2-1/8" Ex. Upset
3-1/2"	4-3/4"	2-11/16"	2-44/64"	2-11/16" Ex. Upset
4-1/2"	5-3/4"	3"	3-53/64"	3-9/32" Int. Upset
5"	6-1/4"	3-3/4"	4-9/32"	3-11/16" Ex. Int. Upset

L O N G I T U D

RANGO 1	RANGO 2	RANGO 3
18 - 22 pies	27 - 30 pies	38 - 45 pies

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA		REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS G.	FECHA: ABRIL 1980

ESPECIFICACIONES TUBERIA DE PERFORACION

DIAMETRO EXTERIOR P.I.B.	LBS / PULG. ²	C O L A P S O						P R E S I O N I N T E R N A				T O R S I O N							
		D	E	G	D	E	G	D	E	G	D	E	G	D	E	G			
		LBS.	/	PULG.	LBS.	X	1000	LBS.	/	PULG.	LBS.	-	PIB	LBS.	-	PIB			
2-1/8"	6.65	10140	17480	17840	101	170	194	11350	15470	21660	3970	5420	7500	EXTERNAL-UPSET DIAMETRO INT. DEL TUBO 1-11/16" DIAMETRO EXT. JUNTA 3-1/8" DIAMETRO INT. JUNTA 1-3/4"					
2-7/8"	10.4	10730	15210	18980	157	214	300	12120	16530	23140	7540	10710	14020	EXTERNAL-UPSET DIAMETRO INT. DEL TUBO 2-5/32" DIAMETRO EXT. JUNTA 4-1/8" DIAMETRO INT. JUNTA 2-1/8"					
3-1/2"	13.3	9170	11290	16230	199	272	380	10514	15120	19800	11790	16080	22510	EXTERNAL-UPSET DIAMETRO INT. DEL TUBO 2-49/64" DIAMETRO EXT. JUNTA 4-3/4" DIAMETRO INT. JUNTA 2-11/16"					
4-1/2"	16.6	6760	8310	11950	242	331	463	7210	9830	13760	19580	26700	37370	EXTERNAL-UPSET DIAMETRO INT. DEL TUBO 3-55/64" DIAMETRO EXT. JUNTA 5-3/4" DIAMETRO INT. JUNTA 3"					
5"	19.3	6530	8060	11590	290	396	534	6960	9300	13300	26160	35870	49940	INTERNAL-EXTERNAL-UPSET DIAMETRO INT. DEL TUBO 4-9/32" DIAMETRO EXT. JUNTA 6-1/4" DIAMETRO INT. JUNTA 3-5/4"					

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO			
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
TABLAS ADICIONALES DE INFORMACION DIVERSA			
ELABORO:		REVISO:	
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA		ING. RAMIRO CALLEGOS S.	
FECHA:		ABRIL 1990	

C A P I T U L O I V

DIFERENTES FLUIDOS USADOS EN LA PERFORACION
DE POZOS.

Características de los fluidos y sus funciones principales.

El sistema de perforación rotatorio requiere el uso de un fluido que debe circularse con el objeto fundamental de remover los cortes producidos por la barrena en el fondo del pozo y para mantener ésta limpia y operando a su máxima eficiencia. De las características de los fluidos dependen grandemente la velocidad, la eficiencia y la seguridad de las perforaciones.

El término "fluido de perforación" incluye propiamente a sustancias gaseosas y líquidas empleadas como medio circulante en la perforación rotatoria. Emplearemos el término "lodo de perforación" para designar únicamente a los líquidos y a mezclas de gases con líquidos auxiliares en la perforación.

Las funciones de los lodos de perforación.

a) Mantener el agujero libre de cortes.

La habilidad de los lodos para extraer los - rípios cortados por la barrena depende en gran parte de la velocidad ascendente del mismo en el espacio anular formado por las paredes del pozo y la tubería de perforación. Por lo tanto, para que el lodo cumpla satisfactoriamente con esta función, debe de tomarse en cuenta, a la vez algunas de las propiedades físicas del mismo. - La capacidad de bombeo (presión y volumen) con respecto a los diferentes diámetros de agujeros que se perforan. En la facilidad de - los lodos para extraer los cortes influyen la viscosidad y la densidad. En algunas ocasiones se suple la falta de capacidad de una - bomba con un fuerte incremento en la viscosidad del lodo, en detrimento de la velocidad de perforación.

Las velocidades anulares requeridas durante la perforación para extraer los cortes dependen de la naturaleza de las formaciones perforadas y de los diámetros de las barrenas usadas. Generalmente se considera que una velocidad anular de lodo de 25 a 50 m/min (82.025 a 164.05 ft/min) es suficiente para perforar-

eficientemente bajo condiciones diferentes. El valor mayor se aplica en áreas donde se agranda el diámetro del agujero por derrumbes y/o áreas de perforación rápida. La velocidad anular baja se aplica cuando la perforación es lenta, en estratos de dureza media o alta. La siguiente tabla da los valores mínimos de velocidades anulares de acuerdo con el diámetro del agujero; sugeridas por un fabricante de barrenas, pero deben de tomarse en cuenta los factores arriba indicados relacionados con las características de la formación y también con el programa hidráulico que se especifica en cada pozo.

Diámetro del agujero (pulgadas)	Velocidad anular (m/min)	(ft/min)
14 3/4	24	78.744
12 1/4	27	88.587
9 1/2	34	111.554
8 1/2	37	121.397
7 5/8	40	131.240
6	43	141.083

b) Control de los flujos.

La presión hidrostática ejercida por el lodo debe exceder las presiones de formación encontradas durante la perforación, con un margen adecuado. Esto se consigue por medio de la densidad del lodo. Aparte de llevar un control preciso de la densidad, se deberán de tomar otras precauciones que evitan disminuir la presión hidrostática de la columna de lodo, tales como:

- 1.- Llenar el pozo a medida que se saca la tubería.
- 2.- Controlar la viscosidad y la fuerza de gelatinosidad del lodo para disminuir el efecto de succión al sacar la tubería de perforación del pozo.

3.- En algunos casos, sacar la tubería a una velocidad lenta para disminuir dicho efecto de succión.

Son muy variables las presiones hidrostáticas necesarias de un área a otra, a las mismas profundidades. Se han hecho estudios demostrando que en mayores presiones hidrostáticas, y las demás condiciones iguales, menor es la velocidad de perforación. Debido a esto se debe procurar emplear, en áreas conocidas, las densidades mínimas para trabajar con seguridad.

Las presiones hidrostáticas ejercidas por los fluidos de perforación pueden variar desde prácticamente cero, cuando se utiliza aire (densidad 1.29 kg/m³), hasta la que ejerce un lodo de peso específico, 3.84, que es el de valor máximo práctico que puede obtenerse actualmente empleando galena. Las densidades de los fluidos empleados aumentan en el siguiente orden, aunque en algunos casos puede haber diferente tipo de fluido con la misma densidad:

- Aire (o gas)
- Espuma
- Lodos con gas
- Lodos a base de aceite
- Lodos a base de agua con barita
- Lodos a base de agua con galena

El exceso de presión hidrostática que debe tener un lodo sobre una presión de formación ya conocida varía según el área en que se perfora, la profundidad del pozo y las características del lodo. A profundidades someras se emplea un margen de seguridad mayor debido a que interviene el factor tiempo que es mucho más limitado en el caso que se controle el pozo (generalmente se acepta como un margen de seguridad adecuado un exceso de 15 a 50 kg/cm²).

El valor de la presión hidrostática de un lodo está dada por la fórmula:

$$p = \frac{d \times H}{10}$$

en donde:

P.- Presión hidrostática, del lodo en kg/cm^2

d.- Densidad del lodo en gr/cm^3

H.- Profundidad a la cual se calcula la presión hidrostática, en metros

La densidad medida de un pozo es algunas veces menor que la densidad del lodo en el agujero, debido al contenido de cortes - que adquiere en el pozo y que tiene en suspensión pero normalmente se desprecia esa diferencia.

c) Prevenir el derrumbe de las paredes del pozo.

Algunas de las formaciones perforadas son inestables cuando quedan expuestas, desintegrándose y originando aumento en el diámetro del agujero aunque esta desintegración ocurre normalmente sin ocasionar mayores problemas que el aumento del diámetro del agujero, en algunos casos pueden sobrevenir fuertes derrumbes con peligro de que se pegue la tubería de perforación, de pescas costosas y algunas veces la pérdida del pozo.

Los problemas que normalmente origina el aumento en el diámetro del agujero son dificultades en las cementaciones de tuberías de revestimiento en interpretación de registros eléctricos, dificultades durante operaciones de pesca.

La presión hidrostática ejercida por el lodo y el filtrado del mismo son los que comúnmente se controlan para evitar los derrumbes. En algunas regiones se requieren viscosidades y gelatinosidades altas para disminuir los derrumbes y acarrear la formación derrumbada a la superficie.

d) Enfriar la barrena y lubricarla.

Prácticamente cualquier fluido que se pueda circular a través de la sarta de perforación sirve para eliminar el calor generado por la fricción de la barrena contra la formación. La falta de circulación que ocurre algunas veces por accidente, ori

gina la destrucción de los baleros de la barrena y de la barrena - misma en pocos minutos. La presencia de algunos sólidos en los lodos de perforación, como la barita, prolonga la vida de los baleros de la barrena y otros, como arenas abrasivos, la disminuyen.

Existen aceites y grasas especiales que adicionados al sistema de lodos actúan como lubricantes efectivos a altas temperaturas y presiones, prolongan la vida de los baleros en las barrenas, a estas grasas se les denomina de "grasas de presión extrema" - (C.P).

El aceite emulsionado en los lodos a base de agua y lodos de aceite proporcionan mejor lubricación tanto de la barrena como de la punta de perforación contra las paredes del pozo.

- e) Controlar la invasión de los líquidos de las formaciones productoras.

Al perforarse formaciones permeables ocurre inmediatamente una separación o filtración de las fases líquida y sólida de los lodos. Los sólidos se depositan en la cara expuesta de los estratos permeables, formando una película o enjarre y el líquido invade a la formación permeable, pudiendo dañar la productividad de la misma al reducir su permeabilidad, ya sea por bloqueo capilar o por acción del líquido filtrado sobre algunos de los sólidos que forman parte de la roca permeable, por ejemplo de arcillas.

Se disminuye la invasión del líquido controlando el filtrado de lodo, y se reduce el efecto nocivo del líquido filtrado con la adición de ciertos reactivos, tales como cloruro de sodio, ión calcio, surfactantes, etc.

- f) Descargar los cortes en la superficie.

Al salir el lodo del pozo, generalmente, se le hace pasar a través de un separador mecánico que elimina gran parte de los cortes extraídos por el lodo del fondo del pozo. Una pequeña parte de los sólidos de la formación pasa a través del sepa

rador mecánico y es necesario que se elimine en las presas de lodo por asentamiento o por centrifugación. Para facilitar esta función de los lodos de perforación, deberán controlarse sus propiedades, - especialmente la viscosidad y la velocidad de gelatinización.

g) Interpretación de los registros electricos.

La obtención de buenos registros eléctricos y su interpretación correcta depende frecuentemente de la composición del lodo en el pozo. Los lodos a base de aceite tienen una gran resistividad eléctrica y dificultan la obtención de buenos registros; por otro lado, la misma desventaja tienen los lodos salados los cuales tienen una resistividad eléctrica sumamente baja.

Sin embargo, las ventajas que proporcionan - estos tipos de lodos en ciertas formaciones pueden ser mayores que la desventaja de no obtener un tipo normal de registro eléctrico. Arbitrariamente se ha establecido la separación entre los lodos de agua dulce y los lodos salados en 10,000 ppm de NaCl, pero desde el punto de vista de operación de registro eléctrico, se considera que el lodo es de agua dulce cuando la relación de resistividad del filtrado de lodo con la resistividad del agua de formación es mayor de 4.

h) Control de la corrosión de la tubería de perforación.

En ciertas áreas los lodos de perforación - son vehículos de substancias altamente corrosivas que pueden ocasionar daños en todo el equipo, pero principalmente en las tuberías de perforación. Las causas principales de corrosión son:

1.- La presencia de sal en la formación o en el lodo de perforación. Un lodo saturado de cloruro de sodio es menos corrosivo que uno no saturado. La adición de algunos reactivos inhibidores de la corrosión disminuyen o eliminan el efecto corrosivo sobre las partes metálicas.

2.- Acción bacteriana en ciertos materiales de los lodos de perforación.

Manteniendo un pH adecuado y el uso de inhibidores evita o retarda las condiciones corrosivas del lodo.

3.- Presencia de aire, oxígeno libre y/o anhídrido carbónico en el lodo de perforación.

4.- La presencia de ácido sulfhídrico (H_2S).

El recubrimiento interior de la tubería de perforación reduce los efectos de un fluido corrosivo. Algunas veces conviene además el pozo cuando existen condiciones de fuerte corrosión. El inhibidor más comúnmente usado es el dicromato de sodio técnico ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$) en concentraciones de .7% a 1.5 kg/m^3 .

Composición y clasificación de los lodos de perforación.

La gran mayoría de los lodos de perforación son suspensiones sólidas en líquidos o en emulsiones líquidas.

El aceite o agua puros son en algunos casos lodos de perforación satisfactorios. Normalmente a estos líquidos hay que agregarles algunos reactivos o sustancias para obtener determinadas propiedades en los lodos, por lo que podemos generalizar o decir que un lodo consiste de:

- 1) Una fase continua (líquido base).
- 2) Una fase dispersa que forma geles, tales como sólidos coloidales que proporcionan la viscosidad, la tixotropía y el enjarre deseados (bentonita, barita).
- 3) Líquidos no miscibles en forma de emulsión que proporcionan propiedades lubricantes y reducen el filtrado.
- 4) Otros sólidos inertes dispersos, tales como material para dar peso, arena y cortes (sílice molida).
- 5) Varios reactivos en solución para controlar las propiedades físicas y químicas dentro de los límites deseados.
- 6) Ocasionalmente entran en la composición -

de los lodos, sólidos en suspensión para el control de pérdidas de circulación, reactivos para el control de corrosión y aceites lubricantes (E.F.).

La gran cantidad de sustancias que se emplean en la preparación de los lodos para resolver los diversos problemas que se presentan en la perforación de pozos, y las diferentes combinaciones que pueden hacerse de las mismas sustancias, dificultan establecer una clasificación satisfactoria de los lodos de perforación. La clasificación que damos a continuación es una modificación de la propuesta por Walter F. Rogers en su libro "Composition and properties of oil well drilling fluids". En esta tabla se han incluido otros fluidos que se utilizan en perforación y que no son los que catalogamos como lodos de perforación.

- 1) Aire y gas.
- 2) Espumas.
- 3) Lodos con gas.
- 4) Lodos de bajos sólidos
- 5) Lodos de agua dulce (contenido de NaCl menor de 1% y de ión calcio menor de 50ppm)
 - A.- agua dulce-fosfato (pH hasta 9.0)
 - B.- agua dulce-sosa-quebracho (pH de 9 a 11)
 - C.- Lodos rojos (pH de 11.5 a 13)
- 6) Lodos de agua salada (contenido de NaCl desde 1% hasta saturación)
- 7) Lodos tratados con calcio (se denominan de bajo contenido de calcio cuando la concentración de este ión en el filtrado es menor de 500ppm y de alto contenido de calcio o simplemente de alto calcio cuando la concentración es de mayor de 500 ppm)
 - A.- Lodos rojos tratados con cálcicos
 - B.- Lodos tratados con yeso
 - C.- Lodos tratados con cloruro de calcio

8) Lodos surfactantes

A.- Surfactantes cálcicos

B.- surfactantes sódicos

9) Lodos emulsionados

A.- Emulsión de aceite en agua

B.- Emulsión de agua en aceite (emulsión-inversa)

10) Lodos a base de aceite (la fase continua está formada por aceite, aunque pueden contener cantidades variables de agua emulsionada y en este caso caen en la clasificación de "emulsiones inversas")

11) Lodo de silicato de sodio

La elección del tipo de lodo que se emplea en un caso específico está sujeta a diversos factores: económico, de disponibilidad de materiales, de las características del equipo de perforación del tipo de formaciones y problemas que se presentan, naturaleza de los horizontes productores, calidad del agua y los materiales disponibles.

Propiedades del lodo y su cuantificación.

En los siguientes párrafos se describe el significado de algunas de las pruebas comunes que se hacen al lodo.

a) Peso específico.

El peso específico de un fluido de perforación es de gran importancia porque determina la presión hidrostática que el lodo ejercerá a una profundidad determinada, el término peso de lodo es sinónimo del peso específico del lodo.

El peso del lodo o peso específico de éste se expresa en kg/lt (en E.U.A. se expresa en galón de 231 in³, en algunos lugares también se expresa en in/ft³).

Cualquier volumen se puede pesar para deter-

minar el peso específico, sin embargo es recomendable usar una balanza para todo. Observar la fig. 4.1 al final del capítulo.

b) Viscosidad.

