

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE PETROLEO

"PERFORACION CON AIRE (O CON GAS)"

PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL
TITULO DE INGENIERO DE PETROLEO

PRESENTADO POR
SANTIAGO CHINCHAY FERNANDEZ
(Bachiller en Ingeniería)

PROMOCION 1958

I N D I C E

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	3
CAPITULO I	5
Equipo	
CAPITULO II	16
Procedimiento	
CAPITULO III	26
Técnica	
CAPITULO IV	46
Problemas	
CAPITULO V	62
Aspectos Geológicos y de Reservorios	
CAPITULO VI	68
Economía	
CAPITULO VII	79
Aplicaciones Técnicas especiales de la Perforación con Aire	
CAPITULO VIII	
Medidas de Seguridad	
CAPITULO IX	85
Aplicación de la Perforación Con Aire en los campos Petroleros Peruanos.	
Conclusiones y Recomendaciones	91
Apendice I	94
Apendice II	96
Bibliografía	101

PERFORACION CON AIRE (O CON GAS)

INTRODUCCION

CAPITULO I - EQUIPO

Equipo de Superficie

Compresores y Boosters

conexiones de Superficie

Sistema de rotación

Sistema de Inyección de sustancias químicas

Equipo Su-superficial

Equipo Especial (exclusión de arenas de agua)

Otros Equipos necesarios

CAPITULO II - PROCEDIMIENTO

Comparación entre la eficiencia de la perforación con lodo y con aire

Manera de conseguir mejor avance de perforación

Viajes

CAPITULO III - TECNICA

Capacidad de suspensión de partículas por el sistema de aire

Volumen de aire requerido

Factores de Corrección

Medidas de flujo

Operación del Equipo

Compresores y Boosters

Equipo de Rotación de la Cabeza del pozo

Control de polvo de Detritos

CAPITULO IV - PROBLEMAS

Indicación del agua en la formación

Procedimiento para perforar zonas húmedas

Agentes absorbentes de agua

Agentes repelentes de agua
Perforación usando "espuma" como fluido
Perforación usando "fluido aerado"
Cierre de zonas de agua
Material y equipo empleados

CAPITULO V - ASPECTOS GEOLOGICOS Y DE RESERVORIOS

Ventajas de la exploración con aire como fluido de perforación
Evaluación geológica del reservorio
Litología y muestreo
Tamaño de los detritos
Registros de inducción
Toma de núcleos

CAPITULO VI - ECONOMIA

Evaluación del costo de un pozo

CAPITULO VII - APLICACIONES TECNICAS ESPECIALES DE LA PERFORACION CON AIRE

Pérdida de Circulación
Reacondicionamiento y completación de pozos
Percusión

CAPITULO VIII - MEDIDAS DE SEGURIDAD

CAPITULO IX - APLICACION DE LA PERFORACION CON AIRE EN LOS CAMPOS PETROLIFEROS PERUANOS.

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

Una vez que se generalizó el uso de la perforación rotaria, la técnica completa se volcó en la tarea de encontrar un fluido ideal para perforar.

El lodo presenta graves problemas como por ejemplo la invasión del agua y arcilla de su composición, dentro del reservorio; sobre todo en áreas depletadas y de baja presión.

Mas tarde se hicieron experimentos que demostraron que mientras mayor contrapresión se ejerce sobre el fondo del pozo, el avance de perforación disminuye. Esta contrapresión es mayor cuanto más pesado es el fluido de perforar, ya que la presión sobre el fondo esta en razón directa al peso específico y a la profundidad. Se han probado lodos especiales, agua y aire (ver figura 1) dando como resultado la nueva técnica de la "Perforación con Aire o Gas".

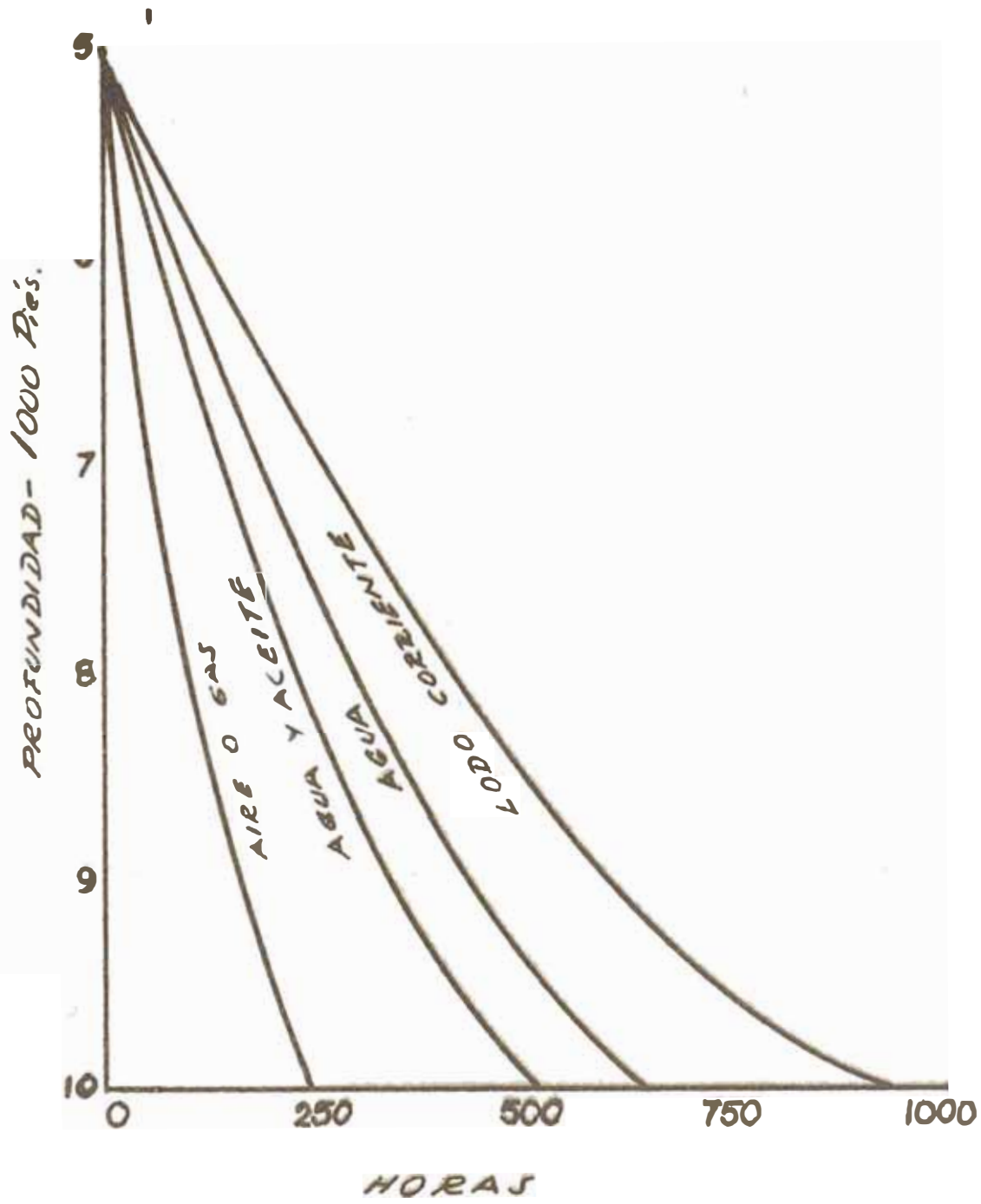
La perforación rotaria con aire o gas, conocida también como "Perforación Neumática", no es sino la utilización del aire o del gas como fluido de perforación en un equipo rotario convencional.

Cuando se dispone de pozos productores de gas a presión cercanos, se emplea este gas como fluido de perforación.

Si no se dispone de una fuente de gas de esta naturaleza, se usan los compresores.

La perforación con aire o gas es una técnica bastante moderna y aún en etapa de desarrollo experimental, por lo que día a día se han encontrado mejoras y sistemas tendentes a solucionar los problemas que se le presentan. Uno de ellos es la alta presión de las formaciones, que aún hoy es una restricción para la perforación con aire.

ANALISIS COMPARATIVOS DE PERFORACION



PERMIAN BASIN
5000-10,000 Pies

Figura N° 1

El flujo del agua de la formación al pozo es otro problema grave, pero que felizmente, dentro de ciertos límites, esta controlado. Ello se ha conseguido gracias al uso de sustancias químicas introducidas dentro del flujo de aire, y al empleo de procedimientos especiales como el uso de "espumantes", "lodo aireado" y "Cierre de arenas de agua". Esto lo veremos en más detalle en el capítulo respectivo.

La presión del aire y el volumen necesarios dependen de la profundidad del pozo, diámetro, cantidad de agua encontrada, etc.

El equipo adicional esta compuesto por compresores, aditamentos especiales para desfogue, sistema de inyección de productos químicos (sólidos y líquidos), medidores de presión y temperatura, etc. Existe además equipo y normas especiales para cerrar zonas de alta producción de agua.

La operación de la perforación con aire difiere muy poco de la perforación con lodo, sin embargo es necesario un entrenamiento especial para el uso de ciertas herramientas y equipo.

A continuación analizaremos más en detalle todos los pormenores de la perforación neumática.

C A P I T U L O I

E Q U I P O

Como hemos visto, un equipo de perforación rotaria puede ser adaptado fácilmente para perforar con aire o gas, agregándole ciertas herramientas necesarias debido a la presión y volumen de dicho fluido.

Cuando se usa gas es preciso tener mucho más cuidado que con aire, por su facilidad para incendiarse. Sin embargo el uso del gas de pozos cercanos que reúna los requisitos indispensables de presión y volumen puede ahorrar el gasto que significa el uso de compresores.

En caso de usar aire, se necesita además los compresores y Boosters. De todos los aditamentos que se usan para transformar un equipo rotario convencional a neumático son los compresores los mas caros. Sin embargo estos pueden conseguirse en alquiler. En algunos lugares existen compañías especializadas que además de alquilar los compresores proporcionan servicio y personal especializado, no solo para el uso de su equipo sino para la perforación misma.

En caso de tener que decidirse por comprar o alquilar el equipo es necesario tener en cuenta, por un lado las facilidades que nos puede brindar el personal especializado y por otro lado la frecuencia con que se va a usar el equipo.

Además del castillo (o mastil) huinche, bombas de lodo, etc., son necesarios los compresores, Boosters, sistema de rotación especial (para la boca del pozo), sistema de inyección de sustancias químicas, etc., los que describiremos a continuación.

C U A D R O I

PRESTIONES Y VOLUMENES DE AIRE NECESARIOS

	Volumen Pies cúbicos por <u>minuto</u>	Presión libras por <u>pulgada</u> cuadrada
Hueco de superficie 12-1/4" - 24"	2500 - 4000	60 - 350
Perforación en zonas secas hasta 5000' de profundidad Hueco: 7-7/8" - 9-7/8"	1500 - 2000	60 - 250
Perforación en zonas húmedas hasta 5000' de profundidad Hueco: 7-7/8" - 9-7/8"	2500	200 - 350
Perforación en zonas secas hasta 12,000' de profundidad Hueco: 7-7/8" - 9-7/8"	1500 - 3000	100 - 300
Perforación en zonas húmedas hasta 12,000' de profundidad Hueco: 7-7/8" - 9-7/8"	2000 - 4000	300 - 1500
Coreo	1000 - 2000	250 - 500
Lodo aireado	1500 - 2000	500 - 1250

Equipo de Superficie

Compresores y Boosters

Se necesitan compresores capaces de producir un volumen mínimo, calculado previamente, según la profundidad del pozo (ver Capítulo III) y Boosters, capaces de levantar la presión del volumen de aire producido por los compresores, según las necesidades. Las presiones de trabajo son muy variadas y dependen de la profundidad, producción de agua, etc. Por la tabla I nos podemos dar cuenta de las presiones y volúmenes más usados en la práctica. Por supuesto que estos valores están sujetos a variaciones según las áreas perforadas. Los compresores y Boosters más usados son de las marcas Gardner Denver, Ingersoll Rand, y Joy.

Este equipo, por lo general está montado sobre "patines (Skids)", para poderlos llevar fácilmente de un pozo a otro, subiéndolos sobre camiones. También existen modelos que cuentan con sus propias ruedas, por lo que para moverlos basta halarlos. Los motores que accionan estos compresores trabajan con Diesel o con gas propano.

Para la elección del equipo de compresores se debe tener en cuenta, además de los factores antes descritos, algunas consideraciones de carácter económico, tales como:

Transporte:

El transporte de muchas unidades pequeñas es mucho más costoso que el transporte de menos unidades pero más grandes (menos viajes).

Conexiones

El número de conexiones aumentará lógicamente con el número de unidades a usarse.

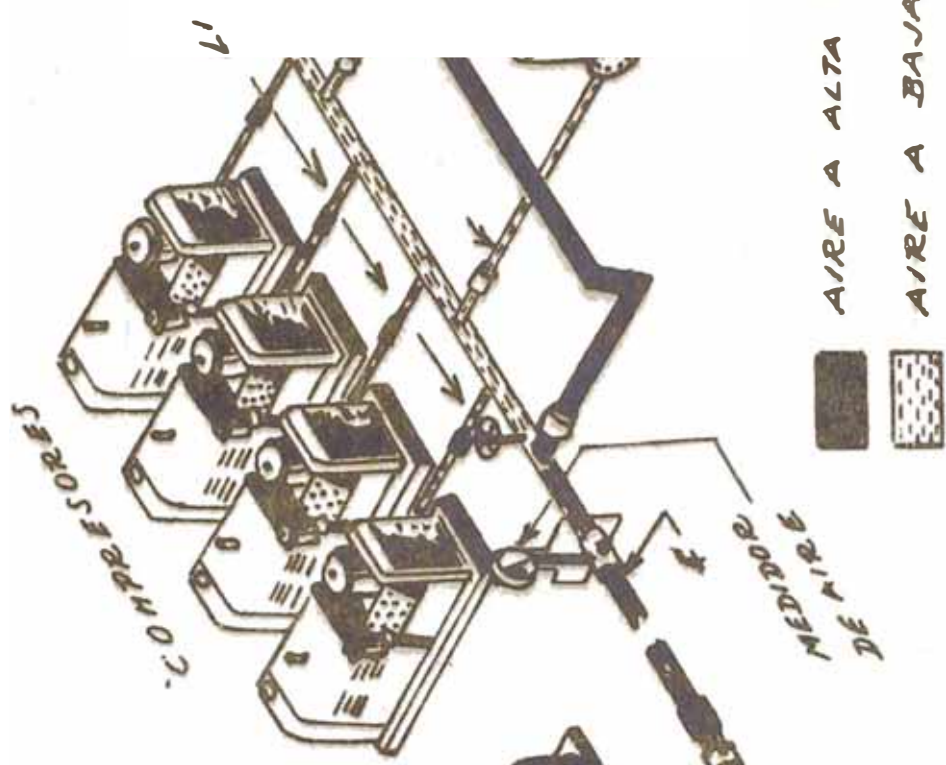
VALVULA CHECK

VALVULA MACNO

VALVULA COMPRESOR

BOMBA DE VACUOS

BOMBA DE JAPONESA



AIRE A ALTA PRESSION
 AIRE A BAJA PRESSION



BOOSTER

Reserva

A pesar de las ventajas anteriormente enumeradas hay que reconocer que si en un grupo de unidades grandes, se malogra una de ellas; durante el tiempo que dura su reparación se pierde mucho más volumen de aire en el flujo total, que si se malogra un compresor de un grupo de unidades más pequeñas.

Tanto la firma Joy como la Ingersoll Rand se han dedicado a fabricar compresores de gran tamaño, mientras que la Gardner Denver produce unidades más pequeñas.

Del cuadro adjunto (Tabla II) podemos escoger el caballeje más conveniente según nuestras necesidades, pero en los cálculos para determinar el equipo necesario, es menester tener en cuenta la altura sobre el nivel del mar a la que van a trabajar los motores, pues es conocido el efecto de la altitud sobre la eficiencia de los motores de combustión y sobre todo en los compresores. Por esta razón la capacidad de salida de un compresor debe calcularse referida a las condiciones de presión y temperatura de la entrada.

Conexiones de Superficie

En general las conexiones de la superficie deben ser del mayor diámetro posible, a fin de evitar recalentamientos y pérdidas por fricción.

Las líneas principales, de los compresores a la cabeza del pozo son: Múltiple de descarga de los compresores (y toma de los boosters), múltiple (o manifold) de descarga de los boosters, línea de alimentación al pozo, pasando por los enfriadores, el "standpipe" y manguera de perforar corriente, y línea de descarga.

C U A D R O II

CABALLAJE TEORICO REQUERIDO PARA LOS COMPRESORES

<u>Psig.</u>	Presión de descargue Psia.	Compresión Isotérmica	Compresión Una <u>etapa</u>	Adiasatica Dos <u>Etapas</u>
		Caballaje Teórico HP por cada 100 <u>pies</u> cúbicos	Caballaje Teórico HP <u>por</u> 100 ft ³	Caballaje Teórico HP <u>por</u> 100 ft ³
5	19.7	1.8	1.96	
10	24.7	3.3	3.58	
15	29.7	4.5	5.0	
20	34.7	5.5	6.2	
25	39.7	6.4	7.4	
30	44.7	7.1	8.4	
35	49.7	7.8	9.3	
40	54.7	8.4	10.2	
45	59.7	9.0	11.0	
50	64.7	9.5	11.8	
55	69.7	10.0	12.6	
60	74.7	10.4	13.3	
65	79.7	10.8	13.9	
70	84.7	11.2	14.6	12.8
75	89.7	11.6	15.2	13.3
80	94.7	12.0	15.7	13.7
85	99.7	12.3	16.3	14.1
90	104.7	12.6	16.9	14.5
95	109.7	12.9	17.4	14.9
100	114.7	13.2	17.9	15.3
150	164.7	15.5	22.3	18.5
200	214.7	17.2		20.9
450	464.7	22.3		28.6
600	614.7	23.9		31.3

La línea de descarga tiene una longitud mínima de trescientos pies y se diseña de tal manera que tenga una capacidad de acarreo de materiales cortados por la broca, superior a la del espacio anular. Esta línea se tiende en la dirección del viento. Se cuenta además con conexiones auxiliares como: conexión para inyección de materiales sólidos y líquidos dentro del flujo de aire, conexión para lodo. Esta línea debe estar conectada siempre para usarse en caso de emergencia. Como medida de seguridad todas las líneas y válvulas por las que circula el aire deben probarse por lo menos al doble de la presión de trabajo. En lugar de la manguera de perforación se está generalizando el uso de una tubería flexible y dividida con uniones giratorias, tipo "swivel".

Sistema de Rotación

Además de la mesa rotaria y el "swivel" convencional, se necesita un impide reventones rotativo (rotating blow out preventer: R.B.O.P.).

Los impide reventones rotativos usados son de las marcas "Shaffer" y "Hydril".

El instrumento en sí consiste en un mecanismo de empaquetaduras que permite mantener un sello constante en la boca del pozo mientras se está perforando.

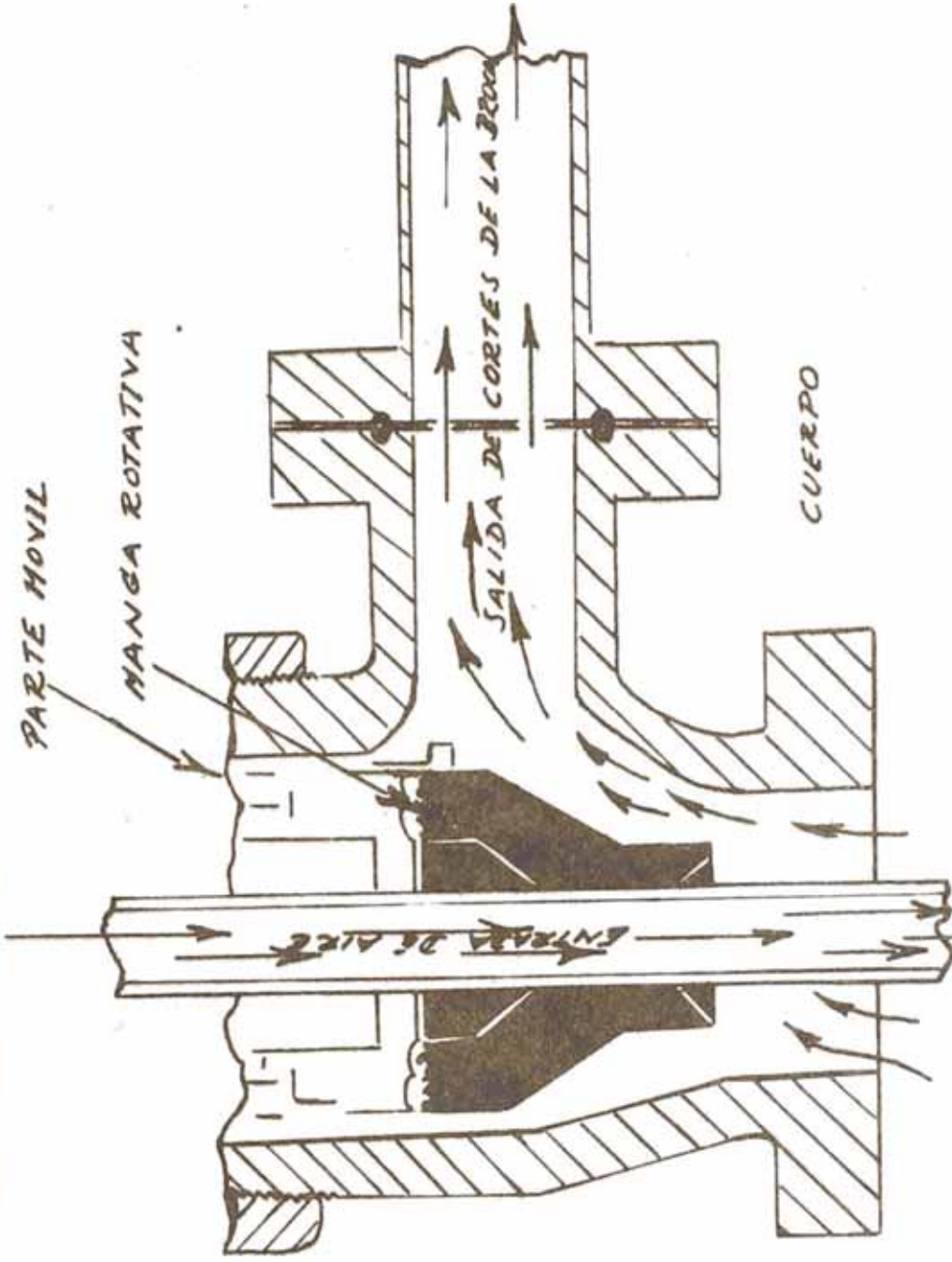
El impide reventones rotativo está compuesto por: (ver figuras 2 y 3)

- a) Cuerpo
- b) Parte móvil

Cuerpo

El cuerpo es de acero y va unido por la parte inferior, al impide reventones convencional, y por la parte superior da cavida al elemento móvil.

IMPIDE REVENTONES ROTATIVO (Stoffer)



ura N° 2

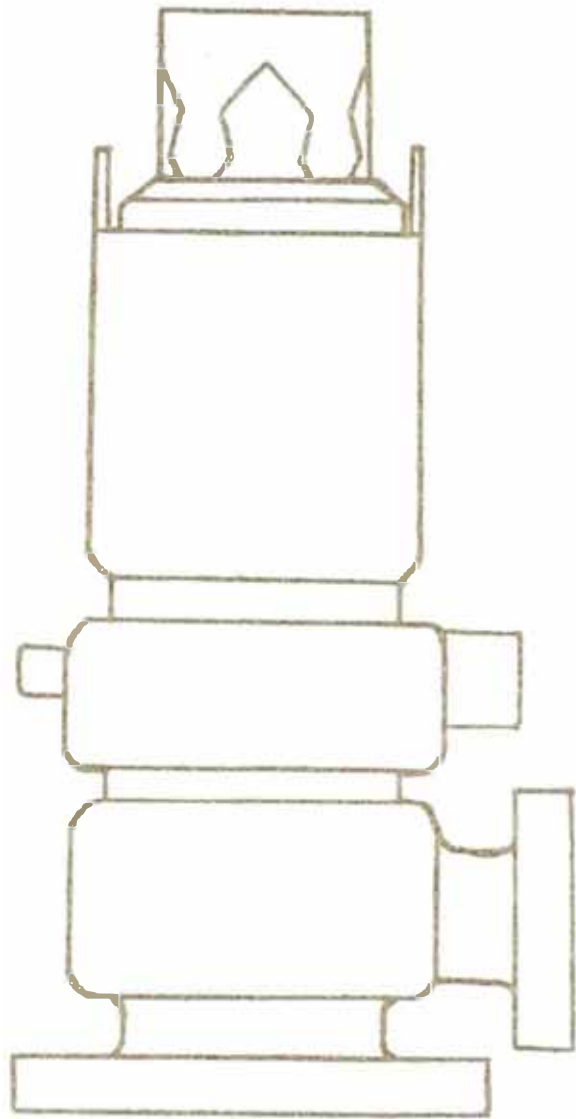


Figura N°3

IMPIDE REVENTONES ROTATIVO (Vista Exterior)



TUBERIA



KELLY



COPLÉ

POSICION DEL "STRIPPER RUBBER"

Figura N.º 4

Parte Móvil

La parte móvil está a su vez dividida en dos partes:

- 1) Unidad del "Kelly"
- 2) Manga rotativa (Rotating sleeve)

La "unidad del kelly" se coloca en el "kelly" y permanece todo el tiempo sujeta a él. Esta unidad encaja en la parte superior del "rotating sleeve" y le da movimiento a toda la parte móvil. El "rotating sleeve" lleva en su parte inferior el "caucho sellante" (stripper rubber).

El "stripper rubber" al quedar fuertemente adherido a las paredes del "kelly" o de la tubería de perforar, sella la presión del pozo comprendida entre el espacio anular y la parte exterior del "kelly" (o de la tubería de perforar). (Figura No. 4)

Las empaquetaduras que tiene el "rotating sleeve" sellan la presión confinada entre su parte exterior y la parte interior del "cuerpo".

Sistema de Inyección de Sustancias Químicas

Se requieren bombas especiales para inyectar "espumantes", en el caso de encontrarse zonas de agua, lo mismo que un equipo "inyector de sólidos".

(El uso de los espumantes y sustancias químicas sólidas lo veremos ampliamente en el capítulo "Problemas").

Inyector de sólidos

El equipo inyector de sólidos debe ser tal que permita introducir productos sólidos dentro del flujo de aire (que se encuentra a alta presión, superior a setecientas libras por pulgada cuadrada y sin que haya fugas de aire.

El inyector está formado por las siguientes partes (ver figura 5)

a) Elemento móvil: Un motor que puede ser eléctrico, a gas o diesel, y que mueve por medio de fajas o por cadena al engranaje "A" (ver figura 5).

b) Mecanismo de la bomba

Mecanismo de la Bomba

Los engranajes "A" y "B" están diseñados de tal manera, que permiten llevar en su superficie una cadena especial; compuesta por pistones igualmente espaciados (C).

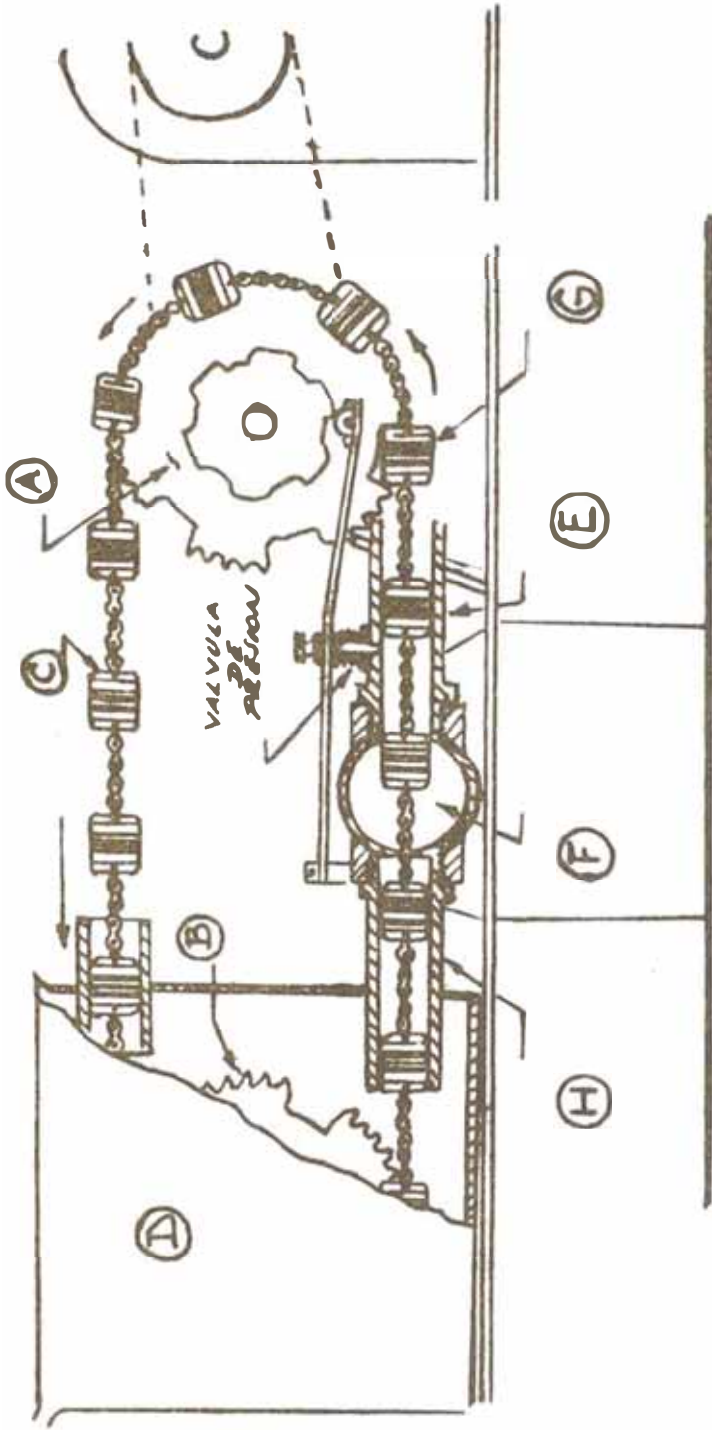
Como uno de los engranajes (el "B") se encuentra dentro del recipiente del producto a inyectarse (D), la combinación de pistón y cadena sirve como una faja sin fin. El material seco es acarreado por los pistones a través del "tubo inductor" (E) hacia la línea de aire. Cada pistón posee anillos de presión (iguales a los empleados en los motores de combustión interna) para asegurar un sello hermético tanto en el "inductor" como el eductor (H).