La viscosidad de un fluido es su resistencia interna al flujo. El concepto de viscosidad de Newton puede explicarse por analogía con una baraja. Cuando la baraja está sobre la mesa, si se mueve en dirección horizontal la carta de encima, cada una de las otras cartas resbalará ligeramente de modo que el movimiento total de deslizamiento se dividirá igualmente entre todas las cartas. Para llegar a una unidad común de viscosidad, considérase que las cartas tuvieran un centímetro cuadrado y que la baraja fuera de un centímetro de altura. Entonces, si una fuerza horizontal de una dina fuera suficiente para producir una velocidad relativa de un centímetro por segundo entre la parte superior y el fondo de la baraja, la viscosidad (resistencia interna al movimiento relativo) sería igual a un poise. Esto puede expresarse matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$\frac{F}{A} = n \frac{dV}{dz}$$

donde:

- F.- fuerza que origina el flujo, en dinas.
- A.- área de la superficie lateral sobre la que se aplica la fuerza, en cm^2 .
- n.- coeficiente de viscosidad, en poise.
- dV/dz .- gradiente de velocidad perpendicular a la dirección del flujo, en cm/seg o bien $\text{cm}\cdot\text{seg}^{-1}$.

El centipoise es la unidad preferida para expresar viscosidad, tanto porque es de tamaño conveniente como porque suministra una comparación con una sustancia conocida, el agua.

Los líquidos pueden dividirse en relación con sus características de flujo en 2 clases generales:

La primera incluye aquellos líquidos cuya viscosidad es constante a cualquier temperatura y presión dada, como el agua, glicerina, aceites para motor, kerosina, a éstos se les llama fluidos newtonianos (obedecen el concepto de viscosidad de Newton), no hay evidencia de una estructura interna permanente dentro del fluido.

La segunda clase de líquidos la forma aquellos cuya viscosidad no es constante a la temperatura y presión que se trata, sino que depende del flujo mismo como factor adicional, a estos fluidos se les llama fluidos no newtonianos. En particular los lodos de perforación tixotrópicos, aquellos que manifiestan una estructura de gel (o de aspecto gelatinoso) cuando están en reposo, son un magnífico ejemplo. Cuando empieza a fluir, su viscosidad medida aparente es alta, pero disminuye al continuar el flujo y la estructura de gel es destruida por la energía del flujo.

El primer instrumento probado para medir la viscosidad de los fluidos de perforación fue el embudo de Marsh, ilustrado en la fig. 4.2. La medida se hace llenando el instrumento (100 cm³ de capacidad) y determinando el tiempo en segundos requeridos para que 946 cm³ (un cuarto de galón americano) fluyan por el tubo del fondo del embudo. Es claro que el peso específico del fluido afecta el tiempo requerido. En algunos casos es más importante la influencia sobre el tiempo de salida, la tendencia del fluido a gelatinizarse durante el tiempo que dura la prueba y por ello oculta una viscosidad aparente mayor.

En el embudo de Marsh el agua tiene una viscosidad de 26 seg. Muchos lodos buenos tienen viscosidades entre 34 y 50 segundos.

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

c) Fuerza de gelatinosidad.

La mayoría de los fluidos para perforación - presentan cierto grado de tixotropía. Un fluido tixotrópico es - aquel capaz de originar una transformación del estado líquido al es- - tado gelatinoso con el reposo y que vuelve al estado líquido por - simple agitación. Los valores de la fuerza de gelatinosidad son me- - didas de resistencia al corte por deslizamiento (cizalla).

Se define un área de ruptura o deslizamiento dentro del material para considerar la fuerza necesaria para produ- - cir esa cizalla y medirla, por ello la fuerza de gelatinosidad po- - dría registrarse en g/m^2 . El viscosímetro Stormer se usa para me- - dir la fuerza gelatinizante, colgando pesas de un gramo en la cuer- - da que normalmente hace girar la cubeta. La fuerza de gelatinosi- - dad inicial se mide como los gramos requeridos para girar el eje en- - tre un cuarto y media vuelta cuando la medida se hace inmediata- - mente después de que el lodo ha sido agitado completamente. El visco- - símetro de Fann también se usa para medir la fuerza de gelatinosi- - dad y las dimensiones del aparato son tales que la carátula de la - lectura directa de la fuerza gelatinizante en libras por $100 ft^2$ - que multiplicada por 48.85 da g/m^2 .

d) Cualidad de pérdida por filtración.

La cualidad de pérdida por filtración de un- - lodo se llama comúnmente pérdida de agua del lodo. Los lodos más - convenientes son los de baja pérdida de agua para que no se formen- - costras gruesas de sólidos que pueden pegar la tubería en el agujero en las zonas de capas permeables expuestas.

También protegen zonas productoras potencia- - les, limitando la cantidad de agua que puede resumarse dentro de - ellas de los lodos con base acuosa. Esta cualidad de los lodos se - mide en la superficie en una celda filtrante clásica de baja pre- - sión. Se aplica a la celda una presión de $7.0 kg/cm^2$ ($100 lb/in^2$)-

5. y la pasta del lodo se forma sobre un papel filtro que cubre el fondo de la celda. El papel filtro está sostenido por una tela de alambre de malla de 60 a 80 y el agua que pasa por la torta del filtro y el papel sigue al tubo de drene por entre los alambres entretrejidos del tamiz. El líquido filtrado se recibe en un recipiente graduado y los resultados de la prueba se informa como los cm^3 de filtrado recogido en un lapso de 30 min. Luego se abre la celda y el papel filtro con la pasta de lodo se quita y se eleva ligeramente con agua. Se mide el espesor de la torta al milímetro y esto se puede hacer con una regla delgada de plástico que se cava en ella.

Contenido de arena.

El contenido de arena de un lodo que se determina diluyendo un volumen conocido de él con agua y pasándolo a través de un tamiz de 200 mallas. El tamiz se lava con más agua hasta que las partículas que no pasan por el tamiz debido a su tamaño quedan retenidas. Entonces se invierte el tamiz y las partículas retenidas se bajan con agua a una probeta graduada. La altura a la cual llegan las partículas en el lodo se toma como el volumen de granos de arena, y la cantidad de arena así medida se convierte (por medio de la graduación de la probeta) a un porcentaje de volumen original de la muestra de lodo. No es conveniente que existan grandes cantidades de arena porque se puede asentar en el agujero y porque es abrasiva a los cilindros de las bombas de lodo, camisas y válvulas. Son aceptables contenidos de arena menores de 1 por las razones expuestas, aunque 4 o más por ciento se tiene que tolerar algunas veces en las operaciones de perforación rápida a poca profundidad.

Pruebas químicas.

La mayoría de las pruebas químicas extendidas para controlar lodo se hacen en el líquido filtrado del lodo.

Sin embargo, el pH se mide por lo común colocando papel reactivo en la superficie del lodo completo.

La prueba Chaney para determinar si hay exceso de cal en el lodo también requiere una muestra de lodo completo, al mismo tiempo que otra del líquido filtrado y ambas se titulan con ácido sulfúrico 0.02 N a la fenolftaleína para determinar la cantidad de cal no disuelta que tiene el lodo.

El contenido de sal se mide cuantificando el ión cloruro que hay en el filtrado con indicador de cromato de potasio, se precipita el ión cloruro en una solución neutra diluida usando nitrato de plata. Los resultados se registran como ppm de cloruro o como ppm de cloruro de sodio (ppm de cloruro X 1.65 ppm de cloruro de sodio) y deberá establecerse claramente cual es la base usada para registrar los resultados.

La alcalinidad P es el número de c.c de ácido sulfúrico 0.02 N requeridos para titular un c.c de filtrado de fenolftaleína (pH 8.3).

La alcalinidad T es el número total de c.c de ácido sulfúrico 0.02 N (incluyendo la alcalinidad P) requeridos para titular un c.c de líquido filtrado usando anaranjado de metilo como indicador (pH 4.3).

La presencia de calcio en un lodo a base de agua dulce se identifica agregando unas gotas de solución de oxalato de calcio.

Pruebas piloto.

Las pruebas piloto de los lodos de perforación consisten en determinar las propiedades físicas de un lodo, agregando productos químicos y/o materiales para lodo a una muestra relativamente pequeña y posteriormente determinar el mejoramiento de las propiedades físicas como viscosidad, fuerza de gelatinosidad y pérdida por filtración. Los lodos de perforación son suspensiones coloidales complejas y como no hay exactamente iguales, su reacción a cualquier tratamiento variará de un lodo a otro por lo menos ligeramente.

La respuesta de un lodo a un tratamiento o adición de productos químicos o materiales puede predecirse durante las pruebas piloto en pequeñas muestras. Pueden evitarse o reducirse los resultados costosos y en ocasiones desastrosos de un tratamiento inadecuado observando la reacción en una pequeña muestra de lodo.

Aire como fluido de perforación.

El método de perforar con aire ofrece algunas ventajas - comparándolo con el método de perforar con lodo, pero la diferencia de éste la perforación con aire tiene aplicación únicamente en áreas donde las formaciones reúnan características especiales, tales como:

- Formaciones duras y consolidadas.
- Areas donde no haya flujos de agua y donde las presiones de las formaciones sean bajas.
- Areas donde no haya producción de aceites.

Sobre todo cuando estas áreas son ampliamente conocidas.

En la perforación con aire se siguen los mismos métodos que en la perforación con lodo, es decir, básicamente es la aplicación de peso y rotaria sobre la barrena, pero con la diferencia de que el fluido circulante es aire comprimido el cual tiene como función principal la de mantener el agujero limpio de recortes mientras se esté perforando y servir de medio para inyectar agentes espumantes para el control de flujos pequeños de agua.

Velocidades de circulación requeridas al usar aire-gas en perforación profunda.

La cantidad de gas o aire que debe fluir en dirección ascendente por el espacio anular mientras se está perforando se determina básicamente por los requerimientos para levantar los recor-

tes de perforación. La perforación con aire a poca profundidad, incluyendo operaciones de explotación, ha demostrado que una velocidad ascendente del aire de 910 m/min en condiciones atmosféricas es satisfactoria para el arrastre de los recortes de perforación.

El método usado para calcular la velocidad del flujo ascendente requerido consiste en el cálculo de una velocidad de flujo ascendente en el fondo del agujero que tenga una fuerza de arrastre igual a una velocidad de aire de 910 m/seg.

La densidad del gas en el fondo del pozo está influida por la presión de descarga del extremo superior del agujero, la pérdida de presión por fricción del flujo entre el fondo y la parte superior del agujero y la carga hidrostática del gas con su contenido de recortes arrastrados.

Consecuentemente la propia velocidad de perforación determina la velocidad de circulación requerida ya que influye en la carga hidrostática de la columna fluyente.

Con el propósito de determinar la velocidad del flujo ascendente en el fondo del agujero que sea equivalente a una velocidad de flujo de aire en condiciones atmosféricas de V , se puede escribir para condiciones atmosféricas de flujo de aire la fórmula de Rittenger para velocidades de deslizamiento:

$$V_{sa} = C \sqrt{\frac{P_s - P_a}{P_a}}$$

$$V_{sb} = C \frac{P_s - P_b}{P_b}$$

donde:

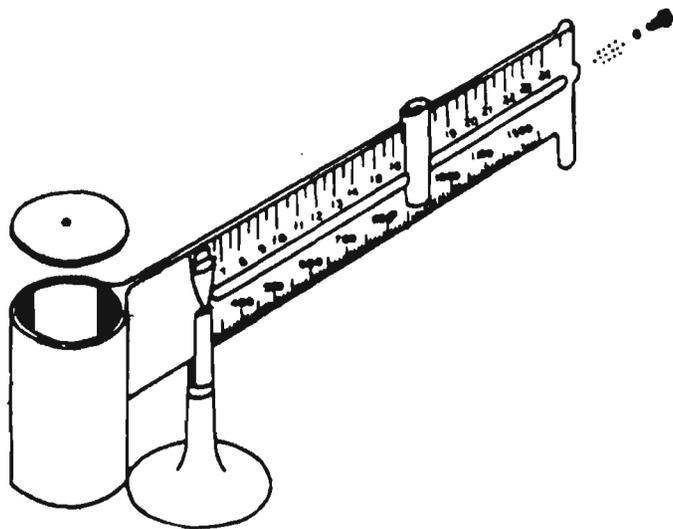
V_{sa} .- velocidad de deslizamiento (asentamiento) en el aire.

V_{sb} .- velocidad de deslizamiento en el gas a las condiciones en el fondo del agujero.

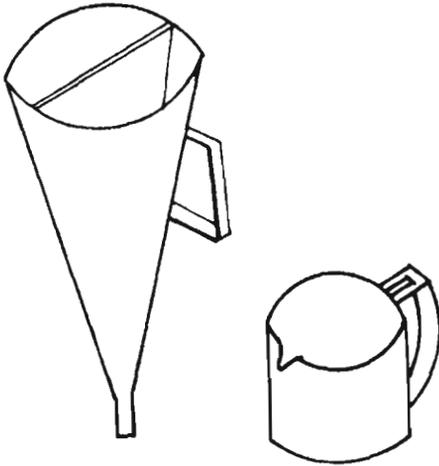
P_s .- densidad de los recortes.

P_a .- densidad del aire atmosférico.

P_b .- densidad del gas a condiciones del fondo del agujero.



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 4.1 BALANZA DE LODOS		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: INGRAMIRO GALLEGOS S.	FECHA: OCTUBRE 1989



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 4.2 EMBUDO MARSH Y JARRA		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING RAMIRO GALLEGOS S.	FECHA: OCTUBRE 1989

C A P I T U L O V

LA PERFORACION EN SI
Y
SU PROBLEMÁTICA

Descripción general del equipo rotatorio y de las operaciones necesarias durante la perforación de pozos.

En el sistema de perforación rotatorio, se perfora un agujero haciendo girar una barrena a la cuál también se le aplica peso es decir, una fuerza de compresión. La barrena está conectada y se hace girar por la sarta de perforación, la cuál consiste de tubería de perforación de acero de alta calidad y por lastrabarrenas (1); a medida que se profundiza el pozo se va agregando nuevos tramos de tubería de perforación. Los cortes o pedazos de formación que arranca la barrena son levantados por el fluido de perforación (lodo), que se circula continuamente para abajo por dentro de la tubería de perforación, sale a través de los orificios o toberas de la barrena y regresa a la superficie por el espacio anular (espacio formado por las paredes del pozo y por la tubería de perforación).

En la superficie el fluido (lodo) que sale del pozo se hace pasar a través de un cedazo o tamiz vibratorio (15) donde se eliminan los pedazos de formación. De ahí pasa a las presas (12), generalmente son tres, donde se da el tratamiento necesario al fluido

De la última presa succionan el lodo las bombas y se repite ciclo, bombeando a través del tubo vertical (16), de la manguera rotatoria (9) y de la unión giratoria (18) al interior de la tubería de perforación.

Periódicamente se saca del pozo la sarta de perforación para cambiar la barrena por otra nueva. La tubería de perforación se saca en "lingadas" de tres tubos cada una. Se acomodan estas lingadas en el piso de la torre por un ayudante de piso y en la parte superior por el ayudante de perforación (chango).

La torre o mástil (4) proporciona el claro vertical para bajar o subir la sarta de perforación al meterla o sacarla del pozo durante las operaciones de perforación. Debe tener la resistencia y la altura suficiente para efectuar estas operaciones en una forma segura y expedita. Las capacidades de carga de estas torres o mástiles varían aproximadamente de 45 a 700 toneladas, empleándose las más ligeras para perforar pozos someros y las más resistentes para pozo- Los números de los paréntesis corresponden a la fig. 5.1.

pozos profundos.

La subestructura (17) es, como su nombre implica, el soporte en el que la torre descansa. Debe resistir las cargas anticipadas con un factor de seguridad conveniente. Debe ser de suficiente altura para permitir la colocación y acceso de los preventores - (válvulas) empleados para cerrar el pozo en caso de emergencia.

El malacate (5) es una de las partes principales del equipo de perforación. Tiene las siguientes funciones:

a) Es el centro de control desde donde el perforador opera el equipo. Contiene los embragues, cadenas, engranes, aceleradores de las máquinas (6) y otros mecanismos que permiten dirigir la potencia de los motores a la operación particular que se desarrolla;

b) Contiene un tambor que recoge o alimenta el cable de perforación (11), para subir o bajar la polea viajera (3), según la operación. La potencia necesaria para las maniobras la proporcionan los motores (6). También proporcionan potencia para mover las bombas de lodo (13), compresoras de aire. Los motores pueden ser de combustión interna o eléctricos de corriente directa.

Las bombas (13) empleadas para circular el lodo de perforación son normalmente de pistones, de doble acción de tipo duplex (de dos pistones). Las bombas de pistón tienen las siguientes ventajas:

a) Habilidad para manejar fluidos que contengan alto porcentaje de sólidos, algunos de ellos abrasivos;

b) Válvulas con un claro suficiente para dejar pasar partículas sólidas grandes sin daños;

c) Sencillez de operación y de mantenimiento; las camisas, los pistones y las válvulas pueden ser cambiadas por el personal de equipo;

d) Amplia variación del volumen y de la presión disponible.