El espaciamiento de los pistones es tal que todo el tiempo hay dos pistones tanto en el "inductor" como en el "eductor". Esto duplica el efecto sellante.

El "eductor" posee además una válvula de descarga, para la presión atrapada entre dos pistones sucesivos al pasar por la línea de aire a alta presión. Para variar el régimen de inyección de sustancias, bastará con aumentar o disminuir la velocidad de los engranajes.

Equipo Subsuperficial

Es necesario tener mucho cuidado con el equipo que se usa dentro del pozo. Tanto al escogerlo, como durante la operación. Esto



IN TOR DE SOL OS

vira N.º 5

debido a que los problemas de corrosión, golpe, abrasión, etc., son mucho más severos que en la perforación con lodo.

Brocas

Las brocas más usadas son las que se emplean normalmente en terreno duro en la perforación con lodo (Hard formation bits). Este tipo de broca es empleado indistintamente, tanto en terreno duro como en terreno blando. El empleo de este tipo de broca permite perforar el mayor número posible de pies por broca.

En la perforación con aire (o gas) no existe el problema de que los dientes de la broca se "empaqueten" (cuando el lodo y la greda se adhieren a la broca) por lo que teniendo dientes pequeños las brocas se mantendrán en buen estado más tiempo en el fondo del pozo, disminuyendo, consecuentemente, el tiempo perdido en "viajes".

Los chorros de la broca han de ser del mayor diámetro posible, para reducir al mínimo la pérdida de presión por fricción. La mayor de las veces se usan brocas convencionales, pero también se pueden utilizar brocas del tipo "Jet" pero sacándole los chorros.

La "Hughes Bit Co." ha desarrollado un nuevo tipo de broca; la "Aero Bit" para perforación con aire o gas. También la "Reed Roller Bit Co." y la "Security Engineering Co. En este tipo de brocas, una porción de la corriente de aire, circula a través de los rodillos. Este aire al mismo tiempo que enfría los rodillos no permite que la arena y suciedades del fondo del hueco penetran a la "pista" de los rodillos, y los malogren. Esto prolongará aun más la vida de las brocas.

Este tipo de broca es muy útil cuando se perfora terreno sumamente abrasivo pero es mucho más cara que las brocas corrientes.

"Botellas" y Tubería

Las "botellas" deben tener un diámetro interior lo más grande posible, a fin de disminuir las pérdidas de presión por fricción. En la "botella" de la broca se usa una válvula que evita que el aire regrese por el interior de la sarta de perforación. Algunas veces se usa otra válvula en la sarta de perforar, cerca de la superficie, sobre todo si se espera encontrar zonas con presión de gas. El uso de estas válvulas está restringido por la imposibilidad de poder arrear instrumentos registradores de desviación.

Ultimamente la Compañía "Baker Oil Tools" ha diseñado una válvula llamada "flaper valve" tipo G.B., que permite el paso del instrumento de tomar desviación.

La tubería de perforar es la misma usada en la perforación con lodo.

"Pescantes"

Se usan las mismas herramientas de "pesca" que en la perforación con lodo tales como "overshot", "washover", etc.

Cuando la tubería se atraca y se desea desembonar la porción que se encuentra libre, la carga empleada para los disparos, debe ser menor que la usada en la perforación con lodo. Ello por razón de que no existe columna hidrostática que amortigue el golpe y puede ocurrir que se rompa la tubería.

Estabilizadores

Se usan estabilizadores, tanto de aluminio como de caucho. Los estabilizadores son usados con más frecuencia que en la perforación con lodo pues los pozos perforados con aire tienden a desviarse con más frecuencia cuando no se tiene cuidado para el cambio de broca, pues una broca

gastada a pesar de no bajar su avance normal de perforación, desvia bastante el pozo. Sin embargo el uso de los estabilizadores esta limitado por la presión del pozo. En áreas con presión alta, en las que hay que hacer los viajes con el "impide reventones rotativo" colocado no se ponen estabilizadores, pues no pasan a travez del "impide reventones rotativo".

Accesorios

Se usan también cauchos protectores del "casing" pero en mayor número que en la perforación con lodo pues el "casing" está sujeto a continuos golpes de la tubería y no cuenta con el elemento protector que constituye el lodo en la perforación con lodo.

Se usa también "Grafito" dentro del flujo de aire, a fin de darle propiedades lubricantes, pues es tal la fricción que hay entre la cañería de perforar y el "casing" de "superficie" e "intermedio", que la mesa rotaria no puede alcanzar su velocidad máxima.

Equipo Especial

Obturadores (Packers)

Se emplean los mismos "obturadores" usados en la cementación forzada (squeeze cementing) y en el "fracturamiento hidráulico en hueco abierto" (Open hole sand frac), siempre que sea necesario "cerrar" una zona con alta producción de agua. Su utilización la veremos en el capítulo IV.

Los tipos de "packers" más usados son:

- 1) Obturadores Inflables "Lynes"
- 2) Obturadores "Halliburton"
- 3) Obturadores "Hydroseal"
- 4) Obturadores "Baker"

Obturadores Lynes (Tabla III)

Por su simplicidad de construcción y operación son muy usados. Tienen la ventaja que se amoldan a la forma del hueco. Existen dos tipos: el de "sentado repetido" (Repeated setting packer) y el de "sentado simple" (Single setting packer). El primero de ellos solamente es alquilado en los Estados Unidos y Canada y operado por personal especializado de la firma.

Obturadores "Halliburton" (Tabla IV)

Contando con servicio especializado en casi todas partes del mundo la firma "Halliburton Oil Well and Cementing Co." ofrece una gran variedad de obturadores que pueden ser utilizados para "sellar" zonas de agua.

Los tipos principales son:

- a) Obturadores tipo DM y DC para hueco abierto (son perforables).
- b) Obturador tipo ESA (Expanding shoe well anchor)
- c) Obturadores para las "botellas"

Los obturadores del tipo DM y DC son perforables y se usan para operaciones en las que es imposible recuperar el obturador. El DM es de Magnesio y DC de hierro forjado.

Los obturadores para "botellas" han sido recientemente diseñados por la "Halliburton" y probados en el campo. Son del tipo inflables y se colocan en la sarta de perforar justamente encima de la broca. El uso de este tipo de obturadores ahorra mucho tiempo en las operaciones de cierre de arenas de agua.

Obturadores "Hydroseal" (Tabla V)

Esta firma produce dos tipos de obturadores "AT" y "P". Los dos son

iguales en cuanto a operación sin embargo el tipo AT es hecho de material mas fuerte y se emplea en pozos profundos.

Obturadores "Baker" (Tabla VI)

La "Baker Oil Tools, Inc." ofrece dos tipos de obturadores. El tipo No. 414 y el tipo "D". El primero es del tipo recuperable y para hueco abierto y el segundo es "perforable"

A continuación mostramos tablas con las especificaciones y dimensiones de las diferentes marcas de "obturadores"

TABLA III

OBTURADORES TIPO "LYNES"

Diámetro exterior en <u>pulgadas</u>	Tipo	Largo en <u>pulgadas</u>	Largo de la superficie en contacto en <u>pulgadas</u>
3-1/2	AF	42	29
3-1/2	AF	66	53
3-1/2	AF	132	123
4-1/4	AF	42	29
4-1/4	AF	66	53
4-1/4	AF	132	123
4-5/8	AF	42	28
4-5/8	AF	66	52
4-5/8	AF	132	122
5-5/8	AF	42	26
5-5/8	AF	66	50
5-5/8	AF	132	120
5-5/8	BF	42	26
5-5/8	BF	66	50
5-5/8	BF	132	120

AF : Tamaño natural

BF : Extra largo, para pozos profundos

Lynes Inc.

TABLA IV

OBTURADORES "HALLIBURTON" (Tipo DM y DC)

Diámetro exterior en Pulgadas	Diámetro en pulgadas del hueco (Máximo)
3.8	4.09
3.62	3.92
4.20	4.56
3.95	4.27
4.65	5.04
4.45	4.78
4.89	5.29
5.12	5.52
5.75	6.27
5.50	6.00
6.06	6.62
6.56	7.12
7.56	8.12
8.56	9.06
9.54	10.19

Halliburton Oil Well and Cementing Co.

TABLA V

OBTURADORES "HYDROSEAL"

<u>Tipo</u>	<u>Dimensión en pulgadas</u>	<u>Diámetro del hueco en pulgadas</u>
P - 100	2-7/8 x 4-1/2 x 50 pies	4 - 3/4
	4-5/8	4 - 3/4
P - 100 A	5-7/8	6 - 1/8 - 6-1/4
	6-1/8	6 - 3/8 - 6-3/4
	6-3/4	7 - 7-1/2
	8	8 - 3/8 - 9
SP - 100	2-7/8 x 4-1/2 x 90 pies	4-3/4
	4-5/8	4-3/4
	5-7/8	6-1/8 - 6-1/4
	6-1/8	6-3/8 - 6-3/4
	6-3/4	7 - 7-1/2
SP - 100 A	8	8-3/8 - 9
	2-3/8 x 3-1/4 x 50 pies	3-1/2
	3-5/8	3-7/8
	4	4-1/4
	4-1/4	4-1/2

Sweet Oil Well Equipment Inc.

TABLA VI

OBTURADORES BAKER

Diámetro exterior del empaque en <u>pulgadas</u>	Rango del hueco abierto en que se usan en <u>pulgadas</u>
3.592	3.781 - 3.999
3.812	4.000 - 4.124
3.937	4.125 - 4.249
4.000	4.250 - 4.436
4.250	4.437 - 4.624
4.437	4.625 - 4.811
4.562	4.812 - 4.975
4.750	4.976 - 5.124
4.937	5.125 - 5.311
5.125	5.312 - 5.500
5.312	5.501 - 5.675
5.468	5.676 - 5.874
5.687	5.875 - 6.094
5.875	6.095 - 6.276
6.000	6.277 - 6.456
6.250	6.457 - 6.705
6.500	6.706 - 7.025
7.312	7.500 - 7.811
7.625	7.812 - 8.150
8.187	8.438 - 8.921

Baker Oil Tools, Inc.

C A P I T U L O I I

P R O C E D I M I E N T O

Una vez que el equipo está instalado (hechas las conexiones y armados los compresores y manifolds) la perforación se lleva a cabo de una manera similar a la perforación con lodo, salvo en el caso que se encuentre una arena productora de agua.

El volumen de aire que sale de los compresores, es introducido en el pozo a través del "Standpipe" y la manguera de perforación, pasa por los "agujeros" de la broca y regresa a la superficie por el espacio anular, trayendo en su regreso las partículas cortadas por la broca. En la cabeza del pozo, tanto el aire como los detritus, son "guiados" por el "impide reventones rotativo" hacia la línea de descarga. (Ver figura No. 6)

En la línea de descarga está ubicado el equipo necesario para recolectar las muestras utilizadas por los geólogos.

Tanto el peso sobre la broca como la velocidad de la mesa rotaria, han sido reducidos en la perforación con aire.

Bajo estas condiciones los cortes pueden ser sacados del fondo del hueco, tan pronto como la broca rompa el terreno. Esto es un factor muy importante, pues como la circulación debe ser suspendida periódicamente, para agregar nuevos tubos a la "sarta de perforar" (cada treinta pies aproximadamente), es necesario que el hueco se encuentre todo el tiempo totalmente limpio, para que no se atraquen los "rodillos" de la broca ni la tubería misma.