La flecha (10) es siempre la conexión superior de la sarta de perforación. Comúnmente es un tubo de sección cuadrada, pero puede ser hexagonal y octagonal. La flecha pasa por bujes ajustados que están en la mesa rotatoria (14), permitiendo que el movimiento -
Nota- Observar la fig. 5.1 al final del capítulo.

miento rotatorio de esta mesa se transmita a toda la carta de perforación, siendo ésta su función primaria.

Los lastrabarrenas son tubos de acero de pared gruesa, cuya función es proporcionar la carga de compresión en la barrena, permitiendo que la tubería de perforación más ligera permanezca en tensión. Observar la fig. 5.1 al final del capítulo.

Pérdidas de circulación.

Ací se considera al problema de la pérdida de volúmenes de lodo que salen fuera del sistema de circulación del pozo y que generalmente se van formando adentro, pueden ser totales o parciales. Son totales cuando es tal la magnitud del lodo perdido y que por la naturaleza de la formación (granular) obligan a suspender la operación; y parciales cuando el volumen que se ha perdido es de poca consideración, la circulación se sigue estableciendo hasta recuperarse en un 100%.

Las pérdidas de circulación es uno de los problemas más viejos y comunes de la perforación rotatoria. Se le ha definido como la pérdida del lodo en grandes cantidades en la formación; puede ocurrir a cualquier profundidad, en cualquier parte en que la presión ejercida sobre la formación exceda a la presión total de la formación y las aberturas en la formación sean cerca de tres o dos veces más grandes que el tamaño de las partículas existentes en el lodo.

Las causas para que se genere una pérdida de circulación son:

a) Los agujeros inherentes en la formación.

- 1.- Formaciones no consolidadas, granulares y permeables.
- 2.- Formaciones cavernosas.
- 3.- Formaciones con fallas y fisuras.

b) Las aberturas que se crean por malas técnicas de perforación.

- 1.- Densidad alta, propicia el exceso de presión hi-

drostática e induce la fractura en la formación.

2.- Condiciones de operación tales como, exceso de revoluciones por minuto en la mesa rotaria y en la presión de bombeo.

Otras fracturas son inducidas mecánicamente y son la causa de la mayoría de las pérdidas de circulación por malas técnicas, generalmente por aumentos de presión. La magnitud de los aumentos de presión desarrollados debido a bajar demasiado aprisa la tubería, puede ser equivalente a aumentar el peso del lodo en 30 ó 40% del que existe; y si el diámetro del agujero es pequeño, estas presiones pueden ser mucho más aumentadas.

Cualquier cosa que cierre o reduzca el espacio anular, puede causar incremento de presión. Pueden acumularse cortes o hincharse las lutitas, obstruyendo o cerrando completamente el espacio anular. En tales casos, la presión de la bomba se añade totalmente a la presión hidrostática y si las formaciones son suficientemente fuertes para resistir la presión adicional, estas obstrucciones pueden desplazarse del agujero, pero si, por el contrario son débiles, pueden aparecer fracturas bombeando lodo a la formación.

También algunas propiedades del lodo pueden causar que la circulación se pierda, por ejemplo, las gelatinosidades altas hacen que el lodo se mueva en forma difícil, pudiendo romperse las formaciones, ésta es la razón por la cual debe romperse la circulación a diferentes intervalos al meter tubería en agujeros profundos.

Pueden aplicarse materiales de pérdida para recuperar la circulación empleando dos métodos:

- 1) Añadirlos al sistema completos de lodo.
- 2) Añadirlos a una porción de lodo y colocarlos en la zona de pérdida.

Los materiales voluminosos más usados pueden agruparse estructuralmente en cuatro tipos:

- 1) Fibrosos: bagazo, paja, fibra de madera, fibras de cuero.
- 2) Granulares: caliza graduada, cáscara de nuez fina, media y gruesa.

3) Escamas: papel celofán, mica fina y gruesa.

4) Tapones reforzantes: arcillas fraguables, materiales granulares con productos químicos.

Todas estas técnicas son aplicables en la perforación de pozos petroleros, por desgracia, en la perforación de pozos de agua no es posible llevarlas a cabo ya que sus condiciones de explotación son muy diferentes.

Las pérdidas de circulación se clasifican en naturales e inducidas.

Naturales:

- a) Totales
 - Cavernas
 - Fracturas
 - Gravas limpias
 - Arenas limpias
- b) Parciales
 - Arenas mal consolidadas
 - Areniscas
 - Calizas fracturadas

Inducidas:

- a) Totales
 - Por fracturamiento de la formación debido al peso de la columna hidrostática
- b) Parciales
 - Por excesiva velocidad al meter la herramienta

Derrumbes.

Así se le llama a la caída de las rocas fragmentadas al agujero perforado, puede ser ocasionado por meter la herramienta con velocidad, al sacarla muy rápido también se puede producir un derrumbe, por un exceso en la velocidad de retorno del lodo y también por altas revoluciones en la mesa rotatoria.

Los derrumbes se clasifican en:

a) Derrumbes verdaderos

- De gravas
- De arcillas deleznales
- De arenas no consolidadas
- De areniscos
- Por hecnado pronunciado

b) Pseudoderrumbes

- Originados de la acumulación de los cortes en cavidades naturales o formadas por la erosión del lodo.

Una ayuda para determinar si se trata de un derrumbe verdadero o de un pseudoderrumbe es en la observación de los diferentes fragmentos retenidos en las mallas vibrátiles, los fragmentos de un derrumbe son grandes con aristas angulosas y no están muy remojados en su interior, por el contrario los fragmentos de un pseudoderrumbe son pequeños (por ser un producto de corte) y muy remojados en su interior por el tiempo que duran estos, en la cavidad empacada de enjarre.

Es por esto, que la estabilización del agujero es otra de las funciones importantes que se deben cumplir.

Los principales factores susceptibles de control que intervienen en los derrumbes son:

- a) Pérdida de agua excesiva.- Provoca hidratación de las arcillas.
- b) Enjarre deficiente.- Alta pérdida de agua, no consolida las formaciones.
- c) Alta velocidad en las toberas de la barrena.- Provoca erosiones en formaciones suaves.
- d) Velocidad alta conjuntamente con la elevada velocidad de extracción de tuberías, provoca derrumbe.
- e) Densidad.- Es necesario el control, para crear presión que ayude a estabilizar las paredes del agujero.

Otros factores que son factibles de modificar son:

- a) Características de las rocas (dureza, cohesión, hidratabilidad)

b) Echado de la formación.

Pegadas o atrapamiento de tubería.

La tubería puede quedar atorada, atascada o atrapada al estarla metiendo, sacando o perforando, puede ser en el fondo, a los diámetros del agujero o cerca de la superficie.

El problema se presenta de tres formas:

- Atorones.
- Atascamiento.
- Pegadas.

Atorones.

Se entiende por atorón cuando el movimiento de la carta de perforación se ve restringida en forma temporal, debido a objetos duros que han caído dentro del agujero. Los atorones pueden ser:

a) De carácter mecánico.- Se deben a la caída de cuerpos metálicos tales como herramientas al interior del pozo y que se acuña en las paredes impidiendo toda clase de movimiento.

b) Por agujero reducido.- Cuando se mete la barrena nueva en un agujero reducido (por pérdida de diámetro en la barrena anterior) y no se toman las precauciones necesarias, sobre todo en materiales compactos, la barrena nueva se acuña impidiendo movimiento alguno.

c) En ojo de llave o patá de perro.- Es muy frecuente que al perforar se tengan pequeñas desviaciones o quiebres en la vertical del agujero, formándose otro agujero lateral igual al diámetro de la tubería de perforación y de longitud importante, de tal forma que al sacar la tubería ésta se introduce al agujero lateral atorando a la de mayor diámetro como pueden ser la barrena o los drill collars.

Atascamientos.

Estos se deben al conjunto de fragmentos duros de la formación empacados en material fino que puede ser la risma bentonita que ha quedado enjarrada y que se han compactado alrededor de la herramienta impidiendo su movimiento, puede ser debido a:

a) Por asentamiento de cortes.- resulta de una mala limpieza en el fondo del pozo provocado por una circulación deficiente debido a condiciones de lodo o condiciones de bombeo.

b) Por derrumbes.- se debe al producto de la sedimentación de materiales finos en derrumbes de arcillas o arenas que hacen que se incremente la viscosidad del lodo impidiendo poco a poco una buena circulación, los cortes se van quedando en la parte del derrumbe hasta compactarse con el enjarra o impedir el movimiento de la sarta.

Pegadas.

El caso más común es por presión diferencial, ocurre cuando existe una diferencia de presiones entre la columna hidrostática de lodo y la formación perforada cuya característica es de gran porosidad y alta permeabilidad. Ocurre cuando el filtrado de lodo es muy bajo y empezamos a perder circulación en dicha zona. Si a gran velocidad, el flujo es tan importante que hace que la tubería sea jalada hacia la pared hasta que impide su movimiento.

Desviación de pozos.

Pueden originarse por una perforación defectuosa ocasionada por las condiciones geológicas del subsuelo o pueden ser programadas como en el caso de la perforación direccional. Pueden clasificarse de modo a:

a) Factores geológicos

- Formaciones duras con echados pronunciados
- Estratos alternados de diferente dureza
- Paso de una formación horizontal dura a otra formación inclinada

b) Factores mecánicos

- Exceso de peso sobre la barrena y muchas revoluciones por minutos
- Sarta de perforación no estabilizada
- Diseño de la barrena

Un pozo derecho es el que no contiene curvaturas acentuadas, y el término se restringe ya sea a agujeros verticales o a aquellos que mantienen una desviación constante de la vertical. Una perforación de pozo direccional es la que se desvía de la vertical y cuya dirección se controla para que siga un curso determinado.

Dos causas reconocidas que originan la desviación del agujero de la vertical son los lechos de roca inclinados y el coplez de la columna de perforación arriba de la barrena. Una región que contiene lechos de roca inclinados y que origina desviaciones consistentes se le llama "región de agujeros torcidos".

Por regla general un agujero perforado en capas duras tiende a desviarse contra la estructura (debido a que se dobla la columna de perforación), mientras que un agujero perforado en una formación suave tiende a desviarse con la estructura o siguiendo el contorno.

Las técnicas usadas para perforar agujeros verticales y derechos incluyen usar menos peso en la barrena, lastrabarrenas más pesadas y rígidas y más grandes con relativamente poco claro entre éstos y el agujero, y la colocación de estabilizadores (rimas de rodillos o su equivalente) en varias posiciones en el tramo de lastrabarrenas para evitar que se doblen. Cuando fallan otros métodos se pueden emplear las técnicas para perforación direccional.

La perforación direccional se usa para enderezar agujeros desviados y volverlos a la vertical, para pasar alrededor de herramientas perdidas y obstrucciones y para dirigir el curso del agujero.

ro en una dirección predeterminada para llegar en el fondo a una localización fijada de antemano.

La perforación direccional requiere investigaciones subterráneas precisos que permiten fijar la cantidad y dirección de la desviación del pozo de la vertical en el desarrollo del mismo hasta su profundidad prevista. Se usan pendulos o plomadas para determinar la amplitud de la desviación de la vertical cuando es de menos de 10°, en casos de mayor desviación se usan cajas esféricas de nivel.

Las herramientas para desviar el agujero incluyen el guía-sondas, la unión de charnela, la barrena corta o de iniciación y la barrena con chorros desbalanceados.

- El guía-sondas es esencialmente una cuña. Los guía-sondas permanentes se cementan o anclan en otra forma en la roca, pero a menudo causan dificultades posteriores al caer al agujero, los guía-sondas recuperables comúnmente tienen una punta de cincel.

- La unión de charnela consiste de una sección corta equipedada con barrena y escariador que se sujeta a la columna de perforación con una unión del tipo de rodilla. La pequeña barrena es incrustada en un lado del agujero en el fondo y durante el movimiento giratorio de la tubería que tiene lugar posteriormente, la unión de rodilla permite que la sección corta perfore en la dirección en que se orienta primeramente, cuando se reanuda la perforación con una barrena normal, ésta tiende a seguir y ampliar el agujero ya perforado por la barrena de la unión de charnela.

- La barrena de iniciación, como su nombre lo indica, es aplicada sobre un lado del fondo del agujero y perfora los esquistos suaves, y perfora en la dirección deseada sin la ayuda de una unión flexible.

- Los chorros fuera de equilibrio en una barrena de tres conos, en la que uno de los chorros es mayor que los otros dos, provoca desviación al impulso más potente sobre un punto del fondo del agujero.

Pescas.

Prácticas y herramientas de pesca.

Siempre que se mete mecánicamente equipo dentro de agujeros pequeños en la tierra, especialmente cuando se somete este equipo a grandes esfuerzos, existe la probabilidad tarde o temprano de que ocurra una falla mecánica y una parte del equipo subsuperficial se quedará en el agujero perforado. Otro motivo común de dificultades que se encuentran en las operaciones de perforación es que se pega el equipo en el agujero debido a derrumbes de la formación, enjarre de lodo filtrado excesivamente grueso, acumulación de recortes de perforación alrededor de la parte más profunda del equipo, u otras causas similares que evitan que se retire el equipo del agujero sin originar un esfuerzo excesivo en la torre de perforación. La técnica de sacar equipo que se ha desprendido de las herramientas de perforación o pegado se llama PESCA.

El desarrollo de la industria de herramientas para pesca ha sido paralelo al crecimiento de la industria de perforación debido a la íntima relación básica de las dos industrias. La pesca de equipo perdido es un arte que requiere un amplio conocimiento de las técnicas y del equipo nuevo, así como de los esfuerzos que pueden aplicarse sobre éste en el agujero, muchas de las herramientas de pesca están especialmente diseñados para un determinado trabajo, sin embargo, debido a la similitud del equipo usado en la mayoría de las operaciones de perforación, se han desarrollado ciertas herramientas de pesca más o menos comunes.

Cuando el equipo se pega o se pierde en el agujero, debe extraerse rápidamente como sea posible, en general mientras más tiempo permanece el equipo en el agujero es más difícil recuperarlo. El costo de las herramientas de pescas es normalmente pequeño comparado con el costo del tiempo de la torre de perforación y la inversión del agujero perforado. Si el equipo no puede sacarse del agujero, puede ser necesario desviarse (perforación direccional) alrededor del equipo perdido o bien perforar otro agujero, siendo cualquiera de las dos operaciones sumamente costosas.

Una clasificación muy amplia de las herramientas de pesca las divide en dos grupos:

- 1) Aquellas usadas para recobrar productos tubulares
- 2) Aquellas usadas para recobrar equipo misceláneo

Hay tres tipos de herramientas de pesca usados en la recuperación de productos tubulares (tubería de perforación, de revestimiento y de producción):

- 1) Herramientas de pesca interior
- 2) Herramientas de pesca exterior
- 3) Herramientas hidráulicas y de impacto

Las causas comunes de las dificultades que originan las operaciones de pesca son fallas por fatiga, debidas a los excesivos esfuerzos de la columna de perforación, como cuando la mesa rotaria sigue dando vueltas cuando la porción inferior de la columna se ha pegado; falla del equipo en la parte profunda del agujero debida a corrosión o erosión provocada por los fluidos de perforación, separación de la columna de perforación por un jalón excesivo cuando se trata de liberar el equipo que se ha atorado; fallas mecánicas de las partes de la barrena, que hacen que una parte de la barrena se pierda; caídas accidentales de herramientas o de otros objetos no perforables en el agujero; y atascamientos de las tuberías de perforación o de revestimiento, las tuberías de perforación o de revestimiento pueden atorarse por derrumbes de las formaciones, por enjambre de lodo filtrado que se acumula excesivamente, acumulación de recortes de perforación alrededor del extremo inferior de la tubería y acuñaamiento en la tubería de perforación.

Pesca de productos tubulares.

a) Herramientas para pesca interior.

La mayoría de las herramientas de pesca diseñadas para sujetar el pescado tubular de la parte interior son variaciones del arpón macho de tarraja, los elementos básicos de las herramientas de pesca de tipo de arpón consisten de un interior cónico en el

cual se pueden mover una o más cuñas, el espesor de la parte cónica de la herramienta es tal que las cuñas no permitirán que la herramienta se salga del pescado con un jalón vertical continuo.

Una terraja, es esencialmente una herramienta cónica con un mango con rosca endurecido. Se usa principalmente para sujetar un pescado cuando su parte superior consiste de un elemento de rosca interior, lo cónico de la herramienta permite que entre más fácilmente en el pescado, también permite un ajuste positivo con la rosca del pescado, su desventaja es que, no se puede soltar. En el caso de que la terraja se fije al pescado y el pescado no pueda recuperarse, entonces problemas de más importancia se presentan a menos que se tengan métodos a la mano para soltar la terraja de la tubería que se está usando para las operaciones de rescate, (ver fig. 5.2).

b) Herramientas para pesca exterior.

Las herramientas para pesca exterior deben pasar por fuera del pescado antes de que lo sujeten, una herramienta para pesca exterior muy sencilla, es un collar de terraja como lo muestra la fig. 5.3, esta herramienta es básicamente un tramo corto de material tubular en cuyo interior se ha hecho una rosca. El collar de terraja se usa para recuperar material tubular que tiene rosca macho en su parte superior, una vez que ha afianzado al pescado no puede soltarlo.

El enchufe de pesca es otra herramienta de pesca de estilo primitivo. Consiste de un tazón cónico en el que se mueven libremente hacia arriba y hacia abajo unas cuñas y el conjunto está diseñado para ajustar sobre el segmento superior del pescado. La parte cónica inferior del tazón está diseñada para permitir que el enchufe de pesca caiga sobre el pescado pero al retirar el enchufe de pesca, las cuñas se mueven en el tazón cónico para sujetar el exterior del pescado, (ver fig. 5.2).

c) Herramienta hidráulica y de impacto.

Cuando se desea un jalón adicional que exceda la capacidad de la torre o el cable, se puede usar una herramienta hidráulica para jalar. La herramienta de jalón hidráulico, es esencial-
Nota- Las figuras se encuentran al final del capítulo.

mente un gato hidráulico con medios para agarrar el pescado y cuñas para sujetar la tubería de revestimiento, usando una serie de pistones de potencia se pueden obtener ganancias de fuerza muy grandes.- La herramienta de jalón hidráulico tiene aplicación en perforación profunda, donde mucho del jalón superficial puede disiparse por el arrastre causado por los agujeros torcidos.

Un percusor, mostrado en la fig. 52, es una herramienta que se coloca normalmente inmediatamente arriba de la herramienta de pesca, y en la posición cerrada, el percusor permite un jalón libre y corto en la tubería de perforación; sin embargo, cuando el percusor se ha extendido completamente, una fuerza relativamente grande de impacto o percusión, se aplica a todo el equipo localizado abajo del percusor. Un percusor hidráulico utiliza una sección de potencia con líquido para impartir o comunicar el golpe de impacto.

Equipo especial para recuperar productos tubulares.

Las uniones de chornela son herramientas especiales que tienen un arreglo de unión giratoria en el extremo inferior para facilitar la llegada al lodo del agujero o dentro de cavidades para recuperar la tubería. Las uniones de chornela se pueden suministrar en herramientas para pesca tanto interior como exterior.

En muchos casos la tubería pegada no se puede recuperar simplemente con agarrar la tubería y jalarla. En algunas regiones una vez que se pega la tubería y cesa la circulación las formaciones inestables se derrumban alrededor de la tubería, haciendo imposible la recuperación por simple jalón, en estos casos es común usar equipo de lavado para recuperar tubería. El equipo de lavado típico incluye una zapata y suficiente tubería de lavado para poder hacerlo en la distancia requerida, la zapata de lavado es en realidad un tipo de barrena de perforación que tiene un filo cortante que puede aumentar la velocidad de penetración a través de los derrumbes o asentamientos en el exterior de la tubería pegada, en **Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.**

chos casos es simplemente un tramo corto de tubo con dientes cortados en un extremo. La zapata de lavado y la tubería de lavado deben tener un diámetro interior mayor que el diámetro exterior máximo del pescado. El diámetro exterior de la tubería de lavado y la zapata rotatoria debe ser menor que el diámetro del agujero original.

Después de que la mayor cantidad de tubería pegada ha sido lavada, esta tubería se retira del resto de tubería pegada cortándola mecánicamente o químicamente, usando una explosión pequeña controlada para partir la tubería en el intervalo deseado (cortadores a chorro) o usando una explosión pequeña controlada para originar que se separe la tubería pegada en un collar (disparo de retroceso)

El llamado disparo de retroceso es una herramienta que utiliza un tramo de cuerda prima como explosivo para hacer que la tubería se separe en una conexión roscada. Después de que esta herramienta se ha colocado en posición deseada, la tubería se coloca en tensión y se aplica un pequeño torque izquierdo. Cuando se detona la cuerda prima, la combinación de torque izquierdo, tensión y fuerza explosiva hará que la tubería se desconecte en el cople, esta herramienta se baja al agujero y se opera con un cable eléctrico, tiene todas las ventajas del cortador de carga conformada y la ventaja adicional de que normalmente no se daña la tubería.

El punto del disparo se reconoce usando un registro de coples, después de esta operación de disparo se intenta pescar la tubería con la herramienta y finalmente sacarla.

Equipos misceláneos de pesca.

Además del material tubular, otro equipo, tal como partes de barrenas de perforación, partes de herramientas, o equipo que cae accidentalmente en el agujero puede necesitar operaciones de pesca.

El fresador de campana es una herramienta de pesca de las más comunes. Se usa para zelar el pescador en pedazos pequeños que

puedan salir del agujero con la circulación del fluido de perforación o sacarlos en una canasta, un fresador de campana puede ser una barrena ordinaria, una barrena especial, o una herramienta con cabeza sólida y superficie para moler, el uso de carburo como la superficie cortante es muy común.

La canasta es una herramienta que se corre separadamente o junto con un dispositivo de moler. Esta diseñada para recuperar los pequeños fragmentos que pueden ser levantados por la circulación del lodo pero pueden ser muy grandes para llegar a la superficie, puede usarse un imán para recuperar objetos pequeños de acero.

Las herramientas de pesca magnéticas pueden ser del tipo de magneto permanente o electromagnéticos. En el tipo de magneto permanente está colocado un poderoso magneto permanente dentro de un material no magnético. El tipo de herramienta de pesca electromagnética se corre en un cable eléctrico, y una vez que la herramienta está sobre el pescado en el agujero, se pasa una corriente eléctrica por aquella para energizar el magneto.

Otro uso del principio de carga explosiva conformada es el fragmentador de carga conformada, que se usa para fragmentar objetos pequeños que puedan después recuperarse con la canasta.

La unión de seguridad es un dispositivo que permite soltar el pescado si no se puede jalar y el mecanismo que suelta la herramienta de pesca deja de trabajar. Aunque no sea el procedimiento normal, en algunos casos puede ser más económico dejar el equipo en el agujero, deslizar el equipo y empezar a perforar un agujero nuevo. En muchos casos, se ha continuado por meses operaciones de pesca caras y al final se ha tenido que perforar un pozo nuevo.

La inspección frecuente y adecuada del equipo reducirá la incidencia de los trabajos de pesca aunque es imposible eliminarlas completamente por la naturaleza de la perforación.

Condiciones de operación.

Algunos criterios de operación para aplicar el peso sobre la barrena y rpm en la mesa rotatoria son:

Resistencia a la compresión y el avance de perforación ^{ya} sería demasiado, por lo cual no es posible adaptar una práctica ^{general} en la perforación. El peso máximo aplicable dentro de la seguridad a un diámetro dado de barrena difiere en las mismas áreas de perforación por la diversidad de formaciones por atravesar.

El tipo de formación por perforar y otros factores que - causan las cargas de impacto sobre los baleros de las barrenas varían ampliando o limitando algunas veces, las horas efectivas de la barrena al perforar, algunos de estos factores pueden ser la carga-hidroestática de la columna de lodo, la presión de bombeo, peso sobre la barrena y el tipo de lodo. En otros casos el tiempo en el - fondo del agujero dictamina otras condiciones de operación tales como peso sobre la barrena y velocidad de rotación.

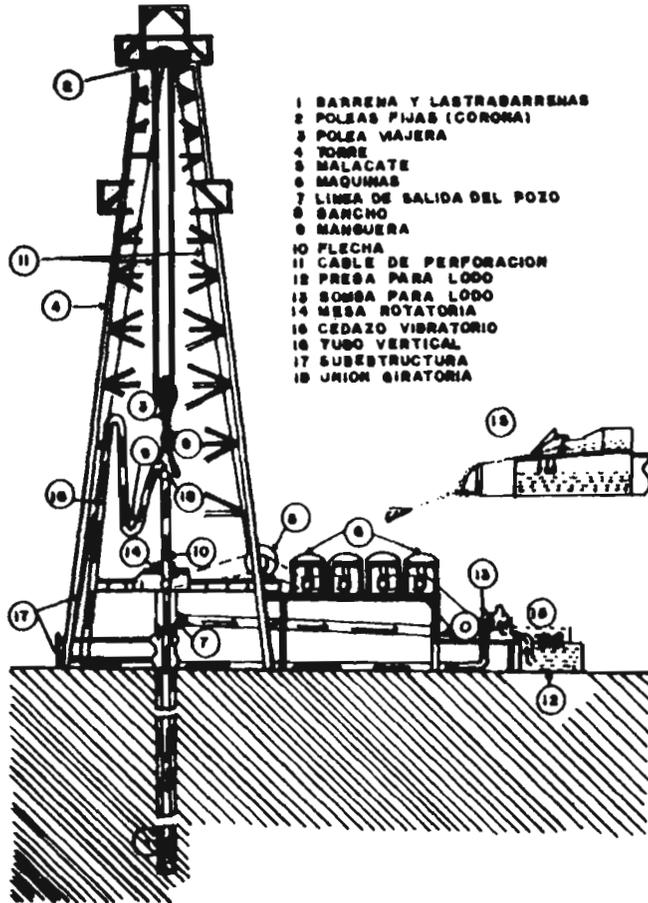
Las siguientes sugerencias pueden servir como una guía para las condiciones de operación de la barrena.

Al perforar lutitas someras, formaciones mal consolidadas el peso aplicado sobre la barrena no necesita ser de gran magnitud, estas formaciones tienen una baja resistencia a la compresión y su avance efectivo se obtiene moderando el peso sobre esta. Un peso - inicial de 1000 lb/in del diámetro de la barrena y una rpm de 150 a 170 son consideradas como correctas; como los dientes de la barrena se van desgastando gradualmente, el peso aplicado deberá ser incrementado gradualmente acompañado con una pequeña reducción en la rotaria de tal forma que tengamos hasta pesos máximos de 2500 lb/in - de diámetro de la barrena con 70 ^o a 80 rpm en la rotaria.

Para formaciones semiduras como las areniscas, lutitas a gran profundidad, calizas arcillosas, cuya resistencia a la compresión aumenta, requieren de mayores pesos que las anteriores como - por ejemplo 1500 lb al inicio con una rotaria de 100-120 rpm y conforme se vayan gastando los dientes se incrementa el peso hasta llegar a un máximo de 3000 lb/in del diámetro de la barrena, y con -

70 rpm de rotaria.

Las rocas duras como la caliza silicificada, las ígneas, algunas areniscas cuarcíticas y otras parecidas cuya resistencia a la compresión es muy elevada pueden ser perforadas mejor y más rápidamente por una acción aplastante desmenuzadora y que es efecto del peso soportado por los dientes de la barrena. Los pesos iniciales son de 2000 lb con rotaria de 70 a 80 rpm conforme los dientes se gastan el incremento gradual del peso hasta llegar a 4000 lb/in de diámetro de la barrena con rotaria de 40-50 rpm, es decir, en formaciones suaves se aplica poco peso sobre la barrena y muchas revoluciones en la rotaria, en formaciones duras se aplica mucho peso en la barrena y pocas revoluciones en la rotaria.

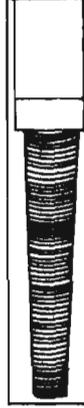


- 1 BARRENA Y LASTRABARRENAS
- 2 POLEAS FIJAS (CORONA)
- 3 POLEA MAJERA
- 4 TORRE
- 5 MALACATE
- 6 MAQUINAS
- 7 LINEA DE SALIDA DEL POZO
- 8 SANCHO
- 9 MANGUERA
- 10 FLECHA
- 11 CABLE DE PERFORACION
- 12 PRESA PARA LODO
- 13 BOMBA PARA LODO
- 14 MESA ROTATORIA
- 15 CEDAJO VIBRATORIO
- 16 TUBO VERTICAL
- 17 SUBESTRUCTURA
- 18 UNION GIRATORIA

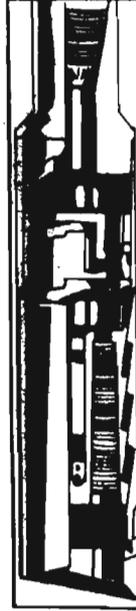
UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 6.1 COMPONENTES BASICOS DE UN EQUIPO DE PERFORACION ROTARIA		
ELABORO:	REVISO:	FECHA:
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	ING. RAMIRO GALLEGOS S.	OCTUBRE 1966



COLLAR DE TERRAJA



TERRAJA GIRATORIA



CORTE DE UN ENCHUFE



PERCUSOR DE PESCA CON CABLE

UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 62 HERRAMIENTAS DE PESCA		
ELABORA: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS S.	FECHA: NOVIEMBRE 1966

C A P I T U L O VI

DISFO
Y
ERMINACION DEL POZO

Registros eléctricos.

La función principal de los registros eléctricos en la localización de las aguas subterráneas, es determinar si un espesor es poroso y permeable y si está saturado con agua, y además el espesor de los diferentes materiales que forman la columna litológica atravesada en el curso de la perforación. Para fijar la localización de acuíferos, espesores de los mismos, deducción de su porosidad y una idea de permeabilidad se mide mediante la generación espontánea de una diferencia de potencial a través de formaciones de estudio, debido al paso de una corriente eléctrica. Tales mediciones son graficadas en un papel especial en función de la profundidad. En conjunto, lo anterior, constituye un registro eléctrico.

El primer registro eléctrico (corrido por el Ing. Conrad Schlumberger) se utilizó en 1927 en un pozo petrolero. Este pozo se encuentra localizado en Alsacia, Francia, en el campo Pechelbronn.

Este primer registro consistía de una sola curva de resistividad eléctrica, obtenida por mediciones hechas de metro en metro a lo largo de la pared del pozo (fig. 6.1) a partir de este momento se inició, por así decirlo, una nueva técnica de obtener información geológica por medio de un método indirecto de tipo geofísico.

El registro eléctrico o de resistividades había nacido con el objetivo de dar información de la disposición de los estratos atravesados por un pozo y establecer correlación con los pozos vecinos, posteriormente, los estudiosos de la materia hicieron posible que se conocieran datos tales como espesor de estratos, determinación de cuernos permeables y evaluación de posibilidades productoras de hidrocarburos y/o agua.

Actualmente en todo el mundo se perforan más de 100 000 pozos anualmente con diferentes objetivos, tales como exploración o explotación de hidrocarburos, agua, minerales, geotermia, agua para estudios de energía atómica y estudios de mecánica de rocas para construcciones, antiguamente toda la información obtenida en estos pozos estaba limitada a lo observable en los cortes de perforación o muestras de núcleos y núcleos o testigos recuperados; actual

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

mente con el auxilio de los registros eléctricos se puede obtener - mucho mayor observación y a bajo costo, aún en condiciones en que a veces no se logra a través de los recortes, por esta razón se operan un sinnúmero de registros en los diferentes tipos de pozos anclados ya que con ellos se obtiene una gran cantidad de información de mucha utilidad en todas las áreas de la exploración.

El registro geofísico para pozo puede ser definido como - la presentación gráfica (analógica) o digital de una propiedad física de las rocas atravesadas en un pozo contra la profundidad, esta propiedad física puede ser la resistividad, densidad, elasticidad, etc., la cuál es medida por herramientas que se bajan en los pozos con cables conductores a través de los cuales la información recuperada es llevada a la superficie, en donde con dispositivos apropiados se da la presentación analógica o digital requerida (fig. 6.1).

Los registros eléctricos se pueden agrupar según los principios físicos en que están basados en la siguiente forma:

- De resistividad
- Acústicos
- Radiactivos
- Mecánicos

Sin embargo, considerando la forma en que se recupera información a través de ellos, éstos pueden estar constituidos en 3 - grupos:

1) Aquellos registros que obtienen información de un fenómeno físico o de una propiedad física de las rocas sin - excitar a éstas con una fuente de energía, tales como el potencial natural o del registro de rayos gamma.

2) Los registros que recuperan una señal o respuesta de las rocas después de haber sido excitados por una fuente de energía como los registros de resistividad, los acústicos.

3) Los registros que trabajan mecánicamente y - auxilian en los trabajos de exploración y explotación ofreciendo información sobre las características de los agujeros, datos de producción, características de fluidos, etc., como ejemplo de éstos se pueden mencionar los registros de desviaciones, temperatura, calibración, etc.

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

En los primeros párrafos se mencionó la utilidad inmediata encontrada al registro eléctrico como una herramienta de correlación. Sin embargo, con las observaciones obtenidas al variar el espaciamiento de electrodos se logró no únicamente variar el radio de investigación de esta herramienta sino concluir que las diferencias de resistividades obtenidas en curvas de diferente diámetro de investigación eran motivadas por efectos combinados de la litología, porosidad, contenido de fluidos.