Por otro lado, con poco peso y velocidad de la mesa rotaria se puede

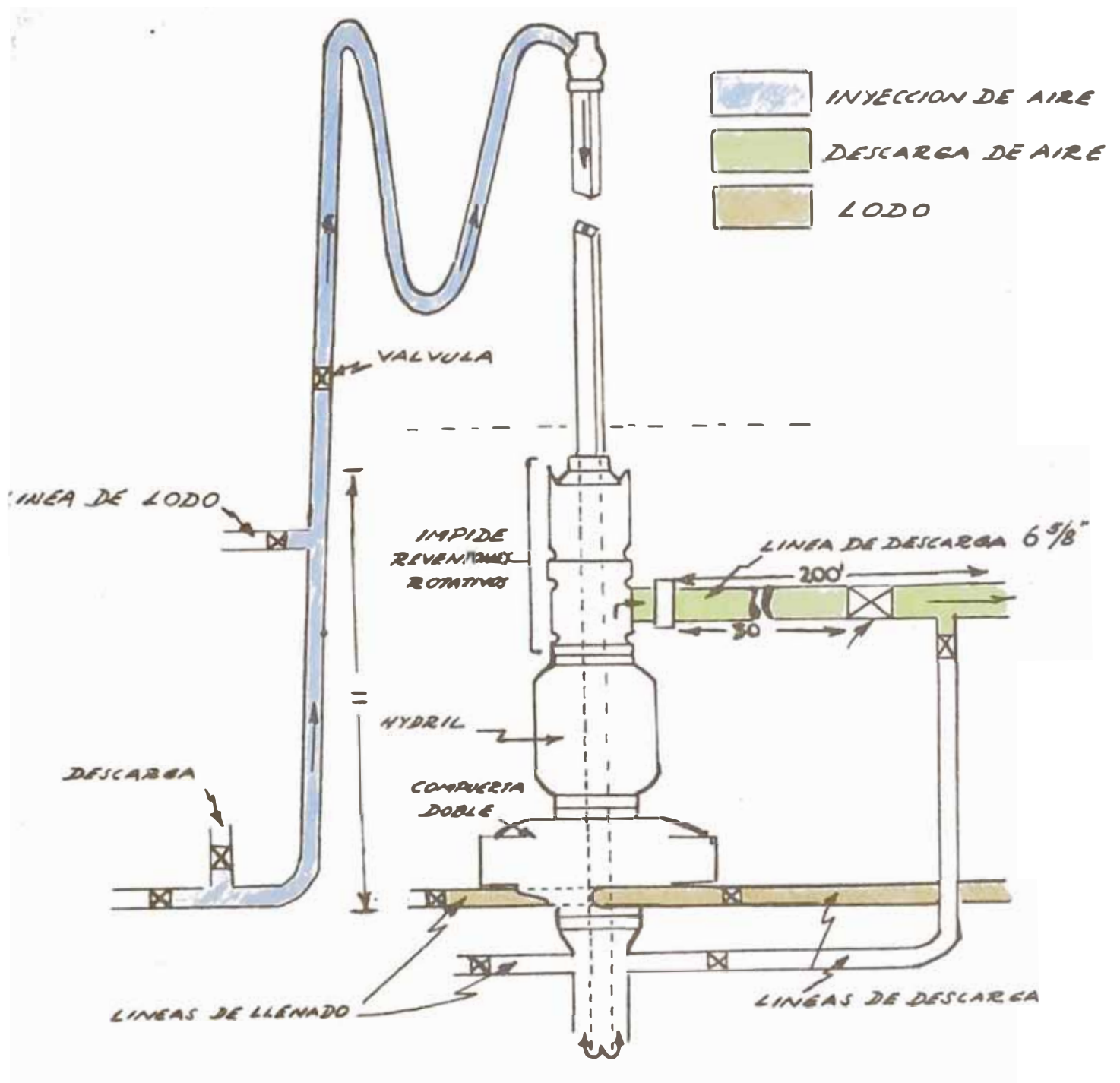


Figura N°6

CONEXION TIPO DE LA CABEZA DEL POZO
(PERFORACION CON AIRE O GAS)

alcanzar una mayor duración de la broca y por lo tanto un mayor promedio. En la perforación con aire una broca corriente dura de 18 a 36 horas sin malograrse. Como el número total de pies perforados por broca es muy importante para reducir los costos, mientras más tiempo se encuentre la broca en el fondo—en buenas condiciones se entiende— mayor número de pies por broca se obtendrán disminuyendo considerablemente el tiempo perdido en números o "viajes" para cambiar la broca. Esto es más notorio a mayor profundidad donde se emplea de ocho a diez horas en el cambio de una broca.

Sin embargo, a pesar de estos factores favorables a la perforación con aire, el agua de las formaciones disminuye considerablemente dichas ventajas. Muchas veces, pequeñas cantidades de agua, en zonas de gredas "hidratables" hacen que los cortes de la broca se junten entre si y formen partículas más grandes, que traban la broca y hasta pueden "atracar" la cañería.

Comparación entre la eficiencia de la perforación con lodo y con aire

Podemos analizar separadamente las ventajas y las desventajas de la perforación con aire con respecto a la perforación con lodo, a fin de formarnos un juicio comparativo entre ambas.

Las ventajas de la Perforación con aire sobre la de lodo son:

- 1) La menor posibilidad de malograr las formaciones
- 2) Menor tendencia a perder circulación (por no decir ninguna)
- 3) Se obtiene mayor recuperación de "núcleos" (cores), los cuales además no están contaminados.
- 4) Alto avance de perforación
- 5) Mayor vida de la broca

En la perforación con aire se elimina el efecto dañino del agua del lodo de perforación que invade las formaciones.

El agua, al invadir ciertas arenas que contienen gredas "hidratables", (capaces de absorber agua), las hincha obstruyendo los espacios porosos, y dificulta el flujo normal del aceite.

El mismo lodo muchas veces malogra ciertas formaciones (reservorios depletados) invadiendo las zonas adyacentes a la pared del pozo. Las formaciones así invadidas deben someterse a trabajos de reacondicionamiento a fin de que puedan producir.

La perforación con aire es de gran ayuda en zonas con tendencia a perder circulación.

Cuando se toman "núcleos" (cores) con aire como fluido de perforación, se obtienen muestras más limpias y la recuperación es mucho mayor que en el muestreo de la perforación con lodo. Inclusive se obtienen, relativamente altas recuperaciones en zonas en las que es imposible "muestrear" usando lodo como fluido.

Los avances obtenidos perforando con aire son mucho más altos a los obtenidos con lodo, debido principalmente a que se reduce la presión hidrostática sobre las formaciones a perforarse. Se ha demostrado, mediante pruebas, tanto en el laboratorio como en el campo, que al reducir la columna hidrostática se aumenta el avance de perforación. Luego el régimen de penetración será más alto cuando más bajo sea el peso del lodo y con mayor razón al usar fluidos menos pesados como el agua, fluidos "aereados" y por último el aire (o gas).

La vida de las brocas se ~~alarga~~debido, posiblemente al mejor sistema de enfriamiento producido por el aire. Además cabe notar que gracias a la poca tendencia a "empaquetarse" que tienen las brocas en la perfo-

Perforación con aire, se pueden usar brocas del tipo duro (Hard formation bits) hasta en zonas sumamente blandas, lo que permite cortar mayor número de pies sin que se "gaste" la broca, debido al menor tamaño de los dientes de la "hard formation bit".

Las desventajas de la perforación con aire son:

- 1) Aparente imposibilidad de perforar en zonas de agua
- 2) Menor soporte para arenas delesnables
- 3) Menor control de la presión de formación
- 4) Mayor peligro de Incendio
- 5) Mayor desgaste de la columna de perforar
- 6) Mayor esfuerzo del equipo de superficie.

Se puede perforar con aire en zonas que producen agua, solo dentro de ciertos límites, gracias al uso de:

- a) agentes espumantes
- b) productos químicos absorbentes y repelentes
- c) procedimientos tendentes a "cerrar" las zonas de agua.

Si bien es cierto que todos estos procedimientos encarecen la perforación con aire, es también cierto que el mejor avance que se obtiene con la perforación con aire muchas veces es tal que justifica seguir perforando. Sobre la cantidad máxima de agua que se puede controlar, durante la perforación con aire, existen muchas opiniones, pero se puede aceptar como aproximada la cifra de cien barriles de agua por hora.

Las formaciones delesnables no cuentan con el soporte que representa el lodo y la pared formada por él (costra), por lo que tienden a derrumbarse cuando se perfora con aire. Este inconveniente puede salvarse, perforando y completando el pozo lo más rápido posible.

El menor control de la presión es un problema muy serio que imposibilita la perforación con aire en ciertas áreas.

La columna de perforar se malogra más rápido, debido a los fuertes golpes que sufre contra las paredes del pozo, durante la perforación, ya que no cuenta con el "colchón" de lodo para protegerla.

La falta de lodo hace también que el trabajo del equipo de superficie sea más duro, puesto que no se cuenta con el factor de "flotación" que dá el lodo. Los motores, el huinche y el cable de perforar estan sujetos a mayores tensiones al arrear y subir la cañería.

Manera de Conseguir un mejor Avance de Perforación

Haciendo un análisis profundo de todos los factores que lo afectan se puede llegar a un "avance óptimo".

Para ello se analizan y controlan cuidadosamente los primeros pozos, perforados con aire en el área, tomando todos los datos que puedan ser útiles para un estudio posterior.

Esto es muy importante, pues la gran ventaja que tiene la perforación con aire sobre la perforación con lodo, sólo se puede conseguir si se aplican todas y cada una de las condiciones óptimas de perforación, a fin de evitar cualquier pérdida de tiempo ocasionada por huecos torcidos, pérdidas de "rolas", tuberías atracadas, etc.

El tipo de broca usado es muy importante. En la perforación con aire es preferible usar brocas del tipo "duro" tales como W7R, H7W, RGlJ, Cobra, etc., aun en zonas blandas (gredas).

Esta conclusión se ha sacado después de innumerables pruebas de campo. En las áreas de "Rocky Mountains" y "McAlester Basin", en los Estados Unidos de America, se han llevado a cabo gran parte de estas pruebas.

los pozos perforados en estas áreas, se encontró que en zonas blandas (gredas) las brocas con dientes grandes (brocas para terreno blando) no mejoraban mucho el avance obtenido con las brocas para terreno duro (Hard formation bits). Sin embargo las brocas de dientes pequeños (hard formation bit) duraban mas tiempo en el fondo sin malograrse y por consiguiente perforaban mas pies. Aumentando el número de pies perforado por broca se disminuye el costo total de perforación por pie, pues se reduce el tiempo de "viajes", como ya hemos visto.

Un factor importante para obtener mejores avances en la perforación con aire es la disminución de la fricción. Por ello en las brocas se trata de tener lo mas grande posible los huecos por donde pasa el aire. Por esta razón no se usan las brocas tipo "Jet" y si es necesario usarlas se les quita los "Chorros". A las brocas convencionales, se les acostumbra a hacerles un "hueco" en la parte central a fin de aumentar el área reduciendo asi las pérdidas de presión por fricción.

La elección de los rodillos de las brocas debe hacerse también con mucho cuidado. Las brocas con rodillos "autolubricados" y "sellados" han tenido gran acogida en la perforación con aire.

Existen brocas especiales para la perforación con aire, como ya hemos visto, que enfrían y lubrican los rodillos mediante el aire del sistema. Este tipo de broca, la "aero bit" es bastante mas cara que las brocas corrientes, por lo que su uso solamente se justifica en áreas en las que el terreno es sumamente abrasivo.

Algo que es bastante difícil y sin embargo de gran importancia para obtener buenos avances de perforación, es el momento en que se debe cambiar la broca.

En la perforación con lodo bastará un poco de "habilidad" del perforador para que "se dé cuenta" de que la broca baja su rendimiento y que es necesario cambiarla. En la perforación con aire se necesita un cuidado más estricto y un control constante, tanto del tiempo que está perforando la broca, como del terreno que está cortando. Esto se debe a que una broca completamente gastada disminuye muy poco su régimen de penetración con respecto al de una broca nueva. Ello ocasiona muchas veces pérdidas de "conos" y "pescas" que retrasan la perforación y aumentan el costo de la misma.

Por otro lado se debe tener en cuenta que siempre es preferible sacar una broca que esté relativamente buena, a perder una "rola" en el hueco, o desviarlo si se continua perforando con una broca en mal estado. Hoy en día este trabajo se alivia algo con los registradores automáticos de "torsión". Si se observa constantemente la curva de "torsión" registrada en el instrumento, se puede dar una cuenta del mal estado de la broca cuando la curva de torsión aumenta. Por supuesto que para interpretar esta curva se requiere gran experiencia en el tipo de perforación que se esta llevando a cabo y en las características de las formaciones que se estan atravesando.

El peso sobre la broca, en la perforación con aire es menor, en términos generales, al empleado en la perforación con lodo, y es posible variarlo con mayor exactitud según las necesidades del terreno, puesto que las muestras del terreno que se está cortando llegan a la superficie mucho más rápido que en la perforación con lodo. Se recomienda pesos sobre la broca de "Veinte a cuarenta mil libras" y revoluciones de la mesa rotaria

e "setenta a cien revoluciones por minuto". Sin embargo muchas veces será necesario usar pesos sobre la broca y revoluciones de la mesa mucho menores a los óptimos, debido a problemas de desviación. El uso de estabilizadores ayuda notablemente a eliminar este problema.

Debido a la ausencia del lodo, que se comporta como un "amortiguador", la broca en la perforación con aire, soporta impactos bruscos de la columna de perforar, razón por la que siempre se encuentran numerosos "dientes" de la broca rotos. Esto se puede disminuir, si el perforador tiene más cuidado en el momento de empezar a perforar con broca nueva. El perforador debe tratar de "acomodar" despacio la nueva broca al "patrón" dejado por la anterior.

Aparte de éstas consideraciones de carácter particular, el avance en la perforación con aire es directamente proporcional: al régimen de circulación del fluido, peso sobre la broca y velocidad de la mesa rotaria. Esto como ya sabemos es general para la perforación rotaria. Por ello la idea principal es contar con compresores lo más grande posibles; por supuesto que dentro de ciertos límites, en lo que prima el criterio económico.

La curva típica del avance de perforación con aire o gas es del tipo ~~convexo~~ (ver figura No.7), mientras que la de la perforación con lodo es del tipo cóncavo. De la comparación de estas dos curvas podemos darnos una idea de la ventaja de la perforación con aire respecto a la de lodo. Sin embargo la curva de la perforación con aire tiende a convertirse en una recta en cuanto se atraviesan arenas de agua. El estudio de la curva de régimen de avance nos permite determinar cuando resulta económico clausurar una zona de agua. Con tal fin se extrapola

la curva para determinar si el avance que se tendrá después que se clausure la arena de agua justificará el cierre de dicha arena o si se pudiere continuar perforando (con productos químicos absorbentes, repelentes o "espumantes") aun disminuyendo el avance de perforación. Esto se puede hacer si se cuenta con compresores suficientemente grandes como para levantar (con la ayuda de las sustancias químicas) a la superficie el volumen de agua que el pozo está produciendo.

Los agentes "absorbentes, repelentes y espumantes" agregados al flujo de aire para atravesar arenas de agua, aumenta la fricción del aire incrementando la presión en la cabeza del pozo. Como sabemos el aumento de la presión en la cabeza del pozo disminuye el avance de perforación, razón por la que se debe usar el menor número posible de sólidos en el sistema de aire.

Una buena práctica es el uso de "secadores" de aire, antes de que éste entre a los compresores, sobre todo en lugares húmedos; pues a veces sucede que juntamente con el aire se esta introduciendo agua en el pozo. (Agua proveniente de la atmósfera húmeda). Cuando el aire húmedo atraviesa zonas de greda hidratable, esta se hincha y empaqueta la broca, lo que puede dar lugar a falsas interpretaciones pues se cree que se esta atravesando zonas productoras de agua.

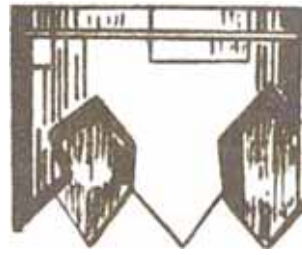
Viajes

Como en la perforación con aire no se cuenta con el factor de flotación que proporciona el lodo a la columna de perforar, es necesario tener más cuidado al hacer los viajes para cambiar de broca a fin de que la sarta de perforar no se malogre demasiado rápido o se rompa, produciéndose una "pesca".