Actualmente los datos que pueden obtenerse con los registros eléctricos son:

- 1) Correlación y límites entre capas
- 2) Diferenciación entre rocas duras y blandas
- 3) Determinación de cuerpos permeables
- 4) Discriminación entre capas acuíferas y petrolíferas
- 5) Determinación de contactos agua-hidrocarburo
- 6) Determinación cuantitativa de porosidad (ϕ)
- 7) Determinación cuantitativa de saturación de agua (sw)
- 8) Determinación de productividad
- 9) Pronóstico de fluidos a producir
- 10) Determinación de litología
- 11) Determinación de porosidad secundaria
- 12) Delineación de características estructurales y sedimentarias
- 13) Volumen de arcilla y permeabilidad (K)
- 14) Salinidad del agua de formación
- 15) Medida del diámetro del agujero
- 16) Determinación de calidad de cementación
- 17) Determinación de daños de tuberías
- 18) Localización de coples de tubería
- 19) Determinación de temperatura
- 20) Medidor de desviaciones
- 21) Registros de producción (tipo y densidad de fluidos)

De los registros mencionados en forma general a continuación se anotan las combinaciones más apropiadas:

Prospección agua (fig. 6.3)	Reg. Resistividad	Porosidad
	Eléctrico o Inducción o Eléctrico <u>en</u> focado	Neutrón
Geotermia	Eléctrico o Inducido o Eléctrico <u>en</u> focado	

Además un microdispositivo de resistividad tales como microeléctrico, microenfocado o micro proximidad.

Carbón	Eléctrico o Inducción o Eléctrico <u>en</u> focado	Neutrón y densidad o Sónico y densidad o Neutrón y sónico
--------	---	---

Además, es conveniente el registro de rayos gamma y la curva de calibración del agujero.

Con los registros (el neutrón, densidad) se logra determinar la porosidad de las formaciones en función de principios físicos diferentes (determinación del índice de hidrógeno el primero, densidad total de las rocas el segundo y las propiedades elásticas de las rocas el tercero) proporcionan la información suficiente para hacer diferencias litológicas o de contenido mineralógico.

Con estos tres registros de porosidad se logra así, casi en la totalidad de los casos determinarse la porosidad de las rocas o bien sus características litológicas con el auxilio de rayos gamma.

Por cuanto se refiere a la determinación de presencia de cuerpos permeables y de las características de los fluidos que se encuentran en estos horizontes, los registros de resistividad como el eléctrico, el de inducción, los eléctricos enfocados y los micro dispositivos de resistividad son los apropiados para tales problemas, que con el auxilio de la curva del potencial Natural es posi-

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

ble diferenciar la presencia de agua dulce, salada y salobre. Como en México los más usados son el eléctrico, es el que se explicara - ampliamente además de la curva del potencial natural o potencial espontáneo.

Potencial Espontáneo (Sp).

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

La curva obtenida es un índice de la permeabilidad de las formaciones, ya que para generar un potencial debe existir un medio poroso en el cual los poros estén conectados entre sí, además que manifiesten la presencia de fluidos. Los materiales impermeables como las arcillas y lutitas en un registro eléctrico se manifiestan por su poca o escasa variación, dando por resultado una línea casi vertical para valorar el potencial actual de las diferentes formaciones registradas, esta línea es llamada LINEA BASE DE LUTITAS.

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

que las escalas más usadas son desde 5, 10 y 20 milivolts por división, en donde las escalas menores, 5 y 10, son usadas en materiales granulares pequeños (finos), hay que tener cuidado al escoger la escala en que se va a trabajar pues se debe tener una escala adecuada para poder observar todas las variaciones en la curva y que al mismo tiempo no se salga de la pista o carril, ya que si esto sucede van a tener problemas a la hora de analizar el registro corrido.

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

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

Resistividad.

Es la resistencia de una unidad de volumen y se mide en ohms siendo el cubo la unidad de volumen, por lo que la resistividad se expresa en ohms por metro cuadrado o en ohms-metro, en tales circunstancias una perforación de 10 ohms de corriente por cada metro cúbico de formación.

La curva de resistividad se obtiene introduciendo dentro del pozo uno ó varios electrodos desde los cuales la corriente eléctrica penetra y circula en las formaciones; el recorrido de dicha corriente no está sometida a ninguna otra restricción que a la ubicación del o de los electrodos, por lo tanto las mediciones son afectadas no sólo por la capa situada a nivel del dispositivo sino también por la columna de lodo y por el diámetro del pozo y debe

considerarse que a mayor diámetro se afecta más la medida de la resistividad, sobre todo cuando se usa el sistema de un solo electrodo que es el que generalmente se utiliza en los pozos de agua.

Estas medidas se grafican en el carril derecho del registro eléctrico, denominándose a la curva CURVA DE RESISTIVIDAD y se expresa en ohms, en este carril si existe un cero de la escala y permite determinar el valor de la curva del potencial. Los valores de la resistividad que se consigan en un registro eléctrico, generalmente, son diferentes de los verdaderos por lo que dichos valores se les denominan de RESISTIVIDAD APARENTE; exceptuando el caso de pozos con diámetros pequeños y acuífero o acuíferos de alta capacidad productora en los que la resistividad aparente es casi igual a la resistividad verdadera.

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

Equipo de registro.

En la exploración de las aguas subterráneas se acostumbra usar el equipo de un solo electrodo por lo sencillo y económico del sistema, además que con él se pueden resolver satisfactoriamente estos problemas.

Para las curvas del potencial y resistividad por este método se hace descender al electrodo "A" al interior del pozo y el electrodo "B" se coloca en tierra, generalmente en la presa de lodos, ambos conectados al equipo registrador "C", a medida que el electrodo "A" se desplaza dentro del pozo, va captando las variaciones de potencial y resistividad, los cuales son registrados por "C" automáticamente. Para que estas medidas puedan efectuarse se necesita que el pozo no esté acemado, además debe contener lodo para facilitar el contacto eléctrico con las formaciones atravesadas, (fig. 6.4).

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

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

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

Si la salinidad del lodo de perforación y el acuífero son más o menos iguales, generalmente el potencial del acuífero es pequeño con relación al potencial de las arcillas y la curva se desplaza hacia la izquierda, esto es, hacia el lado negativo, en cada formación con aguas salobres o saladas, Si las condiciones son contrarias a las anteriores el potencial de la formación resulta más positivo que el de las arcillas y la curva en este caso se desplaza hacia la derecha.

La resistividad de un acuífero es más alta cuando sus aguas son de buena calidad, siendo el potencial de la formación más positivo con respecto al potencial de las arcillas y es más bajo cuando el lodo de perforación es salino, debido a que es mejor conductor que el agua dulce. Por lo tanto conviene conocer la resistividad del lodo para hacer una correcta interpretación de un registro eléctrico.

Estos registros no siempre proporcionan una información definitiva y completa ya que a profundidad se manifiestan dos formaciones semejantes de ambas curvas, es muy difícil distinguir en el registro si se trata de una arena no saturada o de una formación compacta.

Para hacer esta identificación es necesario recurrir al auxilio de las muestras obtenidas en curso de la perforación y observaciones efectuadas durante la operación como la velocidad de penetración, un caso semejante se manifiesta en las arenas y gravas que no es posible diferenciarlas en un registro debido a que ambas

tienen idénticas características eléctricas.

Cuando un acuífero tiene alta porosidad, su resistividad es baja y desde luego su potencial es más alto con relación al de las arcillas; en tales circunstancias las arenas y gravas tendrán valores bajos de resistividad y potenciales con valores altos respecto a las areniscas y calizas que contienen aguas de igual calidad.

Velocidad del registro.

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

Se ha observado un alto índice de registros con mala calidad o no apropiados a los fines perseguidos, resultando de varios factores, entre los que se encuentran:

- 1) Falta de mantenimiento de las herramientas.
- 2) Uso de herramientas no apropiadas al objetivo en prospección.
- 3) Falta de calibración de las herramientas.
- 4) Desconocimiento de los límites de operación.
- 5) Desconocimiento en la interpretación.

Esto ha originado, por consecuencia, que muchos técnicos desconfíen de los registros y sean excépticos a los resultados de los mismos, por lo tanto hay que vigilar las características de calidad de los registros obtenidos, pues contando con las herramientas apropiadas y que éstas estén trabajando en las condiciones óptimas de operación se pueden elaborar numerosos trabajos de precisión y a

bajo costo, es necesario además que se disponga de personas especializadas en operación e interpretación de registros con el fin de que seleccionen las herramientas apropiadas, controlen la calidad de registros y desarrollen los trabajos de interpretación de los mismos, en forma semejante a como lo desarrolla PEMEX.

De una buena interpretación de los registros eléctricos dependerá una buena terminación del pozo ya sea para determinar las profundidades a que se harán las ampliaciones en caso de que sean necesarias.

Diseño de la terminación.

Los pozos para agua que se destinan a usos municipales, industriales y de irrigación, se diseñan para obtener la mayor producción y el más alto gasto específico, para minimizar los costos de operación y mantenimiento se seleccionan los materiales que garanticen la vida económica del pozo y se dimensiona adecuadamente los elementos estructurales que produzcan un costo razonable. Un pozo correctamente terminado garantizará un servicio continuo, siempre y cuando durante su perforación se respete el diseño de todos sus elementos.

Para diseñar una buena terminación hay que tener en cuenta el fin a que se destina el pozo, el gasto de producción, la profundidad y espesor de los acuíferos y las características litológicas de los mismos.

Principios básicos de diseño.

Se aplican tanto a pozos en materiales no consolidados como a pozos en materiales consolidados. En ambos casos y con el mismo criterio se determina la profundidad de los pozos y como regla general se dice que la mejor manera de seleccionar el diámetro de la tubería de revestimiento del pozo, consiste en escogerla 2 números mayor que los tazonos de la bomba a instalar.

Profundidad total del pozo.

La profundidad total en un pozo depende de:

- a) La profundidad a la que se encuentra la base del último acuífero por aprovechar, si existen varios ver fig. 6.5
- b) El espesor del acuífero, ya que el pozo lo - **atravesará totalmente** si se justifica, para que garantice un gasto-específico alto y el mayor abatimiento disponible que permita incrementar la producción (fig. 6.6)
- c) La calidad del agua, que en algunos casos **limitará la profundidad** y en otros la propiciará.

Diámetro de la tubería de producción.

La correcta selección del diámetro de la tubería de producción, figura entre los factores que tienen una relación directa con el costo de la obra. Por este motivo y siempre que sea posible se - **analizará la posibilidad de una cámara de bombeo y una de producción**, (ver fig. 6.7 y fig. 6.8).

Cámara de bombeo.

La selección del diámetro de la cámara de bombeo depende de:

- a) El gasto de producción esperado
- b) El área hidráulica de la **cámara de bombeo que garantice la mejor eficiencia**

Para satisfacer estos 2 factores, el diámetro de la cámara de bombeo se fijó en 2 tamaños mayor que el de los tazones, la - **tabla 6.A se da como guía para lo anterior.**

Esta manera de seleccionar el diámetro de la cámara de - **bombeo permite que:**

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

1) La bomba de tipo turbina vertical entre holgadamente.

2) Absorba pequeñas torceduras y desviaciones de la cámara para que la columna de la bomba permanezca vertical.

3) Reduzca las pérdidas por fricción.

4) Se minimicen las pérdidas por el paso del agua alrededor de los tazones.

En algunos casos muy particulares y por razones de economía, el diámetro de la cámara de bombeo se fija en un tamaño mayor que el diámetro nominal de la bomba.

Cámara de producción.

El diámetro de la cámara de producción es igual al diámetro del tubo filtro (tubería ranurada).

Cuando en el diseño de un pozo se distingue la cámara de bombeo de la producción, se establece una relación entre los diámetros como se muestra en la tabla 6.B.

Selección de la tubería de Ademe.

Para pozos de agua existen dos tipos de tuberías, la tubería lisa o ciega y el tubo filtro ranurado, la selección de ambas tuberías así como su diámetro y alas profundidades a las que irán colocadas estará en función de la profundidad de los probables espesores productores, es decir, los principales factores que afectan a esta selección serán:

a) El registro eléctrico, para determinar el o los posibles espesores productores y su profundidad.

b) Condiciones de los estratos perforados, se refiere a la intercalación que existía de espesores permeables y espesores impermeables.

c) Granulometría de la formación posible productora

Nota- Las tablas se encuentran al final del capítulo.

tora, deberá hacerse un análisis granulométrico para determinar el espesor de la ranura así como el número de ranuras por metro lineal.

Tubería lisa o ciega.

Esta siempre es colocada en formaciones impermeables y también en formaciones donde el agua es de mala calidad evitando así que ésta fluya hasta el interior del pozo libremente. Actúa también como retenedor estructural para estabilizar el agujero en formaciones de material mal consolidado.

El diámetro de ésta estará en función del diámetro del cuerpo de tazones de los impulsores de la bomba por colocar, pudiendo ser intercalada como se mencionó anteriormente.

Los esfuerzos a los que estará sometida la tubería de producción son:

a) Esfuerzos de tensión durante y después de su instalación y esfuerzos de presión lateral ocasionados por formaciones inestables, en el desarrollo y durante la operación del pozo.

b) Los contenidos minerales del agua subterránea, esto ocasiona que al irse incrustando los minerales disueltos en el agua en la tubería se vaya formando una capa de éstos y ésta misma se vaya haciendo de mayor espesor, ocasionando que las ranuras de la tubería se vayan tapando con el tiempo o exista una corrosión de la tubería.

c) Tratamientos periódicos para eliminar la presencia de películas bacterianas, esto ocasiona que al irse incrementando la película de bacterias se vayan tapando paulatinamente las ranuras de la tubería.

Estos factores se reflejan en el espesor y en la clase del metal de las tuberías de Ademe.

La norma mínima de calidad para las tuberías de Ademe será de acero grado "B". El A.P.I. (American Petroleum Institute), recomienda la siguiente fórmula para ademes de acero:

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

En donde:

- D.- es el diámetro exterior del ademe en cm.
- d.- es el diámetro interior del ademe en cm.
- t.- es el espesor de la tubería en cm.
- H.- es la longitud total de la tubería expresada - en metros.

Estos espesores se deben incrementar en 6.35 mm (1/4 in) - en función del grado de corrosión de las aguas subterráneas y, en - casos especiales, los espesores se modificarán y adaptarán a los que existan en el mercado.

En los pozos con tubo filtro, éste se proyectará según las normas de la casa que lo fabrique, para resistir los esfuerzos de - tensión y de presión lateral sin menos cabo de su área libre, em- - pleando metales que satisfagan las características de las aguas sub - terráneas y los tratamientos a que se sometan para la conservación - del pozo.

Colocación de la tubería (operación).

Esta operación se realiza después de efectuar las amplia- ciones o la ampliación que fueron severidas.

Los pasos que se siguen son:

1) Se le hace un orificio al tubo para que pue- da pasar por ahí la flecha para agarrar ésta al gancho del bloque - viajero.

Se puede colocar un tapón de cemento al pri- mer tramo que es introducido al agujero para evitar que la grava en- tre al tubo ademado cuando se coloque el filtro de grava.

2) Conforme se vayan agregando los tramos de tu- bería de ademe, es conveniente soldarlos una pequeña solera que ser- virá como reforzador en la soldadura de los tramos de tubería.

3) Se debe de checar conforme se vayan agregando tramos de tubería de ademe que ésta gire, porque así se puede de terminar si la columna ya armada pega con la pared del pozo, ya que esto puede suceder por causas como desviaciones del pozo o enchecada de la tubería por el peso de la misma.

4) Después que se haya engravado el pozo se puede proceder a cortar el tubo, antes tomando en cuenta que la tubería de ademe tenga cierto movimiento giratorio, de no tener éste se puede deber a que la tubería se enchueca y esto podría ocasionar problemas, como la profundidad total a la que debe de ser colocada la bomba.

Diseño del tubo filtro.

En los pozos con desarrollo natural o artificial el tubo-filtro (tubería ranurada) juega un papel primordial en la terminación del pozo y se caracteriza por los factores siguientes:

a) La longitud.- se fijará para aprovechar la permeabilidad horizontal.

b) La abertura.- se seleccionará para proteger el material de la zona permeable alrededor del tubo filtro.

c) El diámetro.- se determinará en función de la velocidad del agua a través del tubo filtro.

d) La distribución adecuada de las aberturas.- ésta dependerá del tipo del tubo filtro.

Una selección inadecuada de uno de los factores anteriores provocará abatimientos excesivos, y agua con arena si es por el factor (b).

a) Longitud del tubo filtro.

La selección de la longitud óptima del tubo-filtro está íntimamente ligada a:

-Tipo de acuífero.

-Abatimiento máximo disponible.

-Espesor y estratificación de los acuíferos.

Por otra parte, no es necesario que el tubo filtro cubra totalmente el espesor del acuífero para obtener la máxima producción del pozo.

En acuíferos confinados en formaciones homogéneas, en los que se espera que el nivel de bombeo no llegue a estar más abajo de la parte superior del acuífero, deberá colocarse tubería ranurada entre un 70% y un 80% del espesor del acuífero (fig. 6.9). En acuíferos confinados heterogéneos, la longitud del tubo ranurado debe ser de un 100% (fig. 6.10).

Para acuíferos libres si es homogéneo bastará hasta con el 50% del espesor y para acuíferos libres heterogéneos la longitud de la tubería ranurada será igual al 100% del espesor, en el caso del acuífero homogéneo se puede instalar la mitad del espesor con tubería ranurada porque al empezar a bombear el nivel estático bajará y entonces la parte superior de la tubería no tendrá uso porque toda la entrada de agua estará de la mitad para abajo de la tubería ranurada.

b) Abertura de las ranuras del tubo filtro.

Dependerá directamente del análisis de la curva granulométrica de las formaciones acuíferas y de la calidad del agua.

En formaciones homogéneas de arenas finas y gruesas, la abertura del tubo filtro se fijará para el tamaño del material que retenga el 30% del acumulado, si el agua es ligeramente incrustante; el 40% si el agua es ligeramente corrosiva; el 50% si es extremadamente corrosiva y el 40% ó 50% si es ligeramente incrustante o el acuífero es delgado y limita con formaciones de materiales finos no consolidados o si el tiempo que dure el desarrollo es limitado, ver fig. 6.11.

En formaciones heterogéneas, como generalmente se encuentran en la naturaleza, la abertura de las ranuras del tubo filtro debe variarse de acuerdo con la granulometría de los materiales que van apareciendo en cada estrato. La selección de la ranura para cada estrato deberá hacerse de acuerdo con el criterio:

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

de las formaciones homogéneas. Sin embargo, 2 reglas adicionales de
ben aplicarse al seleccionar las aberturas del tubo filtro en dife-
rentes ~~casos~~:

Regla no. 1.- Si hay un estrato de material grueso, el tubo filtro con aberturas para material fino penetrará a un metro la formación subyacente.

Regla no. 2.- Cuando una formación de material fino se encuentre suprayaciendo a una de material grueso, el tamaño de las aberturas del tubo filtro en la zona de material grueso no debe sobrepasar el doble del tamaño de las aberturas del tubo filtro en el estrato de material fino.

c) Diámetro.

Se selecciona con miras a cumplir con un principio básico y que consiste en que se debe proveer suficiente área de entrada para que la velocidad de acceso del agua al pozo no exceda de un cierto valor estipulado. Las pruebas de laboratorio y la experiencia de campo han demostrado que si la velocidad de entrada del agua a través del tubo filtro es igual o menor de 3 cm/seg se obtendrán los siguientes resultados:

- 1) Las pérdidas por fricción en las aberturas del tubo filtro serán de un valor despreciable.
- 2) La velocidad de incrustación será mínima.
- 3) La velocidad de corrosión será mínima.

La velocidad de acceso se calcula dividiendo la descarga deseada o que se espera obtener entre el área total abierta de las ranuras del tubo filtro.

d) Distribución adecuada de las ranuras.

Ver fig. 6.12.

Se tienen 4 tipos de tubos ranurados que son:

- 1) Tipo convencional.
- 2) Tipo concha.
- 3) Tipo canastilla.
- 4) Tipo filmonte o monterrey.

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

Diseño del filtro de grava.

El material que se use como filtro (pre filtro) deberá ser uniforme y especialmente graduado, de calidad aceptable y de espesor adecuado por lo que un buen diseño de filtro implica:

a) Tamaño del material.-

El tamaño de la grava indica 2 tendencias opuestas en relación con su granulometría, lo que exige que los diámetros de los poros sean suficientemente grandes a la vez - que también sean muy reducidos deben tener una permeabilidad mínima de un filtro 100 veces mayor que el del material del acuífero; que los granos del acuífero controlado sean retenidos por el filtro de grava evitando su obstrucción entre sí y que los granos finos del propio filtro de grava y que estos sean cuando mucho un 5% del volumen total, un buen tamaño por colocar es de 1/4" hasta 1/2" e inclusive en ocasiones usan de 3/4".

b) Calidad del material.-

Para incrementar la porosidad y permeabilidad del filtro de grava, el material que se use como tal deberá ser redondo, liso y uniforme y nunca material de trituración. Los granos deben ser de preferencia silíceos, libres de arcilla o materia orgánica.

c) Espesor del filtro de grava.-

El espesor se define como el ancho de la corona filtrante entre la pared y la tubería de ademe. Teóricamente un espesor de grava de 2 a 3 veces el diámetro de los granos del material por colocar bastarían para retener las partículas finas del acuífero, pero en la práctica se ha observado que debe ser un espesor mínimo de 3" por lado para asegurar que el filtro quede completamente rodeado de grava.

Colocación del filtro de grava y los problemas que ocurren.

El procedimiento que se sigue en la colocación del filtro de grava es:

1) La tubería de ademe es centrada en el agujero dejando un espacio aproximado de 3" por lado, entre la tubería y la pared del agujero, para asegurar que el tubo filtro quede completamente rodeado de grava.

2) El pozo se engrava con tubería de perforación y circulación de lodo, ya que serán de gran ayuda en caso de presentarse "puenteos" al estar colocando el filtro de grava, además el lodo ayuda a que la grava se asiente lentamente.

3) Teniendo estas condiciones se puede proceder a ir introduciendo por medio de palas, la grava, ésta debe de ser alimentada al agujero poco a poco, para evitar que ocurra un puenteo o taponeos de grava, que pueden ser ocasionados al introducir en forma muy rápida la grava al interior del agujero.

4) En caso de presentarse un puenteo de grava, lo que deberá de hacerse es:

Se solcará un tapón en la parte superior de la tubería de ademe, para así, obligar al lodo a salir por las ranuras del tubo filtro y así debido a la presión producida por el lodo ocasiona que la grava vaya cayendo poco a poco y como ya se mencionó anteriormente, ésta se vaya asentando lentamente.

5) Después de que se haya deseado el puenteo, se sigue alimentando al pozo con grava, hasta tener la totalidad del espacio anular lleno de grava.

6) Concluida la colocación del filtro de grava, se puede proceder a cortar la parte sobrante de la tubería de ademe hasta una altura de 0.60 metros sobre la superficie.

Se puede cortar en este momento o hasta que se haya hecho el pistoneo y lavado.

Rehabilitación de la formación.

La limpieza y desarrollo de los pozos constituye una de las etapas más importantes, pues condiciona su eficiencia y comportamiento futuro.

Oleada mecánica o "pistones"

Se lleva a cabo utilizando un pistón debidamente ajustado al diámetro del ademe por medio de empaques de hule o cuero, a fin de realizar una agitación enérgica dentro del acuífero. Se realiza con tubería de perforación y el pistón fabricado. La maniobra de agitación deberá iniciarse efectuando durante un tiempo razonable el movimiento recíprocante del pistón, empezando por la parte baja de los cedazos. Esta operación se repetirá elevando de diez en diez metros el pistón hasta alcanzar la tubería lisa superior del pozo o bien el nivel estático del agua si se encuentra a un nivel inferior al de éste.

El movimiento vertical del pistón sobre el ademe ocasiona la agitación de las aguas en el acuífero, con movimientos contrarios a cada acción del pistón, aflojando y provocando el desprendimiento y la salida de los agregados finos de la formación, que se asientan en el fondo del pozo.

Junto con los desarrollados con bomba, es el método más usado en la actualidad aunque sus resultados son discutibles en muchos casos. Esta deficiencia se debe por lo general a un uso inadecuado del sistema.

Para que el pistoneo resulte efectivo se deberán cuidar los siguientes factores:

1) Diámetro del pistón.-

Debe ser como mínimo una pulgada menor que el diámetro interior del ademe.

2) Localización del pistón.-

La operación de pistoneo se realizará por tramos y directamente enfrente de las zonas con tubería ranurada.

3) Peso del pistón.-

Se ha probado en la práctica que para que el pistoneo resulte eficiente, el pistón deberá pesar lo suficiente para bajar en forma rápida, generalmente esto se logra cuando el peso es tal que la presión ejercida sobre el nivel estático del agua es superior o igual a 1.5 kg/cm^2 .

Esta regla es empírica y aproximada, pues la presión efectiva variará en función del área abierta del cedazo, cantidad de la grava, permeabilidad del acuífero y posición del pistón.

4) Ciclo de pistoneo.-

Es aconsejable ir aumentando la frecuencia de las pistoneadas en etapas progresivas.

Si se está usando un equipo de perforación de percusión o pulsata puede tomarse como base las siguientes tres etapas progresivas:

1ª etapa.- 20 carreras por minuto

2ª etapa.- 28 a 32 carreras por minuto

3ª etapa.- 40 a 45 carreras por minuto

Si se está usando un equipo de perforación rotatorio o rotatorio estas etapas progresivas no se podrán determinar, debido a que estará sujeta a la capacidad de las máquinas y de las condiciones en que se encuentre el freno, además, también de las condiciones en que se encuentre el malacate, con este equipo es recomendable pistonear de 10 a 20 minutos por tramo de tubería de perforación. No se pistonea en tubería lisa.

Después de realizar el pistoneo se efectuará el lavado, que no es más que sacar todo el material fino que salió de la formación y la fase continua del lodo que había invadido la formación.

El lavado se realiza de la manera siguiente:

Se hace circular agua para que ésta mezclada con el lodo que se formó empieza a sacar los materiales que quedaron, producto del pistoneo del pozo y no se dejará de circular agua hasta que el agua que salga del pozo sea igual de clara que el agua que se está inyectando.

Ya cuando se tengan estas condiciones se efectuará un tratamiento a base de dispersores de arcilla (en las zonas donde se tuvieron las mayores pérdidas de circulación, estas áreas se determinaron cuando se efectuó el registro eléctrico), siguiendo la secuencia que marque el instructivo del fabricante, es recomendable colocar 10 lbs de dispersor de arcillas por cada metro de espesor.

Este tratamiento podrá auxiliarse con aplicaciones de hielo seco, en cargas variables desde 50 kg hasta 500 kg o bien mediante cargas con nitrógeno líquido.

Ya habiendo desarrollado este tratamiento, se saca línea de tubería de perforación, y ya es recomendable (hasta ahora) de cortar el tubo hasta una altura de .60 metros sobre la superficie, se le ponen "orejas" al tubo para sostener la tubería y ya se puede proceder a quitar el equipo.

Es recomendable dejar reposar durante varios días al pozo con objeto de que el agente dispersor de arcillas complete su acción.

Terminando con todo ésto, nadamás falta esperar al equipo de aforo para que realice el mismo.

Protección sanitaria.

Se ha establecido que las aguas del subsuelo generalmente son de buena calidad sanitaria y seguras para beber. El diseño del pozo debe encaminarse a la extracción de esta capa de alta calidad sin contaminarla ni volverla en modo alguno inapropiada para el consumo humano. La penetración de una formación acuífera por un pozo abre dos conductos principales a la posible contaminación del agua del suelo. Estos son el extremo superior abierto del entubado y el espacio anular entre dicho entubado y el agujero. El diseñador debe preocuparse de prevenir la contaminación a través de estos dos conductos. Esta se afectará después del aforo.

Terminal superior.

El entubado del pozo debe extenderse por lo menos, un pie (30 cm) por ~~el~~ el nivel general de la superficie circundante. Debe estar rodeado, en la superficie del suelo, por una losa de concreto de 4 pulgadas (10 cm) de espesor que se extienda por lo menos 2 ft (60 cm) en todas direcciones.

La superficie de esta losa y sus alrededores inmediatos - deben inclinarse ligeramente para drenar el agua del pozo, como se muestra en la fig. 6.13. Es aconsejable colocar un drenaje alrededor del borde exterior de la losa y extenderlo hasta un punto de descarga a cierta distancia del pozo. Debe proveerse un sello sanitario para el pozo, en la parte superior de éste, para evitar la entrada de agua contaminada u otro material conveniente directamente dentro del pozo (ver fig. 6.14).

Enlucido y sellado del entubado.

Necesariamente, el agujero perforado debe ser mayor que la tubería usada para el entubado del pozo. Esto ocasiona la creación de un espacio anular de forma irregular alrededor del entubado después que se ha colocado en posición. Es importante llenar este espacio a fin de evitar la filtración de agua contaminada de la superficie a lo largo del exterior del entubado dentro del pozo y también para impedir la entrada de agua de calidad inapropiada de los estratos que están sobre la formación acuífera deseada.

En material expuesto a desplomarse, tal como arena o arena y grava, el espacio anular se llena muy pronto como resultado de los hundimientos. Por lo tanto, en tales circunstancias, no es necesario hacer arreglos especiales para llenar el espacio anular. Sin embargo, en sitios donde el material que se encuentra sobre la formación acuífera no es de ese tipo, como por ejemplo arcilla o esquisto, debe reforzarse el espacio anular con cemento o lechada de ~~arcilla~~ ~~grava~~ una profundidad mínima de 10 ft (3 m) bajo la superficie.
Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

cie. Donde el espesor de los materiales arcillosos lo permiten, el aumento de la profundidad del refuerzo hasta aproximadamente 15 ft. (4.5 metros) proporcionaría seguridad adicional. El diámetro del agujero perforado debe ser de 3 a 6 in. (7.5 a 15 cm) más grande que el entubado del pozo permanente para facilitar la colocación del refuerzo. Es importante tirar temporalmente el entubado cuando se aplique el refuerzo, en vez de llenar simplemente el espacio entre los dos entubados, ya que la infiltración vertical puede ocurrir fácilmente por la parte exterior de cualquier entubado sin sellar.

El cemento para enlucir es el tipo más comúnmente empleado. Se prepara mezclando agua y cemento en la proporción de 19 a 20 lt de agua por un saco de 94 lb de cemento Portland, usualmente, esta mezcla es suficientemente fluida para circular a través de los tubos enlucidos.

Donde el espacio que debe llenarse es grande, puede agregarse arena al lodo para proporcionar volumen adicional, sin embargo esto aumenta la dificultad de instalación.

La mezcla para enlucir o enlucir puede hacerse en una mezcladora para mortero si se dispone de ella o se pueden almacenar temporalmente algunas cantidades hasta que se tenga suficiente para el trabajo a desarrollar.

La aplicación del enlucido debe efectuarse en una operación continua antes que ocurra el fraguado inicial del cemento.

1) Método de aplicación por gravedad. (se indica en la fig. 6.15).-

Una cantidad de lodo en exceso de la requerida para llenar el espacio anular circundante se introduce en el agujero. La envolvente con su extremo inferior taponado con material fácilmente perforable (madera blanda) y con guías para centrarse hace descender en el agujero, impulsando el lodo hacia arriba a través del espacio anular y al exterior para que llegue hasta la superficie. La envolvente se puede llenar con agua o hacerse más pesada por otros medios para ayudarla a hundirse y desplazar el lodo. Se coloca temporalmente una envolvente exterior, la cual debe retirarse mientras la lechada está aún fluida.

Nota- Todas las figuras se encuentran al final del capítulo.

2) Método de tubería interior para el enlucido de la envolvente del pozo.-

La lechada se aplica en el fondo del agujero a través de tubería colocada en el interior de la envolvente y se impulsa hacia arriba por el espacio anular ya sea por gravedad, o de preferencia bombeando a presión a fin de completar la operación antes que ocurra el fraguado inicial del cemento. La aplicación de la lechada debe continuarse hasta que el lodo rebasa el extremo del agujero.

La tubería para la lechada debe ser de un diámetro de 3/4 in (2 cm) ó mayor, y debe llenarse el entubado con agua para evitar que flote. El diámetro del agujero perforado debe ser por lo menos 2 in (5 cm) mayor que el entubado del pozo, (ver fig. 6.15).

3) Método de tubería exterior (ver fig. 6.15).-

Requiere un agujero de diámetro 4 a 6 in (10 a 15 cm) mayor que la envolvente del pozo. Esta debe centrarse en el agujero y dejarse descansar en su fondo.

La tubería para la lechada, de tamaño similar al empleado en el método de tubería interior, se extiende inicialmente hasta el fondo del espacio anular y debe permanecer sumergida en el lodo durante las operaciones de instalación. Esta tubería debe separarse gradualmente al elevarse el lodo en el espacio anular.

Generalmente, se debe esperar 72 hr, por lo menos, para que la lechada de cemento endurezca. Si se emplea cemento de fraguado rápido se puede reducir la espera a 36 hr aproximadamente.

Terminación de pozos en formaciones duras.

Por la simplicidad del diseño, mas no por el proceso de perforación, únicamente se darán ideas generales para la selección de diámetros en materiales consolidados.

Nota: Estas figuras se encuentran al final del capítulo.

El diámetro de la cámara de bombeo se diseñará con el mismo criterio que el usado en materiales no consolidados, identificándose el diámetro de la perforación y su longitud se fijará por la profundidad a la que se establece el nivel dinámico y nunca será mayor de 200 metros.

Cuando se encuentren materiales no consolidados suprayaciendo a los consolidados, se instalará un ademe sanitario que deberá penetrar una longitud mínima de 20 metros, en la roca sana. Así por ejemplo, se puede perforar en 20 in de diámetro, esta alcanzar 20 metros de profundidad en roca sana y colocar un ademe de 16 in de diámetro, continuando la perforación de la cámara de bombeo con un diámetro de 12 1/4 in.

La cámara de producción al igual que la de bombeo, estará formada por el propio agujero perforado y tendrá un diámetro máximo de 12 1/4 in. La longitud de la cámara de producción dependerá de la profundidad a que se localizaran las zonas permeables y únicamente estará limitada por la capacidad del equipo de perforación.

Tratamiento de limpieza y estimulación de pozos profundos en formaciones calizas.