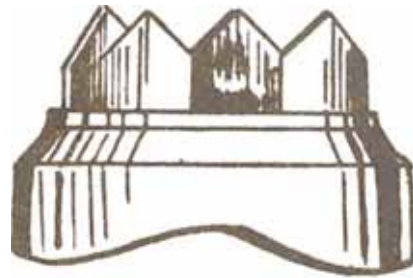
Como al templar la tubería, lo mismo que al arrearla, la columna está sujeta a esfuerzos de tensión muy grandes (sobre todo en pozos profundos) es necesario "sacar" y "arrear" despacio sin "templones" ni paradas bruscas. Para ajustar las uniones, tanto de las "botellas" como de la tubería de perforar se debe usar un indicador de torsión a fin de darles un ajuste uniforme.

La Instalación del Impide Reventones Rotativo (Tipo Saaffer) es como sigue (Figuras 7 y 8).

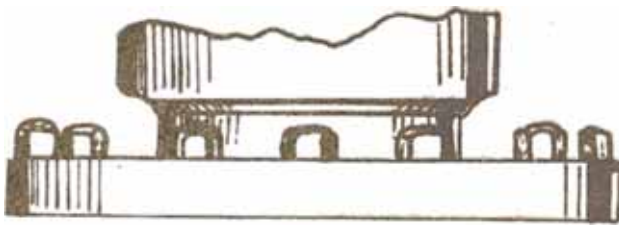
1. Sacar la unidad de movimiento del Kelly (Kelly Drive Unit)
2. Empernar el impide reventones rotativo a la cabeza de control del pozo.
3. Agregarle a la punta de la tubería el mandril de instalación (Starting Mandrel)
4. Hacerlo pasar a travez del caucho (Stripper Rubber).
5. Desenganchar el "Quick Release Bonet"
6. Levantar la manga rotativa fuera del cuerpo del impide reventones rotativo.



1.



2.



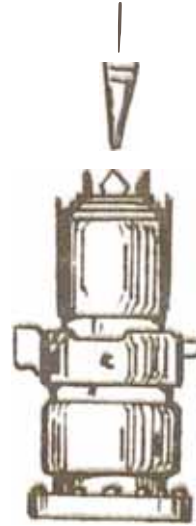
3.



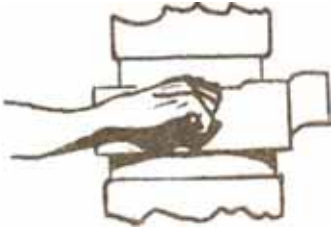
INSTALACION

Figura N° 7

4.



5.



6.



INSTALACION

Figura N° 8

C A P I T U L O I I I

T E C N I C A

Capacidad de Suspensión de las partículas por el sistema de Aire

En la perforación con lodo, la habilidad de este fluido para levantar las partículas depende de la diferencia de densidad entre el lodo y la partícula, la forma de las partículas, las propiedades tixotrópicas del lodo y el tipo de flujo (turbulento, laminar o viscoso).

Pero como el lodo no es un fluido puro se trata de tener un flujo turbulento a fin de poder mantener la viscosidad constante.

El estudio de la capacidad de levantamiento del aire (o del gas) es mucho mas complicado y es necesario suponer ciertas condiciones que no se toman en cuenta en el caso del lodo.

Asi para determinar la fórmula que lleva su nombre K.M. Nicolson, supone que en la perforación con aire las partículas cortadas por la broca son esféricas y les da un coeficiente de resbalamiento constante e igual a 0.5.

La fórmula de Nicolson, llamada también "Ley de Newton", se deriva igualmente de la resistencia turbulenta, sobre la partícula, y la fuerza gravitacional que actúa sobre ella.

Derivación-de la fórmula:

Las condiciones supuestas son:

1. Los cortes de la broca son sólidos incompresibles y esféricos.
2. El fluido es compresible y no está afectado por la fricción de las paredes.

3. Las partículas caen libremente sin estorbarse unas a otras.
4. La aceleración de las partículas esta dada por la fuerza de gravedad.

Supuesto esto, tenemos que: la fuerza resultante que tiende a mover la partícula hacia abajo (F) es igual:

$$F = m \cdot a = mg - wg - Fr \quad (1)$$

m: masa de la partícula

a: aceleración de la partícula ::: dv/dT (derivada de la velocidad con respecto al tiempo)

g: constante de gravedad

mg: fuerza gravitacional de la partícula

wg: efecto "boyante" sobre la partícula

Fr: fuerza de resistencia de la partícula debido a la fricción

Según Newton tenemos que:

$$Fr = \frac{f' \times A \times d' \times v^2}{4} \quad (2)$$

$$A = \text{área de la partícula} = \frac{3,1416 \times D^2}{4}$$

D = diámetro de la partícula

d' = densidad del fluido

v = velocidad de la partícula

f' = factor de fricción o coeficiente de resbalamiento

reemplazando estos valores en la ecuación (2) tendremos:

$$Fr = \frac{f' \times 3,1416 \times D^2 \times d' \times v^2}{8} \quad ()$$

Reemplazando (3) en (1) :

$$m \times dv/dT = mg - wg - \frac{f' \times 3,1416 \times D^2 \times d' \times v^2}{8}$$

actuando operaciones algebraicas:

$$\frac{3.1416 \times D^3}{6} \times p'' \frac{dv}{dT} = \left(\frac{3.1416 D^3}{6} \right) g (p'' - p') - f \times \frac{3.1416 D^2 \times p' \times v^2}{8} \quad (4)$$

$$\frac{dv}{dT} = \frac{(p'' - p')}{p''} g - \frac{3 f \times p' \times v^2}{4 D \times p''} \quad (5)$$

donde:

m = masa de la partícula = volumen por densidad

p'' : densidad de la partícula

En la ecuación (5) para una velocidad máxima (V) la aceleración (dv/dT) será igual a "0" luego:

$$\frac{(p'' - p')}{p''} g = \frac{3 \times f \times p' \times V^2}{4 D p''} \quad (6)$$

despejando tendremos

$$V = \left(\frac{4 (p'' - p') g D}{3 p' f} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

V : velocidad de resbalamiento, pies/segundo

g : constante de gravedad, 32.2 pies/(segundo)²

D : diámetro de la partícula, pulgadas

p'' : densidad de la partícula, libras/pie cúbico

p' : densidad del fluido, libras/pie cúbico

f : coeficiente de "resbalamiento"

Si tenemos el coeficiente de resbalamiento de Nicolson (0.5) la ecuación anterior (7) quedará convertida en:

$$V = 2.67 \left(\frac{D p''}{p'} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Sin embargo Keneth E. Gray ha demostrado que en la práctica se encuentran partículas de diferente forma (mediante experimentos llevados a

cabo en el laboratorio, pero con muestras de formaciones del campo) por lo que considera dos coeficientes, según la naturaleza de la formación y ellos son:

1) Para las calizas y gredas (partículas planas)

coeficiente de resbalamiento ::: 1.40

2) Para las areniscas (partículas angulosas)

coeficiente de resbalamiento ::: 0.81

Por otro lado podemos hacer los siguientes cambios en la ecuación (7)

Por la ley de los gases:

$$P V' = \frac{z R T'}{M}$$

V' : volumen específico, pies cúbicos/libra

P : presión, libras por pulgada cuadrada

R : constante de los gases, 10.73

T' : temperatura, grados Rankine

M : peso molecular

z : factor de compresibilidad

además

$$p' : 1/V' = \text{Libras/Pies cúbicos} = \frac{P M}{z R T'} \quad (18)$$

Siendo (para las gredas) f ::: 1.4 (por Grey) y además usando

aire como fluido tendremos: M ::: 29

R ::: 10.73

z ::: 1.0 (a 100 grados Fahrenheit)

(para el aire)

$$p' ::: \frac{P \times 29}{1 \times 10.73 \times T'}$$

Sustituyendo f y p' en la ecuación (7) tendremos:

$$V' = 1.6 \left[D \left[\frac{(0.371 T p'')}{P} - 1 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \text{ o sea:}$$

$$V' = \left(0.9456 D T p'' \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots 9$$

donde: V' = Velocidad de resbalamiento, pies por segundo.

D = Diámetro de las partículas, pulgadas

T = Temperatura en el fondo del pozo, grados Rankine

P = Presión de inyección en el fondo del pozo, Libras por pulgada cuadrada.

p'' :::: Densidad de la partícula, Libras por pie cúbico.

Lo mismo hacemos para las areniscas, pero usando el factor 0.81 (f)

y tendremos:

$$V' :::: \left(1.445 \frac{D T p''}{P} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots 10$$

Usando estas ecuaciones se construyen los gráficos adjuntos (ver figuras que muestran la velocidad de resbalamiento como función de la presión de inyección en el fondo del pozo (considerando el diámetro de la partícula, como un parámetro). (Figura 9 y 10)

Volúmen de Aire Requerido

La cantidad de aire o gas que debe circular, hacia arriba, por el espacio anular, cuando se perfora; esta determinada principalmente por la fuerza necesaria para levantar las partículas o cortes de la broca. Se ha encontrado que para profundidades no muy grandes (hasta Doce mil pies) es suficiente una velocidad anular de TRES MIL PIES POR MINUTO.

El método de calcular los regímenes de flujo necesarios consiste en

IDAD DE RESBALAMIENTO (CALIZA Y GREDA)

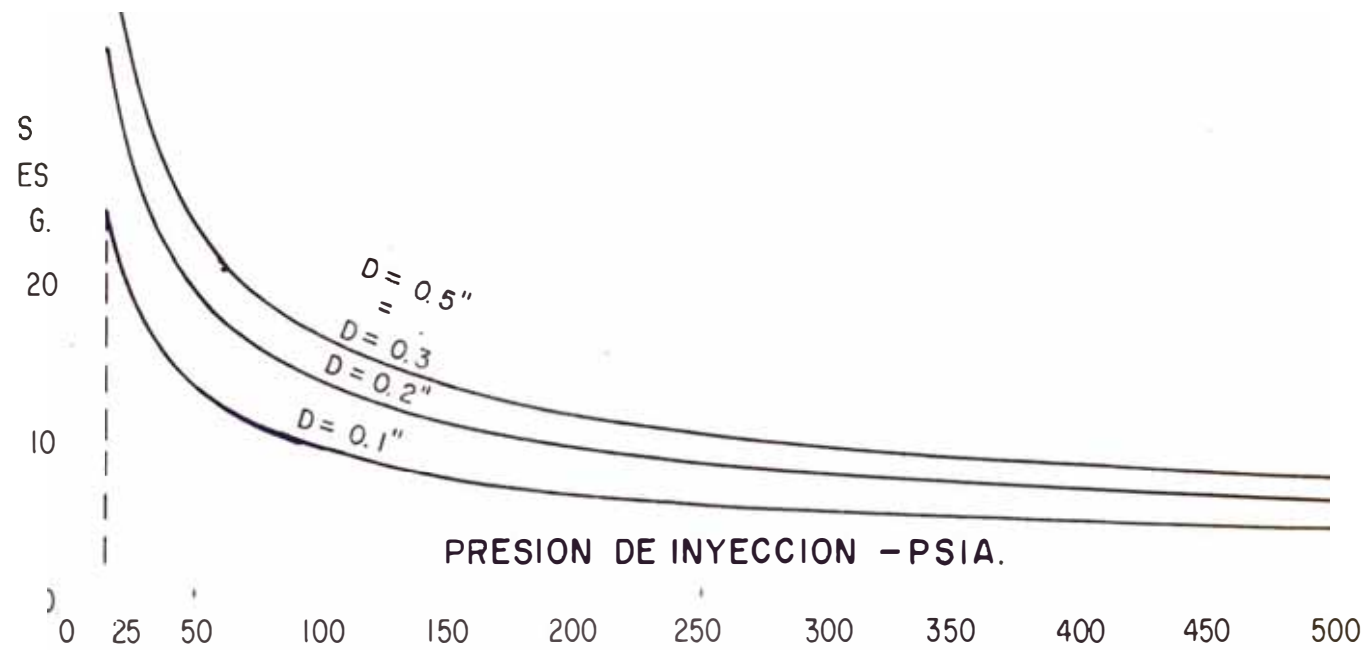
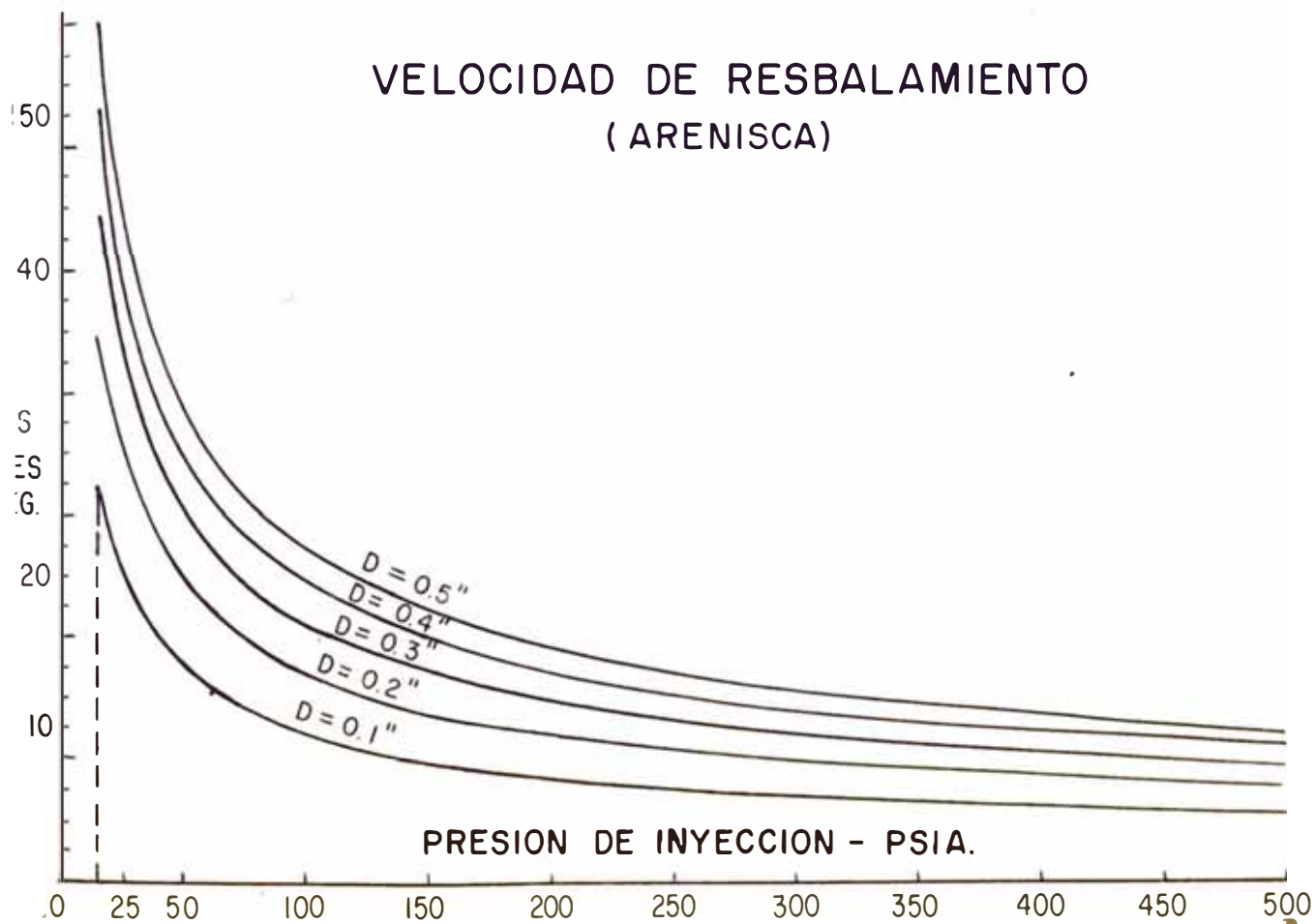


FIGURA 9

VELOCIDAD DE RESBALAMIENTO (ARENISCA)



alcular un flujo ascendente tal (en el fondo del pozo) que tenga una capacidad de levantamiento igual a la de un flujo de aire con una velocidad de ascensión de tres mil pies por minuto.