Teniendo en cuenta que la permeabilidad en esta clase de formaciones la proporcionan canales de disolución y/o fracturas, puede suceder que una perforación atraviese fracturas o canales de suficiente amplitud como para proporcionar un caudal aceptable, compatible al costo de tales pozos y con un nivel dinámico razonable. Pero en la mayoría de los casos se atravesarán grietas de espesor relativamente pequeño, en cuyo caso resulta recomendable estimular el pozo mediante un tratamiento que permita ampliar las grietas hasta su conexión con otras mayores para obtener mayor caudal con abatimientos razonables.

El tratamiento de limpieza y estimulación se efectuará con equipo de tipo petrolero y consiste en lo siguiente:

- * Colocar un empacador a la profundidad determinada por las

pruebas selectivas de permeabilidad y por los registros utilizados, comprobando adecuadamente la efectividad del sellado por las presiones que se utilizarán.

Inyectar en el tramo permeable del pozo, a través del empaquetador, 1500 lts de nitrógeno líquido como mínimo para que sirva como colchón delantero a fin de garantizar la expulsión posterior de los materiales precipitados al finalizar el tratamiento.

Inyectar a continuación un mínimo de 1,000 lts de ácido clorhídrico al 26% utilizando inhibidores que no sean tóxicos.

En caso de que se sospeche que las fracturas en la roca caliza están rellenos con materiales arcillosos, se utilizará una combinación de ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico en la proporción que se fije en cada tratamiento particular, tanto el ácido clorhídrico como el fluorhídrico deberán tener un "retardador" de 1 hora, con objeto de que empiecen a reaccionar cuando hayan penetrado en su totalidad dentro de la formación.

Inyectar nitrógeno líquido en la cantidad necesaria, de acuerdo con la profundidad a la que se encuentre anclado el empaquetador, con objeto de desplazar e inyectar totalmente el ácido clorhídrico al acuífero.

A continuación se cerrará la válvula superior de la tubería de 50 mm (2 in) y se observará durante 15 minutos, si no presenta efervescencia en el espacio anular arriba del tapón. Si se presenta ésta, se abrirá la válvula y se dejarán salir todos los líquidos del tratamiento.

Cuando no se produzca la efervescencia, se cejará cerrada la válvula durante otros 15 minutos más, observándose los cambios de presión en el manómetro.

Cuando se produzca un incremento de presión, cuidar que ésta no sobrepase los 210 kg/cm^2 en cuyo caso se abrirá parcialmente la válvula.

Una vez transcurridos los 30 minutos que en total durará el tratamiento, se abre totalmente la válvula hasta que cese el flujo hacia el exterior, tomando muestras del fluido expulso, para verificar si hay precipitados de cal.

Una vez terminada la limpieza del pozo, se efectúa una prueba de desarrollo de acuerdo al tipo de terminación.

Desarrollo y aforo.

Después de que el pozo fue sometido al pistoneo se efectuará el programa de desarrollo y aforo del pozo.

a) Programa de desarrollo.-

Puede definirse como un proceso cuya finalidad es aumentar la porosidad y permeabilidad de la formación acuífera, extrayendo cierto porcentaje de los agregados circundantes al pozo, hasta conseguir un reacondo de los tramos que forman el acuífero, en tal forma que la velocidad del agua a la entrada del tubo-filtro no provoque el arrastre de nuevas partículas, ni la formación de obstrucciones (tapones) que disminuyan la permeabilidad o impidan la libre entrada de agua carente de agregados.

Este programa de desarrollo, se efectúa con la misma bomba con la que se desarrollará el aforo del pozo, y en base a los resultados obtenidos ayudará a la selección del equipo de bombeo definitivo.

Se debe de empezar este programa de menos rpm (revoluciones por minuto) a más rpm, no empezando nunca de más rpm a menor rpm debido a que se puede destruir la permeabilidad de la formación que no está acostumbrada a este movimiento de fluido, como ya se mencionó, se debe dejar la formación lo más limpia de finos como sea posible, para eficientar al pozo.

El tiempo aproximado de duración del programa de desarrollo y aforo es de 72 horas, teniendo como patrón 48 horas en el desarrollo y 24 horas en el aforo.

En determinados casos, como en el caso de pozos perforados en calizas, se podrá acortar el programa de desarrollo, debido a que éstos son muy limpios.

En caso de alargarse o acortarse el tiempo del programa de desarrollo se deberán de explicar las causas.

Aunque algunas personas consideran el pistoneo como un método de desarrollo, esto no puede ser considerado como tal debido a que con éste lo que se pretende es la extracción de materiales de un poco mayor espesor y como una ayuda al lavado del pozo.

b) Programa de aforo.-

Inmediatamente después de terminado el desarrollo de un pozo, se procederá a efectuar el programa de aforo, con el objeto de conocer la potencia usad del acuífero y en base a los datos obtenidos seleccionar el equipo de bombeo definitivo.

El equipo de bombeo deberá estar provisto de los siguientes accesorios:

1) Una tubería de plástico suficientemente rígida, con diámetro de 1.4 cm (1/2 in) acoplada a la columna de succión, la cual servirá para bajar la sonda eléctrica (el tipo de ésta será la que en cada caso se indique).

2) Un piezómetro calibrado para aforo, provisto de su respectivo manómetro y tubería de calibración, etc. etc.

3) Tubería adicional, para alojar el caudal que se extraiga del pozo, cuando no se tenga facilidad para el drenaje de la zona o cuando sea posible reinfiltración en el subsuelo lo pueda alterar las lecturas piezométricas.

El bombeo para el aforo se iniciará con el caudal menor de que sea capaz el equipo definitivo y se irá incrementando gradualmente por etapas, hasta alcanzar el máximo caudal posible. Por lo general, este tipo de programas consisten de 3 a 5 etapas (dependiendo del equipo de bombeo y de la potencia del acuífero) y el tiempo de duración de cada una de ellas, será de 1 hora como máximo y mínimo de 1 hora, una vez que se haya alcanzado el máximo caudal se procederá a ir bajando las revoluciones del motor en etapas hasta llegar a la mínima, el tiempo de bombeo será de 1 hora por etapa como máximo.

Durante el aforo, se tomarán las lecturas tanto en el piezómetro como con la sonda eléctrica al inicio de cada etapa y posteriormente cada 15 minutos, anotando la hora y el número de revoluciones al que se encuentra operando el motor de combustión interna, en el aforo, deberá tenerse su debida cuidado de anotar correctamente las lecturas tanto del piezómetro como de la sonda eléctrica, ya que a partir de los datos de operación los datos y abatimientos del pozo a diferentes revoluciones de operación-

de la bomba, es de primordial importancia la veracidad de los datos para la selección del equipo de bombeo definitivo del pozo.

Ver los valores que se necesitan para la - - construcción de la gráfica de aforo, ver gráfica respectiva al final del capítulo. Observar las figuras 6.16 y 6.17 al final del capítulo.

6.A

PRODUCCION ESPERADA DEL POZO (lps)	DIAMETROS	
	NOMINAL DEL TA- ZON DE LA BOMBA (cm)	CAMARA DE BOMBEO (cm)
menos de 10	100 (4")	21.9 (8 5/8")
10 a 20	178 (7")	27.3 (10 3/4")
20 a 40	204 (8")	32.4 (12 3/4")
30 a 60	254 (10")	38.6 (14")
60 a 100	305 (12")	40.6 (16")
80 a 120	386 (14")	46.7 (18")
100 a 200	406 (16")	60.8 (20")

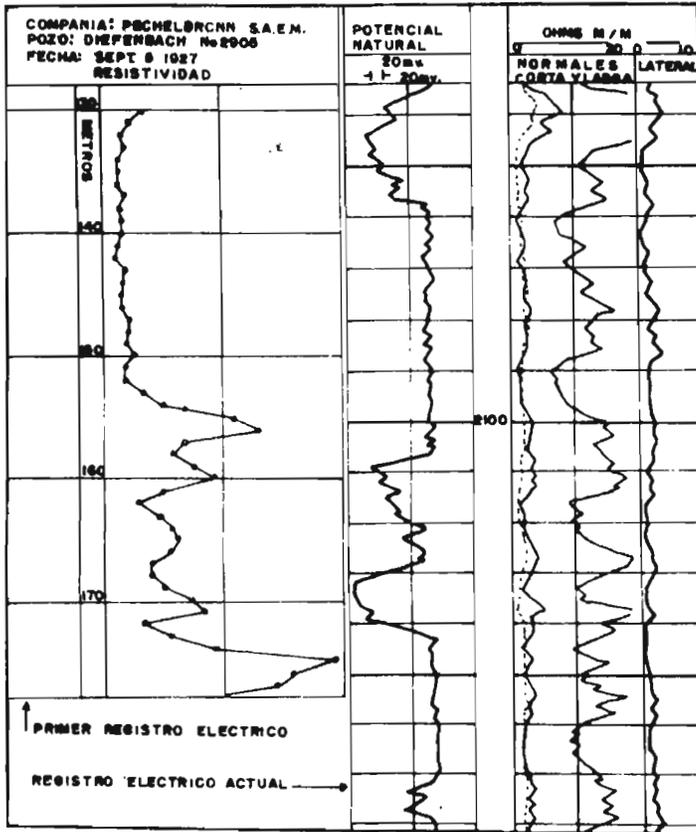
6.B

DIAMETROS (cm)		
CAMARA DE BOMBEO	PERFORACION	CAMARA DE PRODUCCION
38.6 (14")	31.2 (12 1/4")	16.8 (6 5/8")
40.6 (16")	38.1 (15")	21.9 (8 5/8")
46.7 (18")	44.46 (17 1/2")	27.5 (10 3/4")
60.8 (20")	47.00 (18 1/2")	32.4 (12 3/4")

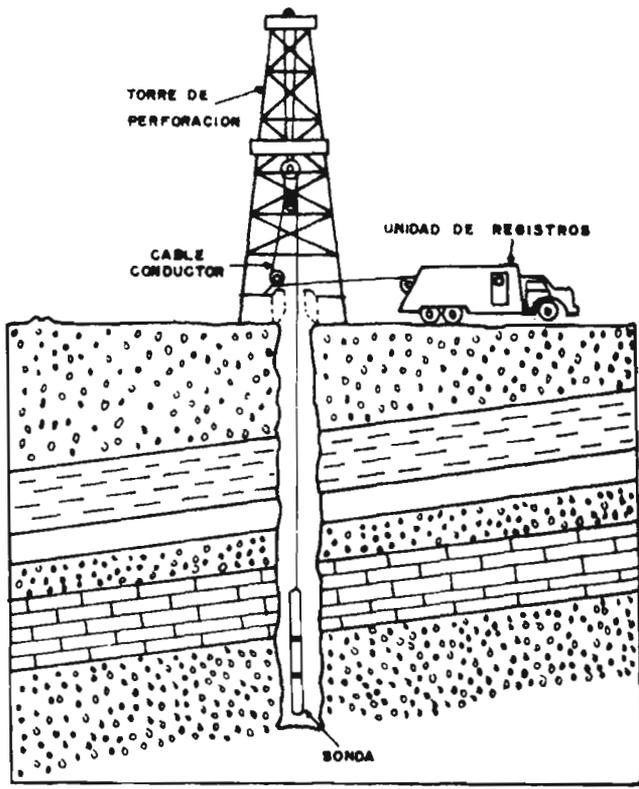
6.C

PROFUNDIDA- DES (m)	ESPESORES (cm)
De 0 a 76	7.62 (3")
De 0 a 100	10.16 (4")
Mayer de 100	12.70 (5")

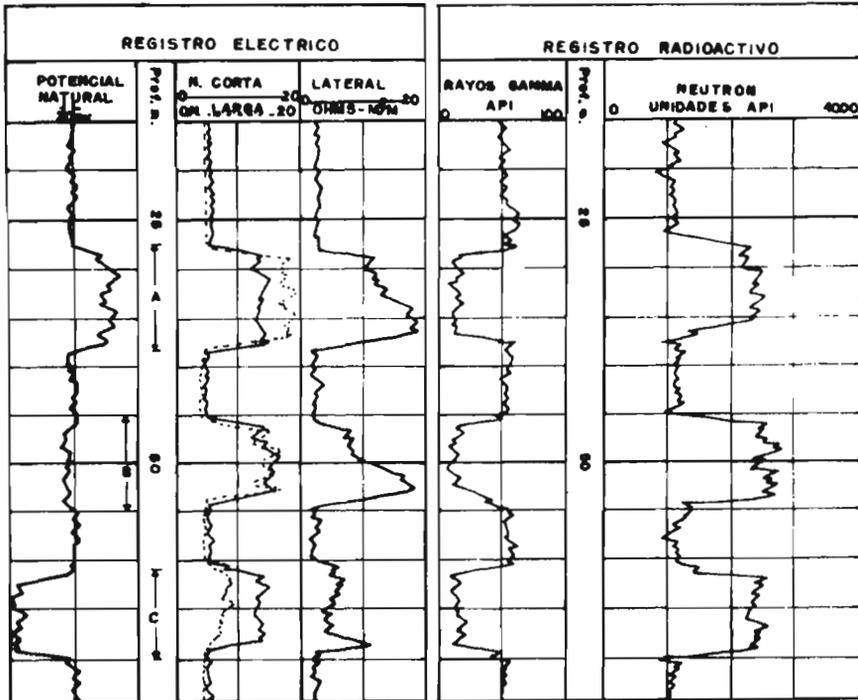
UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
TABLA 6.A DIAMETROS EN CAMARAS DE BOMBEO TABLA 6.B DIAMETROS EN CAMARAS DE PRODUC- CION TABLA 6.C ESPESORES DEL PREFILTRO		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS G.	FECHA: ENERO 1990



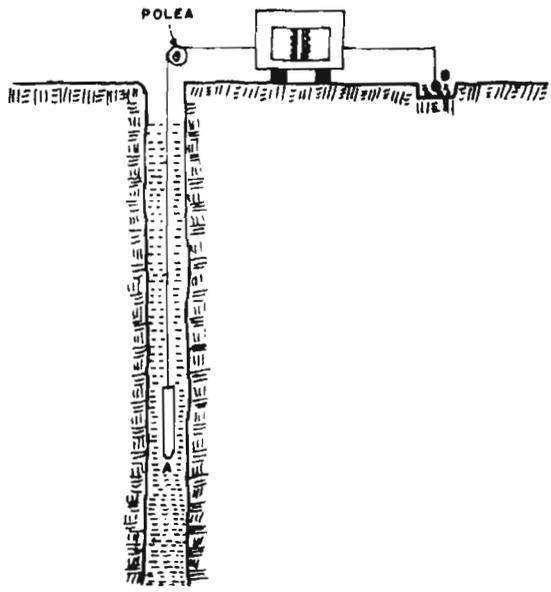
UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 6.1 COMPARACION ENTRE EL PRIMER REGISTRO ELECTRICO Y UN REGISTRO ELECTRICO ACTUAL		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS G.	FECHA: ENERO 1990



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 6.2 ESQUEMA DE LA OPERACION DE REGISTROS ELECTRICOS		
ELABORO:	REVISO:	FECHA:
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	ING. RAMIRO GALEGOS G.	ENERO 1960



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 6.3 REGISTROS USADOS EN LA PROSPECCION DE AGUA		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS G.	FECHA: ENERO 1990



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 6.4 ESQUEMA MOSTRANDO LA INSTALACION DE LOS ELECTRODOS		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS O.	FECHA: ENERO 1980

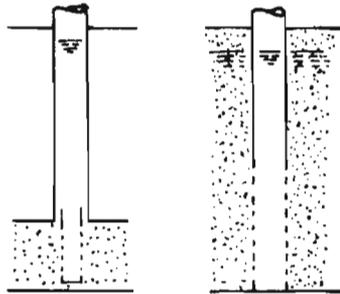


FIG. 6.6

(a) ACUIFERO CONFINADO (b) ACUIFERO LIBRE

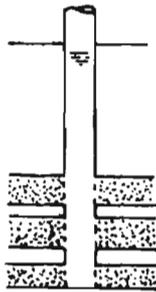
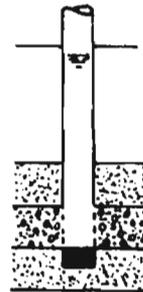
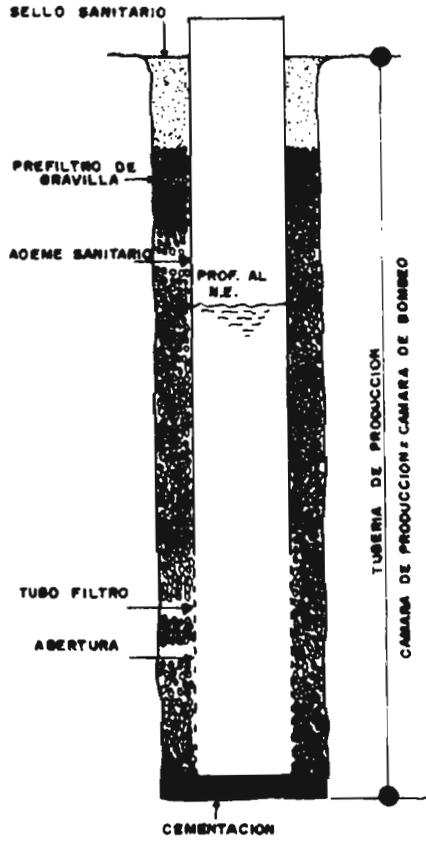


FIG. 6.6.6 ACUIFEROS

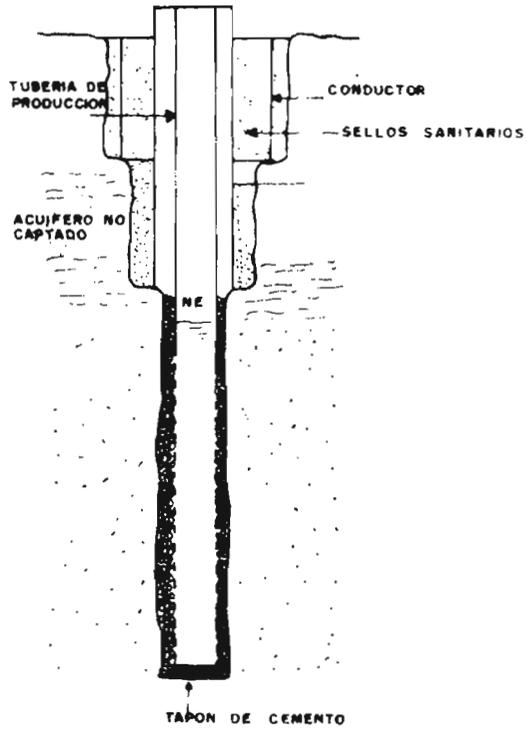


INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 6.6.6 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PROFUNDIDAD TOTAL		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS S.	FECHA: ENERO 1990



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 6.7 POZO CON EL MISMO DIAMETRO EN LA TUBERIA DE PRODUCCION		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO GALLEGOS S.	FECHA: ENERO 1980



UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 68 ADEMOS Y SELLOS SANITARIOS		
ELABORO:	REVISO:	FECHA:
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	ING RAMIRO GALLEGOS G.	ENERO 1990

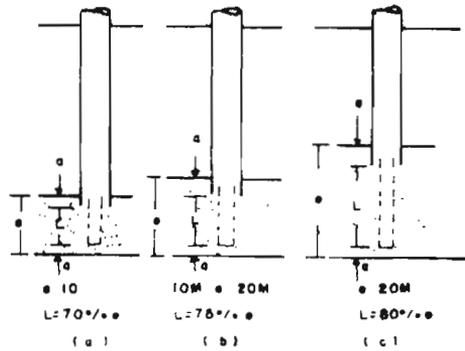


FIG. 6.9 TUBO FILTRO. ACUIFEROS CONFINADOS HOMOGENEOS

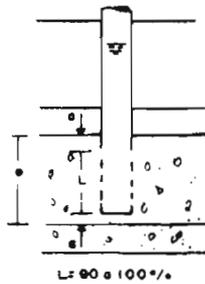
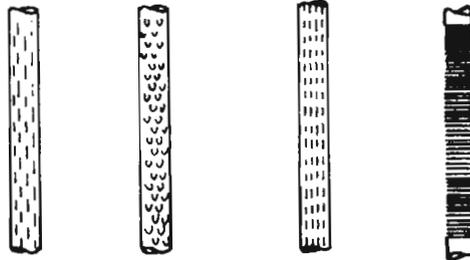
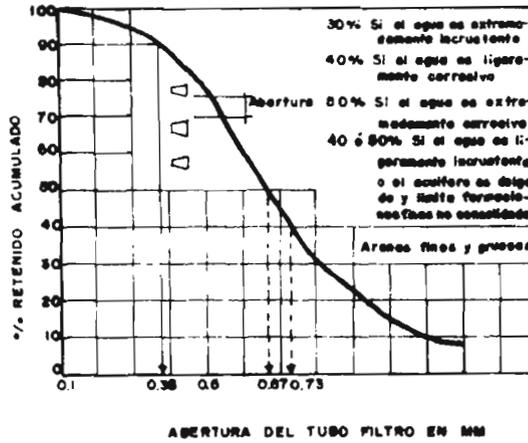


FIG. 6.10 TUBO FILTRO. ACUIFEROS CONFINADOS HETEROGENEOS

UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 6.9 & 10 LONGITUD DEL TUBO FILTRO		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING RAMIRO GALEGOS G.	FECHA: ENERO 1990



CONVENCIONAL CONCHA CARASTILLA FILMONT Ó MONTERREY
TIPOS DE TUBERIA RANURADA

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO			
RECEPCIONAL PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
FIG. 6.11 ABERTURA DEL TUBO FILTRO EN FORMACIONES HOMOGENEAS			
FIG. 6.12 TIPOS DE TUBERIA RANURADA			
ELABORO:	REVISO:	FECHA:	
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	ING RAMIRO GALEGOS G.	ENERO 1980	

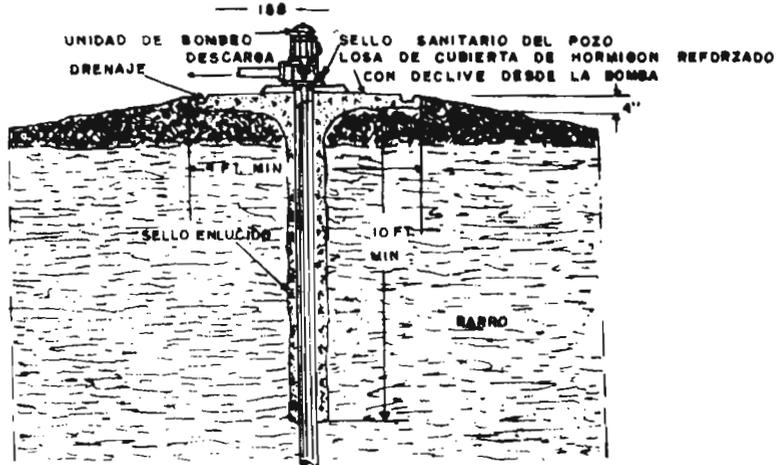


FIG. 013

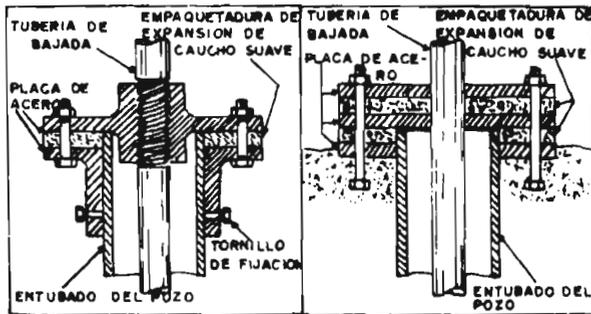
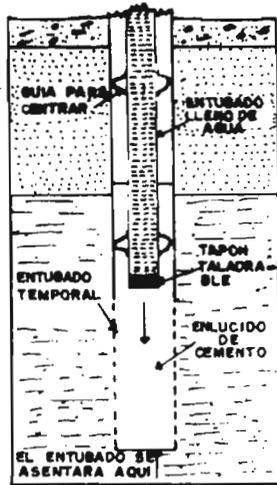
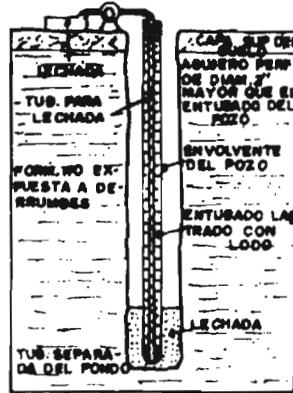


FIG. 014

UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 013 PROTECCION SANITARIA DE LA TERMINAL SUPERIOR DEL POZO		
FIG. 014 SELLOS DE POZO SANITARIO		
ELABORO:	REVISO:	FECHA:
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	ING. RAMIRO GALLEGOS S.	ENERO 1990



METODO POR GRAVEDAD



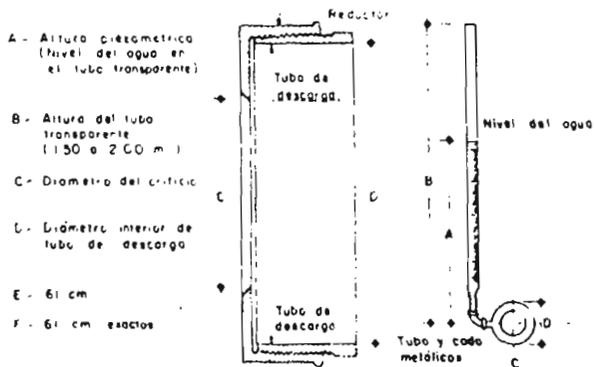
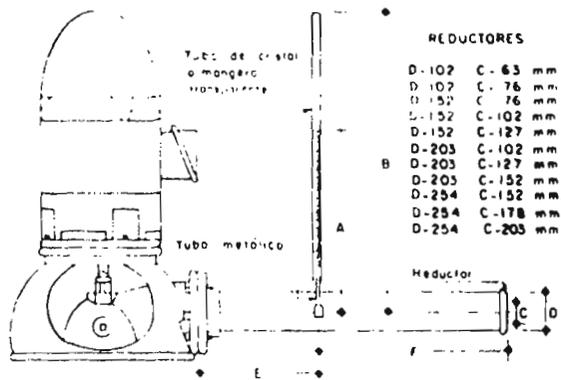
METODO DE TUBERIA INTERIOR



METODO DE TUBERIA EXTERIOR

UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG: 616 APLICACION DEL ENLUCIDO		
ELABORO:	REVISO:	FECHA:
VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	ING. RAMIRO GALLEGOS G.	ENERO 1990

APARATO PARA MEDIR EL ... 1.17 METRO.



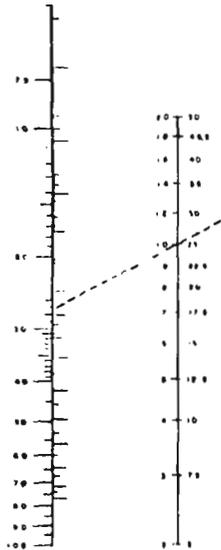
- A - Altura piezométrica (nivel del agua en el tubo transparente)
- B - Altura del tubo transparente (1.50 a 2.00 m.)
- C - Diámetro del crítico
- D - Diámetro interior de tubo de descarga
- E - 61 cm
- F - 61 cm exactos

UASLP	FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO		
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA		
FIG. 616 PIEZOMETRO		
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA	REVISO: ING. RAMIRO SALLESOS G.	FECHA: FEBRERO 1960

FORMULA RESULTA

$$Q = 0.0174 \frac{a^2}{\sqrt{L}} \left(\frac{h}{L} \right)^{3/2}$$

$Q = 0.0174 \frac{a^2}{\sqrt{L}} \left(\frac{h}{L} \right)^{3/2}$
 $Q = 0.0174 \frac{a^2}{\sqrt{L}} \left(\frac{h}{L} \right)^{3/2}$



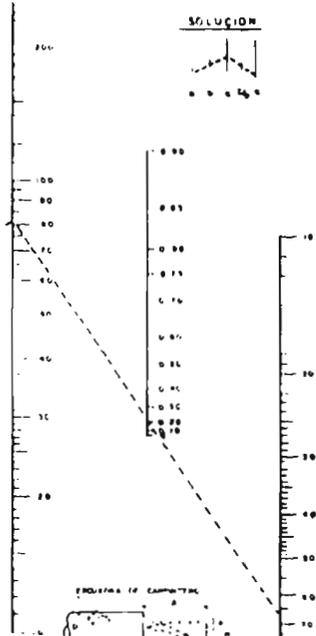
ESQUEMA DE CÁMPITON
Y MERA ALZADA



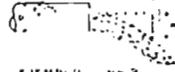
EJEMPLO No 1

- TUBO LLENO
- 1) Diámetro de tubo 20 cm (10")
 - 2) $h = 37.5$ m
 - 3) $L = 12$ m
 - 4) $Q = ?$ m³/s

SOLUCION



ESQUEMA DE CÁMPITON



EJEMPLO No 2

- TUBO PARCIALMENTE LLENO
- 1) Diámetro de tubo 20 cm (10")
 - 2) $h = 37.5$ m
 - 3) $L = 12$ m
 - 4) $Q = ?$ m³/s
- $L/D = \text{CONSTANTE} = \frac{12}{10} = 1.2$
 $Q = 0.0174 \frac{a^2}{\sqrt{L}} \left(\frac{h}{L} \right)^{3/2}$

UASLP		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRABAJO			
RECEPCIONAL: PERFORACION DE POZOS PARA AGUA			
FIG.6J7 NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL GASTO A TRAVES DE UN TUBO			
ELABORO: VICTOR MANUEL ALVAREZ MAYA		REVISO: ING. RAMIRO BALLEGOS G.	
		FECHA: FEBRERO 1980	

C A P I T U L O VII

CONCLUSIONES

I

RECOMENDACIONES

Conclusiones.

En la actualidad la perforación de pozos para agua se ha venido incrementando notablemente con respecto a años anteriores, - una de las razones más importantes es la gran escasez que existe - hoy en día de fuentes de abastecimiento superficiales, lo que ha motivado el proceder a la explotación de las aguas subterráneas en - forma racional, por medio de perforaciones (pozos).

En nuestro país, desgraciadamente, no se le da la importancia que tiene en realidad este problema, porque aunque se perforan pozos éstos no siempre son realizados de la mejor manera; y tomando en cuenta la gran necesidad que se tiene de que cada pozo dé el máximo gasto posible y debido al elevado costo económico que tiene, realizar cada perforación, es necesario que en cada perforación que se realice se tomen en cuenta todos los factores que nos ayudarían a que la perforación que se haga resulte un éxito.

En este trabajo debido a que en cada pozo perforado se - presenten problemas muy particulares de este dicho pozo, nadamás se tomaron en cuenta los problemas que sería más probable de encontrar en un gran número de pozos perforados, es decir, sólo se tomaron en cuenta los problemas más generales que se podrían presentar, en diferentes circunstancias, durante la perforación de un pozo para - agua y encontrándose sus probables soluciones en el contenido de - los capítulos.

Recomendaciones.

- 1.- Seleccionar el equipo de perforación en función de la profundidad por perforar.
- 2.- Hacer un programa de perforación en función del material por atravesar y cumplirlo lo mejor posible.
- 3.- Atención especial en los problemas que se presentan y su solución. Llevar una bitácora de perforación para

- 4.- Atención especial en la corrida del registro eléctrico del pozo en cuanto a control de calidad e interpretación como la base principal del diseño y terminación del pozo.
- 5.- Hacer una buena descripción del corte litológico de las formaciones atravesadas, y cotejar con el registro eléctrico.
- 6.- Seleccionar correctamente los tipos y diámetros de tuberías por colocar, pues de ello depende la vida productiva del pozo.
- 7.- Tener en cuenta que la parte de ampliar el diámetro del pozo y la colocación de los tipos de tuberías no es la terminación del pozo, por lo que se debe dar la misma importancia que al inicio.
- 8.- Atención especial al colocar tuberías, pues en muchos pozos, ésta es introducida estando desviado el agujero; con los problemas posteriores para la bomba. Colocación y selección del filtro de gravas pues de ello depende que el pozo no produzca excesos de arena.
- 9.- Atención especial al lavado y pistoneo del pozo como medida de recuperación de la permeabilidad dañada a la formación con el uso de los lodos de perforación.
- 10.- Decidir el programa de desarrollo y aforo del pozo en función de lo observado en la perforación del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- Gallegos González Camiro, "DISEÑO Y REGISTRO DE POZOS Y "METODOS DE PERFORACION", apuntes de clase, catedrático de la Facultad de Ingeniería, 1969.
- Garza Castellanos Cuauhtémoc, Valden Alejandro Ricardo "LA PERFORACION CON AIRE", ejemplo de PEMEX.
- Gómez Morales Felipe Elcazar, "SECUENCIA OPTIMA PARA LA PLANEACION Y EJECUCION DE OBRAS DE PERFORACION DE POZOS PARA ABBAS", 15^o de Profesional, Instituto Politécnico Nacional, México, 1974.
- Ibarra González Raúl, "USO Y TECNICAS DE PERFORACION EN LA BUSQUEDA DE AGUAS SUBTERRANEAS", Tesis Profesional, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 1977.
- Memorias, "SEGUNDA REUNION TRIMESTRAL DE ESPECIALISTAS TECNICO DE GEOLOGIA Y PERFORACION", Tuxtla Gtz., Chiis., 1973
- PEMEX, Departamento de Perforación, "EL PETROLERO", 1966
- PEMEX, Departamento de Perforación, "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA TAREA DE PERFORACION", 1971.
- Ríos Chávez Fideón, Departamento de Perforación, Sección Química de PEMEX, "LUDOS DE PERFORACION" y "PRUEBAS FISICAS Y QUIMICAS EFECTUADAS A LOS LUDOS DE PERFORACION", Reynosa, Tamaulipas, 1977.
- Ulric P. Gibson, Rexford D. Singer, "MANUAL DE LOS POZOS PETROLEROS", Editorial Limusa, 1967.
- W. McCray Arthur, W. Cole Frank, "GEOLOGIA DE LA PERFORACION DE POZOS PETROLEROS", 6^{ta} Ed. Continental, 1973