Como la densidad del gas en el fondo del pozo estará influenciada por:

- a) La contrapresión del pozo
- b) Las pérdidas por fricción a través del espacio anular
- c) La columna hidrostática del gas (incluyendo las partículas que carga).

es necesario tenerlas en cuenta al hacer los cálculos. Se debe notar que debido a la influencia de las partículas, sobre la densidad del gas o del aire, el avance de perforación, tendrá notable influencia en el volumen de aire necesario, ya que cuanto mas rápido se perfore, mayor cantidad de partículas ("cortes") habrá en la columna de fluido del espacio anular y por consiguiente la gradiente hidrostática será mayor.

Deducción de la fórmula para hallar el volumen de Aire necesario

Partiendo de la fórmula de Rittenger (Velocidad de resbalamiento de las partículas)

$$\begin{aligned} V' (a) &= C \left[\frac{p'' - p' (a)}{p' (a)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ V' (b) &= C \left[\frac{p'' - p' (b)}{p' (b)} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

donde:

$V' (a)$ = Velocidad de resbalamiento del aire

$V' (b)$ = Velocidad de resbalamiento del gas, en el fondo del pozo.

p'' = Densidad de los cortes

$p' (a)$ = densidad del aire (atmosférico)

$p' (b)$ = densidad del gas (a las condiciones del fondo del pozo)

≡ Constante.

Manteniendo constante el porcentaje de la velocidad de resbalamiento tendremos:

$$\frac{V' (a)}{v (a)} = \frac{V' (b)}{v (b)}$$

v (a) ≡ velocidad del aire a condiciones de la superficie

v (b) ≡ velocidad del gas a las condiciones del fondo del pozo.

La ecuación anterior también se puede escribir así:

$$\frac{v (b)}{v (a)} = \frac{V' (b)}{V' (a)}$$

Reemplazando V' (a) y V' (b) por sus valores (fórmula de Rittenger)

$$v (b) = \frac{(p' (a) (p'' - p' (b)))^{\frac{1}{2}}}{[p' (b) (p'' - p' (a))]^{\frac{1}{2}}}$$

Como las densidades del aire y del gas son despreciables, comparadas con la densidad de las partículas, podemos prescindir de ellas por lo que simplificando la ecuación queda convertida en:

$$\frac{v (a)}{v (b)} = \left[\frac{p' (a)}{p' (b)} \right]^{\frac{1}{2}}$$
$$[v (b)]^2 p' (b) = [v (a)]^2 p' (a) \quad (1)$$

Aplicando la ley de los gases:

$$v (b) = \frac{Q (a) \times P (a) \times T (b) \times Z (b)}{A (b) \times P (b) \times T (a)} \quad (2)$$

$$p' (b) = \frac{144 \times P (b) \times M (g)}{Z (b) \times R \times T (b)} \quad (3)$$

$$p' (a) = \frac{144 \times P (a) \times M (g)}{R \times T (a)} \quad (4)$$

Reemplazando (1) (2) (3) y (4) en (1)

$$Q (a) = \left[v (a) \right]^2 \left[A (b) \right]^2 \frac{M (a)}{M (g)} \frac{P (b) \times T (a)}{P (a) \times T (b) \times Z (b)}$$

Despejando la presión en el fondo del pozo y simplificando:

$$\left[P (b) \right]^2 = \left[\frac{Q (a)}{v (a) \times A (b)} \right]^4 \frac{s \times P (a) \times T (b) \times Z (b)}{T (a)}$$

..... (5)

donde:

Q (a) = Flujo del gas, en pies cúbicos por minuto
(medidos a condiciones P (a) y T (a)).

P (a) = Presión atmosférica

T (a) = Temperatura atmosférica

v (a) = Velocidad equivalente del aire, referida a condiciones.

P (a) y T (a), en pies cúbicos por minuto (ejemplo
TRESMIL PIES CUBICOS POR MINUTO)

A (b) = Area de la sección transversal en el fondo del pozo,
en pulgadas cuadradas.

P (b) = Presión en el fondo del pozo, libras por pulgada
cuadrada.

T (b) = Temperatura en el fondo del pozo, grados Rankine

Z (b) = Factor de compresibilidad (del gas), a condiciones
P (b) y T (b).

Z (a) = Factor de compresibilidad del aire, = uno.

s = Gravedad específica del gas.

La ecuación (5) nos dá la cantidad de gas que debe circular para
levantar las partículas desde el fondo del pozo a la superficie, a

condiciones "Standard" de presión y temperatura. Para resolver esta ecuación es necesario eliminar el término de la presión del fondo del pozo, para lo cual se reemplaza la ecuación (5) en la ecuación del FLUJO VERTICAL, que deduciremos a continuación:

Ecuación del Flujo Vertical

Partiendo del teorema de Bernoulli:

$$\frac{dp}{d} + \frac{U dU}{g} + dF + dh = 0 \quad (6)$$

donde:

p = presión en libras por pie cuadrado

U = velocidad, pies por segundo

h = altura, pies

F = pérdida por fricción, pies

g = gravedad

d_1 = densidad

dp = derivada de la presión

dU = derivada de la velocidad

dF = derivada de la fuerza de fricción

dh = derivada de la altura

Por la ley de los gases:

$$d_1 = \frac{P \times M}{Z R T} \quad (1 + w) \quad (7)$$

w = Peso del fragmento de roca/peso del gas

$$U = \frac{q \times T \times p_0 \times z}{A \times T_0 \times p} \quad (8)$$

$$dU = - \frac{q \times T \times p_0 \times z}{A \times T_0 \times p^2} \quad dp \quad (9)$$

q = Flujo de gas medido a p_o y T_o , pies cúbicos por segundo.

A = Area de la sección transversal del flujo, pies cuadrados.

De la ecuación de Fanning:

$$dF = \frac{2f U^2}{g d'} dL \quad (10)$$

Reemplazando el valor U de la ecuación (8) tenemos:

$$dF = \frac{2f}{g d} \left[\frac{q T p_o z}{A T_o p} \right]^2 dL \quad (11)$$

La altura la podemos expresar en términos del ángulo con respecto a la horizontal:

$$dh = \text{sen } H \cdot dL \quad (12)$$

Sustituyendo (7), (8), (9), (10), (11) y (12) en la ecuación (6) y ordenando algebraicamente para integrar tendremos:

$$\int_{P_T}^{P_B} \frac{p \, dp}{\frac{2f \times M (1 + w) T \times z}{g d R} \left[\frac{g p_o}{A T_o} \right]^2 \frac{M (1 + w) \text{sen } H}{z R T}}$$

$$\int_{P_T}^{P_B} \frac{dp}{\left[\frac{2f}{g p^2 \text{sen } H} \left(\frac{A T_o}{q T p_o z} \right)^2 \right]} = \int_0^L dL$$

Pero como está integral es de la forma:

$$\int_{p(T)}^{p(B)} \frac{p \, dp}{a + bp^2} = \int_{p(T)}^{p(B)} \frac{dp}{(c + kp^2)p} \int_0^L dL$$

cuya solución es:

$$\frac{1}{2b} \log \left[\frac{b [p(B)]^2 + a}{b [p(T)]^2 + a} \right] - \frac{1}{2c} \log \left[\frac{[p(B)]^2 \times [c + [kp(T)]^2]}{[p(T)]^2 [c + [kp(B)]^2]} \right] = L$$

o también:

$$\frac{b[p(B)]^2 + a}{p[p(T)]^2 + a} = e^{2bL} \left[\frac{p(B)^2 [c + [kp(T)]^2]}{p(T)^2 [c + [kp(B)]^2]} \right]^{\frac{b}{c}} \quad (12)$$

El corchete de la derecha será igual a UNO cuando el flujo de gas (q) sea cero; y para un valor del número de Reynolds de 5×10^7 su valor será de 1.002; por lo que podemos despreciar el corchete y la ecuación (12) queda reducida a:

$$[p(B)]^2 = e^{2bL} [p(T)]^2 + \frac{e^{2bL} - 1}{b} a \quad (13)$$

Ahora, si hacemos $2bL = m$ tendremos la ecuación (13) simplificada:

$$[p(B)]^2 = e^m [p(T)]^2 + (e^m - 1) \frac{a}{b} \quad (14)$$

donde:

$p(B)$ = Presión en el fondo del pozo, Libras por pulgada cuadrada.

$p(T)$ = Presión en la cabeza del pozo, libras por pulgada cuadrada.

c = 2.718 (logaritmo neperiano)

m = $2 b L$

$$w = \frac{2 (29.0) s h (1 + w)}{1,544 \% T}$$

$$w = \frac{s h (1 + w)}{26.62 \% T}$$

s = peso específico del gas

El valor de w puede ser evaluado en términos del avance de perforación, si se considera que el resbalamiento de las partículas sea despreciable con respecto al volumen de aire o gas que fluye hacia arriba:

$$w = \frac{\text{Peso de la roca}}{\text{Peso del gas}} = \frac{(\text{Pies cúbicos de roca perforada}) (\text{densidad de la roca})}{\text{minuto}}$$

$$w = \frac{(\text{pies cúbicos de gas}) (\text{densidad del gas})}{\text{minuto}}$$

reemplazando valores y haciendo los cambios de unidades correspondientes tendremos:

$$w = \frac{(0.7854) (D(H))^2 (62.4) S(R) (1,544) (540)}{(144) t (14.7) (144) (29.0) s Q (a)}$$

Donde:

$D(H)$ = Diámetro del hueco, pulgadas

t = Avance de perforación, Minutos que se requieren para cortar un pie.

$S(R)$ = Gravedad específica de la roca

Efectuando operaciones:

$$w = 4.6224 \frac{s(R) [D(H)]^2}{s t Q(a)}$$

si se considera el peso específico de la roca igual a 2.70

$$w = \frac{12.5 [D(H)]^2}{s t Q(a)}$$

Para calcular w y posteriormente m , se considera que la velocidad con que suben las partículas cortadas por la broca es igual a las tres cuartas partes de la velocidad del fluido (gas o aire).

$$\frac{a}{b} = \frac{2 f L}{300 g D h} \left[\frac{Q P(c) Z T}{A T(e)} \right]^2 \quad (15)$$

donde:

- f = Factor de fricción de Fanning
- L = Profundidad del pozo, pies
- g = Aceleración de la gravedad, 32.174 pies por segundo
- D = Diámetro, o diámetro equivalente del hueco, pulgadas
- h = profundidad vertical del pozo, pies
- Q = Flujo de gas a condiciones "Standard", pies cúbicos por minuto.
- $P(e)$ = Presión Standard, Libras por pulgada cuadrada.
- $T(e)$ = Temperatura "Standard", grados Rankine
- Factor de compresibilidad promedio
- T = Temperatura promedio del flujo de gas, grados Rankine
- A = Sección transversal del área expuesta al flujo, pies cuadrados.

Efectuando operaciones:

$$w = 4.6224 \frac{S(R) [D(H)]^2}{s t Q(a)}$$

si se considera el peso específico de la roca igual a 2.70

$$w = \frac{12.5 [D(H)]^2}{s t Q(a)}$$

Para calcular w y posteriormente m , se considera que la velocidad con que suben las partículas cortadas por la broca es igual a las tres cuartas partes de la velocidad del fluido (gas o aire).

$$\frac{a}{b} = \frac{2 f L}{300 g D h} \left[\frac{Q P(c) Z T}{A T(e)} \right]^2 \quad (15)$$

donde:

- f = Factor de fricción de Fanning
- L = Profundidad del pozo, pies
- g = Aceleración de la gravedad, 32.174 pies por segundo
- D = Diámetro, o diámetro equivalente del hueco, pulgadas
- h = profundidad vertical del pozo, pies
- Q = Flujo de gas a condiciones "Standard", pies cúbicos por minuto.
- $P(e)$ = Presión Standard, Libras por pulgada cuadrada.
- $T(e)$ = Temperatura "Standard", grados Rankine
- Factor de compresibilidad promedio
- T = Temperatura promedio del flujo de gas, grados Rankine
- A = Sección transversal del área expuesta al flujo, pies cuadrados.

Remplazando el valor de a/b (ecuación 15) en la fórmula (14)

tendremos:

$$[P(D)]^2 = e^m [P(T)]^2 + (e^m - 1) \frac{2 \text{ l L}}{300 \text{ gDh}} \left[\frac{T \sum P(a) Q(a)}{A T(e)} \right]^2$$

Además remplazando P(d)² por su valor (ecuación 5)

$$\left[\frac{s P(a) T(b) \sum(b)}{T(a)} \right]^2 - \frac{[Q(a)]^4}{[v(a) A(b)]^4} \left[\frac{(e^m - 1) 2fL}{300 \text{ g D h}} \right] \left[\frac{T A P(e)}{A T(e)} \right]^2 [Q(a)]^2 - e^m [P(T)]^2 = 0$$

..... (16)

Esta ecuación cuadrática debe resolverse por el método de tanteos, pues el término Q (a) interviene también para determinar "m". Como los cálculos son muy extensos se usan computadores electrónicos. Con los computadores se hallan valores sucesivos, y se construyen curvas para cada caso particular. El gráfico de la figura 11 corresponde a un hueco de 7-7/8" con tubería de 4-1/2". Tanto para el aire como para el gas (gravedad específica de 0.6) y para avances de perforación de UN minuto por pie y de veinte minutos por pie.

Método Práctico (aproximado)

Este método no es tan exacto como las curvas obtenidas aplicando la ecuación, pero es el que se usa hoy en día en el campo. (Ver tablas No. 7 y 8. Las tablas han sido deducidas de las curvas citadas anteriormente. La aplicación de las tablas permite calcular volúmenes de aire y gas necesarios en huecos hasta de diez mil pies de profundidad (diámetros mayores de 6-1/4) con un error máximo de 7%.

Uso de la Tabla

Con la profundidad del pozo, el diámetro del hueco y de la tubería, el avance de perforación y la naturaleza del fluido (aire o gas), obtenemos

de las Tablas 7 y 8 los valores de $Q(o)$ y N . Con estos valores aplicamos la siguiente fórmula.

$$Q = Q(o) + NH \quad (I)$$

Q = Flujo de aire mínimo necesario para tener una capacidad
 $Q(o)$ de la tabla levantamiento de partículas, equivalente al del aire a una velocidad de 3000 pies/minuto.

N = de la tabla

dad de 3000 pies/minuto.

H = Profundidad del pozo en miles de pies.

Ejemplo práctico:

Calcular el flujo necesario para perforar con aire un pozo de 8000 pies de profundidad con tubería de 4-1/2" y broca de 7-7/8". Avance de perforación: 90 pies/hora.

Solución:

De la tabla No.7 obtenemos:

$$Q(o) = 670$$

$$N = 98.3$$

Aplicando la fórmula (I)

$$Q = 670 + 98.3 \times 8 = 670 + 786.41$$

$$Q = 1456 \text{ pies cúbicos por minuto}$$

Para valores del peso específico del gas y avances de perforación que no aparecen en la tabla se puede interpelar.

T A B L A VII

TABLA PARA CALCULAR (APROXIMADAMENTE) EL FLUJO DE AIRE
NECESARIO PARA CONSEGUIR UNA VELOCIDAD ANULAR MINIMA CON
UN PODER DE SUSPENSION EQUIVALENTE A LA DEL AIRE A 3000
PIES/MINUTO.

Diámetro del hueco (pulgadas)	Diámetro exterior de la tubería de per- forar (pulgadas)	Flujo ∅ pies cúbi- cos/minuto	Valor de N			
			Avance de perforación pies/hora			
			0	30	60	90
17-1/2	6-5/8	4,209	82.2	131	177	221
	5-1/2	4,428	79.8	126	171	213
	4-1/2	4,588	78.0	123	166	207
15	6-5/8	2,905	71.7	112	151	188
	5-1/2	3,124	68.7	107	143	178
	4-1/2	3,285	66.0	103	137	171
12-1/4	6-5/8	1,700	62.3	97.8	130	160
	5-1/2	1,918	58.0	89.5	119	146
	4-1/2	2,079	55.3	83.6	111	136
11	6-5/8	1,237	60.6	94.5	124	151
	5-1/2	1,456	54.8	83.8	110	135
	4-1/2	1,616	50.6	76.9	101	124
9-7/8	5-1/2	1,079	53.0	80.3	104	126
	5	1,163	50.3	75.5	98.7	120
	4-1/2	1,240	47.8	71.7	93.3	114
9	5	898	49.1	73.0	94.4	113
	4-1/2	975	46.1	68.5	88.5	107
	3-1/2	1,103	41.5	61.0	79.0	95.5

TABLA VII (Cont'.)

)	Diámetro exterior de la tubería de perforar (<u>pulgadas</u>)	Flujo Ø <u>pies cúbicos/minuto</u>	Valor de			
			Avance de perforación <u>pies/hora</u>			
			0	<u>30</u>	60	<u>90</u>
3/4	5	827	49.0	72.7	93.2	112
	4-1/2	903	46.0	67.8	87.3	105
	3-1/2	1,032	40.8	60.0	77.3	93.7
7-7/8	4-1/2	670	44.7	65.0	82.7	98.3
	3-1/2	798	39.2	56.7	72.5	86.9
7-3/8	3-1/2	676	38.5	55.0	69.8	83.2
6-3/4	3-1/2	535	37.3	52.8	66.1	78.0
6-1/4	3-1/2	430	37.0	51.5	63.6	74.7
	2-1/2	494	32.8	46.0	57.3	67.7
4-3/4	2-7/8	229	31.6	41.3	49.5	56.5
	2-3/8	271	27.8	37.2	44.8	51.6

R. R. Angel
Phillips Petroleum Co.

T A B L A VIII

TABLA PARA CALCULAR (APROX.) EL FLUJO DE GAS (GRAVEDAD ESPECIFICA 0.6) NECESARIO PARA CONSEGUIR UNA VELOCIDAD ANULAR CON UN PODER DE SUSPENSION EQUIVALENTE AL DEL AIRE A 3000 PIES/MINUTO.

Diámetro del hueco (pulgadas)	Diámetro exterior de la tubería de perforar (pulgadas)	Flujo pies cúbicos/minuto	Valor de N Avance de perforación pies/hora			
			0	30	60	90
17-1/2	6-5/8	5,434	66.3	128	186	240
	5-1/2	5,716	61.8	119	174	226
	4-1/2	5,924	58.0	113	165	215
15	6-5/8	3,751	64.2	118	167	214
	5-1/2	4,033	58.6	108	154	197
	4-1/2	4,241	54.0	100	144	185
12-1/4	6-5/8	2,194	63.0	112	155	194
	5-1/2	2,477	56.3	97.7	137	172
	4-1/2	2,684	50.8	88.2	124	157
11	6-5/8	1,597	64.5	112	152	188
	5-1/2	1,880	55.5	95.4	131	163
	4-1/2	2,087	50.0	84.4	116	146
9-7/8	5-1/2	1,393	56.4	94.7	128	157
	5	1,502	52.3	87.7	119	147
	4-1/2	1,600	48.8	81.6	111	138
9	5	1,160	53.0	87.1	116	141
	4-1/2	1,258	49.0	80.3	108	132
	3-1/2	1,424	42.0	68.9	93.1	115

TABLA VIII (CONT'.)

Categoría	Diámetro exterior de la tubería de perforar (pulgadas)	Flujo pies cúbicos/minuto	Valor de N Avance de perforación pies/hora			
			0	30	60	90
8-3/4	5	1,068	53.5	87.0	115	140
	4-1/2	1,166	49.1	80.0	107	130
	3-1/2	1,332	41.8	68.3	92	114
7-7/8	4-1/2	865	50.1	78.8	104	125
	3-1/2	1,031	41.6	66.3	87.8	107
7-3/8	3-1/2		41.6	65.3	85.5	104
6-3/4	3-1/2	690	41.5	63.8	82.3	99.0
6-1/4	3-1/2	555	42.0	63.1	80.0	94.7
	2-1/2	638	37.0	55.1	71.4	85.4
4-3/4	2-7/8	296	37.0	51.3	62.6	72.2
	2-3/8	350	32.3	45.6	56.3	65.5

R. R. Angel

Phillips Petroleum Co.

Factores de Corrección

Los fabricantes, al dar la capacidad de sus equipos (compresores, boosters y motores) lo hacen suponiendo que van a trabajar a las condiciones del nivel del mar (presión de 14.7 libras por pulgada cuadrada y temperatura de 60 grados Farenheit). Sin embargo sabemos que la capacidad de los compresores varia con la altura (presión) y con la temperatura de entrada del aire.

Luego para calcular el volúmen real del aire deben hacerse correcciones para las condiciones en que van a trabajar. La altura sobre el nivel del mar variará la presión de entrada y el clima típico de la zona variará la temperatura. Para corregir estos valores se puede hacer uso de las figuras 12 y 13.

Medidas de Flujo

Para asegurar el que los compresores trabajen con una eficiencia máxima y para evitar problemas de brocas "empaquetadas" es necesario medir el gas o aire que los compresores entregan en cada momento.

Para ello se colocan medidores de flujo continuo con un registrador de disco (24 horas). Una buena precaución es tener un medidor cerca al perforador.

Los medidores mas usados son los "Barton" de flujo seco, con fuelles. No se recomienda usar los medidores de mercurio debido a que la acumulación del agua (condensada del flujo de aire) puede dar lecturas erradas.

OPERACION DEL EQUIPO

Compresores y Boogters

En caso de usar aire como fluido de perforación, los compresores toman

el aire del medio ambiente para comprimirlo e introducirlo al pozo. Como el aire está siempre cargado de suciedad y polvo, es necesario contar con filtros de aire, para que las partículas que carga el aire queden atrapadas en los filtros y no dañen las partes móviles y cilindros de los compresores.

Como al comprimir el aire, este se calienta, se utilizan enfriadores, ya sean de flujo de agua (si hay abundante) o del tipo radiador.

En climas húmedos se utilizan además secadores de aire.

Número de etapas

El número de etapas es muy importante, pues ellas inciden directamente sobre el costo del aire.

Por esta razón se utiliza el menor número posible de etapas ; pero existen limitaciones de orden técnico. Por ejemplo, no se puede tener razones de compresión muy elevadas.

En el caso de la perforación con aire algunas veces es necesario elevar la presión desde catorce libras por pulgada cuadrada (atmosférica) hasta mil quinientas libras por pulgada cuadrada, por lo que lo mínimo que se podría usar sería tres etapas, para tener una razón de compresión de CINCO A UNO, en cada etapa. Ello se consigue con un compresor de una etapa y un booster de dos etapas.

Pero existe además otro problema: con una razón de compresión de CINCO A UNO tenemos un aumento de temperatura desde 120 grados Fahrenheit (ambiente en climas calurosos) a la entrada a 465 grados Fahrenheit a la salida. Esta temperatura es demasiado alta, puesto que es mayor que el "Flash Point" de la mayoría de los aceites empleados para lubricar

los pistones. Como el aceite, pasado su "Flash Point", tiende a carbonizarse, malogrará todas las válvulas, y en algunos casos puede ocasionar incendios.

Esto se puede remediar, ya sea usando cuatro etapas a fin de bajar la temperatura de salida, o empleando aceites sintéticos de alto "Flash Point".

Equipo rotativo de la Cabeza del Pozo

Además de la mesa rotaria se cuenta con un "impide reventones rotativo" cuya descripción detallada ya hemos hecho.

Este equipo, además de sello de la presión, sirve como un elemento deflector de las partículas cortadas por la broca y que trae el aire desde el fondo del pozo hasta la superficie.

Los cortes y el aire son "desviados" a través de la "línea de descarga" hacia un lugar convenientemente alejado de la boca del pozo, por el impide reventones rotativo.

Debido al fuerte trabajo a que se haya sometida esta pieza (presión, fricción y erosión) tiende a desgastarse con mucha facilidad, razón por la cual es necesario tener mucho cuidado en la selección del material que se emplea en su fabricación.

Se recomienda usar "stripper rubbers" de NEOPRENO, en vez de los de caucho natural. Además se debe engrasar y lubricar constantemente, poniéndole aceite cada vez que se hace una conexión. Algo que protege notablemente el caucho es el centrado correcto del castillo o mástil del equipo, pues si está desviado se gastará rápidamente en un solo lado.

Control del polvo de Detritos

En la perforación con aire o gas, una gran cantidad de los cortes hechos por la broca son llevados, por el aire, a través del espacio anular y la línea de descarga, bajo la forma de lodo.

Como los geólogos necesitan identificar los terrenos que se van cortando por medio de las muestras será necesario controlar este "lodo" a fin de no perder dichas muestras que se hayan en estado de "polvo". Con tal fin se usa o bien la "lluvia de agua" o una malla.

La lluvia de agua se coloca en la línea de descarga mediante una boquilla (de las usadas en jardinería) insertada en el tubo. Existe otro método que consiste en un arco, que se coloca al final de la línea de descarga, y que se encuentra agujereado de tal manera que el agua se concentre sobre el flujo de aire. (Ver figuras 14 y 15).

El agua hace que el polvo se agrupe, formando partículas de mayor tamaño que van a caer por gravedad a la salida del tubo.

La malla es menos efectiva que el método anterior pero también se utilizan con bastante frecuencia.

Miscelaneos

Succión en la línea de descarga

Una práctica buena, es colocar un ventilador de tal modo que cree un pequeño vacío en la línea de descarga, obligando a las partículas, juntamente con el aire a dirigirse en dirección a la descarga. Con esta medida se protege la vida del impide reventones rotativo y se mantiene más limpio el piso del equipo de perforación. De no existir el ventilador, al menor desgaste del caucho del impide reventones rotativo, fuga

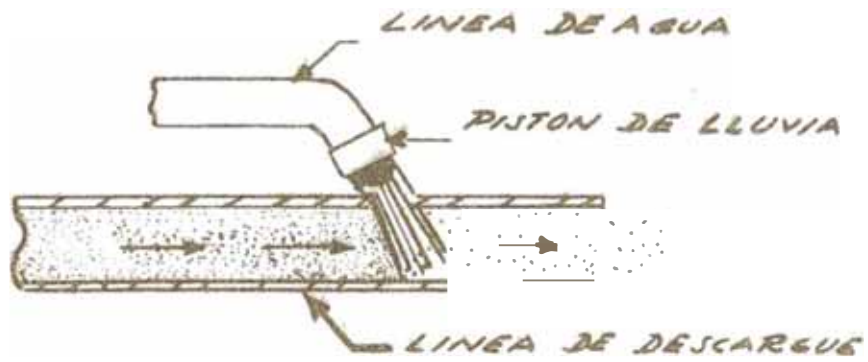


Figura N° 14

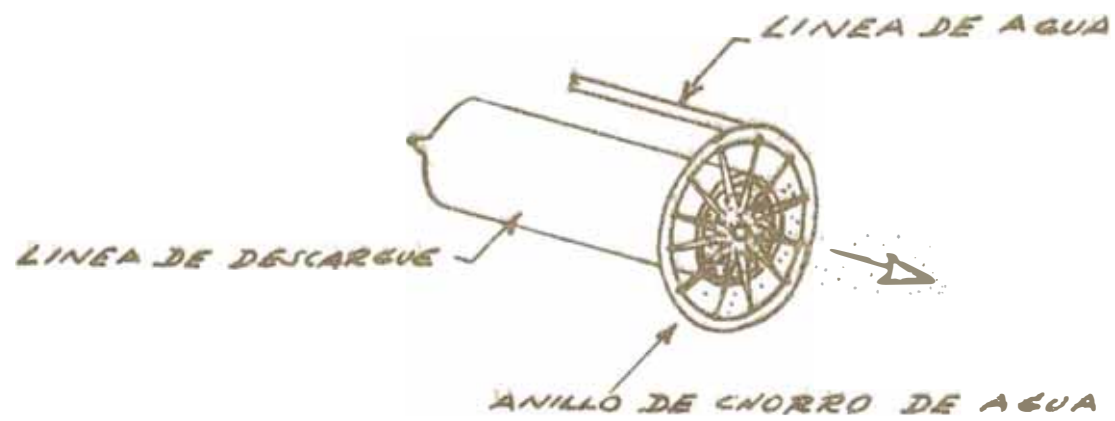


Figura N° 15

por alli el aire y el polvo. El ventilador se coloca como indica la figura No.16.

Bombas de Lodo

Se debe mantener en buen estado el equipo (bombas y cantinas) de lodo para los casos de emergencia. El equipo debe tener capacidad para circular lodo en cualquier momento de la perforación.

Bomba para inyección de Sólidos

La bomba para inyección de sólidos se coloca normalmente, entre los compresores y el "Standpipe" (línea de alta presión). La cantidad de producto a inyectarse se varía con la velocidad de la bomba.

Bomba para inyectar líquidos

Se debe mantener en el equipo una pequeña bomba para inyectar líquidos en el flujo de aire.

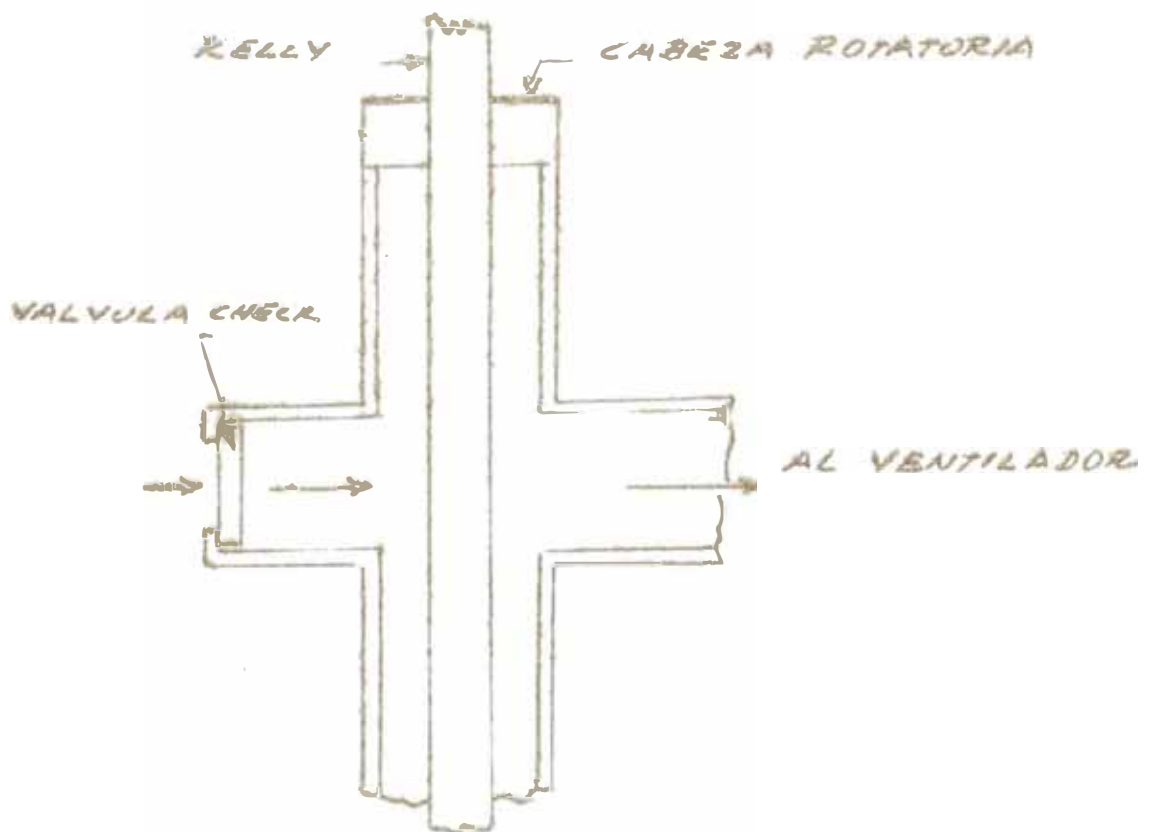
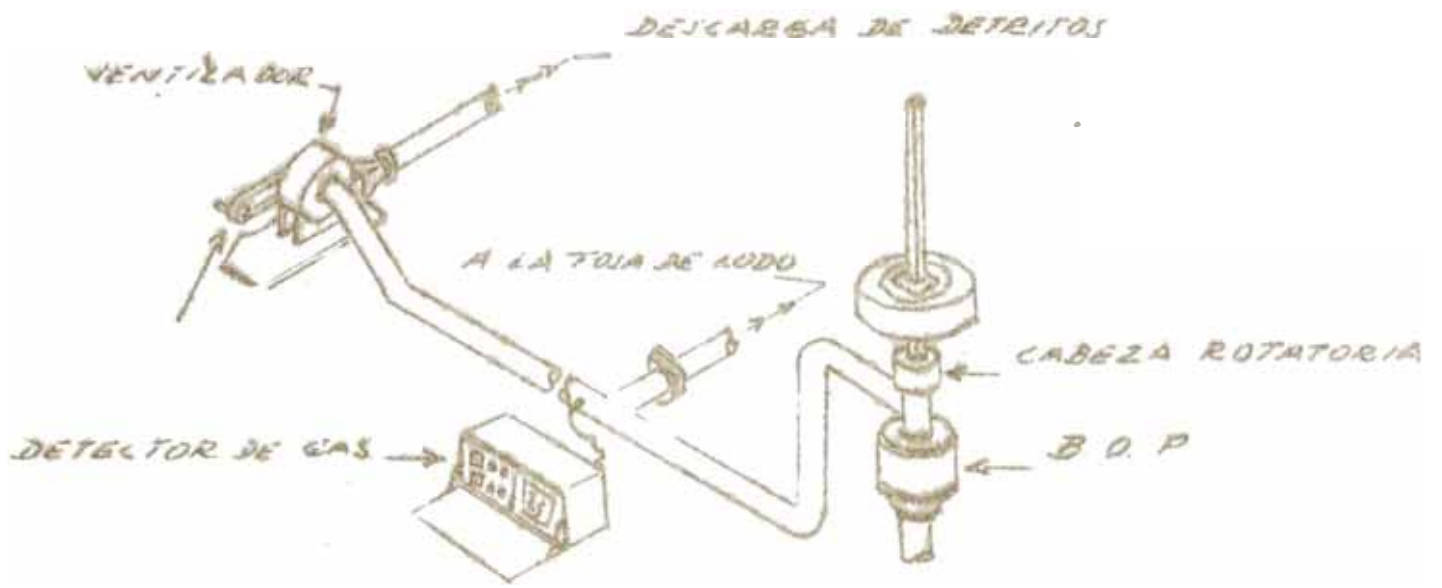


Figura N° 16

C A P I T U L O I V

P R O B L E M A S

Auxiliados por las nuevas técnicas desarrolladas, hoy en día es posible perforar en zonas que producen agua en volúmenes tan grandes que antes se tenían por imposibles, y estamos seguros que en el futuro estas perspectivas aumentarán notablemente gracias al abaratamiento de los productos usados para combatir las formaciones productoras de agua y cuyo alto costo se debe precisamente a su escaso consumo y producción.

Indicación de la Presencia de Agua en la Formación

Hay dos características saltantes que nos indican que se está perforando una arena de agua, y ellas son:

- 1) Disminución de la cantidad de cortes que salen por la línea de descarga.
- 2) Incremento de la presión

Disminución de los cortes

Cuando se atraviesa una zona con agua, los detritos que normalmente salen por la línea de descarga, disminuyen hasta desaparecer por completo.

En caso que la salida de detritos se corta abruptamente, puede indicar, un cambio de la formación; de no porosa e impermeable, a formación porosa y permeable, capaz de contener agua.

A veces a pesar de atravesar zonas húmedas, los detritos continúan saliendo a la superficie, lo que se interpreta como que se estuviese

atravesando formaciones secas. Lo que ocurre en estos casos es que la corriente de aire está llevando a la superficie partículas de las paredes del hueco que se encuentra por encima de la arena húmeda.

En el campo se utilizan ciertas medidas "delatorias" como son:

a) Colocar un pedazo de madera a la salida de la descarga; si se acumula lodo en ella, se están atravesando arenas húmedas.

b) El "Indicador de peso de la cañería" (Martin Decker).

Al hacer viajes y conexiones se observa el indicador para ver si se producen "tirones" o si se "agarra" la cañería.

Incremento de la presión

La presión aumenta en cuanto las arcillas mojadas se "pegan" a la cañería de perforar, formando "puentes" de lodo entre la tubería y las paredes del pozo, reduciendo así el área del espacio anular.

Es importante observar cualquier anomalía de la presión. Un aumento brusco de la presión, puede indicar que está entrando agua de la formación al pozo, aunque no cesen de salir detritos por la descarga.

Procedimiento para perforar zonas húmedas

Las arenas productoras de agua pueden ser divididas en tres grupos.

Estos grupos se basan en la cantidad de agua que entra de la formación al pozo. Los grupos son:

- 1) Arenas Húmedas.- Con flujo menor de TRES BARRILES POR HORA
- 2) Arenas de Flujo Intermedio.- De TRES A CINCUENTA BARRILES POR HORA.
- 3) Arenas de Gran Flujo.- Mas de CINCUENTA BARRILES POR HORA.

enas Húmedas

10 Estas formaciones se reconocen por:

- a) Disminución de Detritos
- b) Aumento progresivo de la presión
- c) Aumento de la fuerza de torción (Torque de la mesa rotaria)
- d) La tubería de perforar se "agarra"

Si al hacer conexiones se requiere mas fuerza de la normal de los motores para subir la tubería, ello indica que la tubería se esta "agarrando".

Muchas veces se puede perforar hasta cien pies antes que se note la presencia de agua, esto es lo que contribuye a que se atraque la cañería y se pierda el pozo.

Este tipo de arenas se puede perforar usando polvos químicos "repelentes" a "absorbentes" en el flujo de aire. Ejemplo de repelente es el "estearato de calcio" y de absorbente la "gel de silice"

Arenas con flujo Intermedio

Estas zonas se reconocen por:

- a) Cesa abruptamente la salida de detritos
- b) Aumento de la presión
- c) Disminución del avance de perforación (la broca se empaqueta).

Si se atraviesa este tipo de formación y se continúa introduciendo aire al pozo, puede salir un chorro de agua por la línea de descarga.

Para perforar estas zonas se usan agentes "espumantes". El volumen de agua que entra de la formación al pozo y la profundidad a que se encuentra la arena de agua determinan el límite económico de la perforación en formaciones de este tipo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el campo (Estados Unidos) se ha llegado a la conclusión de que se pueden obtener avances de perforación máximos y larga duración de la broca, dentro de los siguientes límites:

<u>Barriles de agua por hora</u>	<u>Profundidad en pies</u>
50	2500
40	3000
35	4000
30	5000
25	7500
20	9000

Cuando se está perforando el hueco de superficie no es necesario el uso de productos químicos, pero, se necesita inyectar una lluvia de agua (al flujo de aire) en una razón de 5 a 10 galones de agua por minuto. Con este método se han perforado huecos de superficie con una entrada de agua de hasta 100 barriles por hora.

Arenas de Gran Flujo

En la mayoría de los casos, cuando el pozo tiene una entrada de agua mayor de CINCUENTA Barriles por hora, resulta antieconómico seguir perforando con aire. Sin embargo se puede hacer un estudio de la conveniencia de "cerrar" la zona de agua, perforar con lodo "aereado" o convertir totalmente a perforación con lodo.

Para cerrar las arenas de agua se usa, cemento, geles y tetrafluoruro de silice (gas).

Agentes Absorbentes de Agua

Los agentes absorbentes tienen dos aplicaciones principales:

- a) Sacar los cortes de la broca cuando se perfora en zonas húmedas.
- b) Reducir el tiempo de secado del hueco, cuando se convierte un pozo de perforación con lodo a perforación con aire.

Entre los absorbentes mas usados tenemos:

- 1) "Microcell E" de Jehns-Manville
- 2) "Howco- Sorb" de Halliburton

El "Howco- sorb" tambien conocido como "Driflo" es un sólido fino que tiene la propiedad de absorber agua hasta cuatro veces su peso y todavia permanece en estado de polvo facil de ser transportado por el flujo de aire.

Los materiales secadores se introducen en el flujo de aire, justo antes de entrar al pozo (en la línea de alta presión), para ello se usa la bomba para productos secos descrita en el capítulo I. La bomba trabaja a una presión máxima de 750 libras por pulgada cuadrada.

El límite económico para el uso de los absorbentes depende directamente de tres factores:

- a) Litología del terreno
- b) Avance de la perforación
- c) Cantidad de agua que entra de la formación al pozo.

Agentes Repelentes

Los agentes repelentes se usan como complemento de los agentes absorbentes. Una vez que se ha atravesado la formación húmeda y se perfora en una formación seca inmediata, es conveniente agregar los "repelentes"

en el flujo de aire para evitar que los cortes de la broca, secos en un principio, se humedezcan al pasar por la zona húmeda y se agrupen formando bolas de gran tamaño, que entorpecen la circulación de aire. Un repelente muy usado es el esterato de Calcio. El máximo que se usa (económicamente) es de 5 libras por hora. Sin embargo se puede emplear hasta 10 libras por barril durante períodos cortos. El "repelente" se introduce en la línea de aire de la misma manera que los "absorbentes"

Perforación usando "Espuma" como fluido

Consiste en inyectar un agente "espumante" dentro del flujo de aire cuando se perfora en zonas de agua.

Con ello es posible dispersar las partículas y levantarlas hasta la boca del pozo en formaciones con un flujo de agua que llegue hasta 50 barriles por hora. (Flujo de la formación al hueco)

La perforación con "espuma" se realiza con un fluido de dos fases, en el que el aire es la fase continua y la "espuma" la fase dispersa. Junto con el agente espumante se emplean pequeñas cantidades de agua como medio de arrastre, cuando el pozo produce agua suficiente como para mantener separadas las partículas. En caso contrario se agrega mayor volumen de agua.

A pesar de que el uso de "espumantes" ha ampliado notablemente las posibilidades de la perforación con aire, existen ciertas limitaciones como son:

- 1) Factor económico.- Depende la cantidad de agua que entra al pozo, profundidad del mismo, consumo de "espuma", etc.

2) Formaciones duras.- Cuando el avance, con dificultad debido a la entrada de agua y al uso de espumantes, no ofrece ninguna ventaja con respecto a la perforación con lodo.

3) Imposibilidad de usar espumantes en gredas blandas.

Por estas razones, antes de decidirse a usar "espumantes" es necesario "pesar" el riesgo que se corre de que se atraque la tubería, contra el mayor avance que se puede obtener con respecto a la perforación con lodo. Para determinar el tratamiento mas conveniente se analizan los cortes de la broca. La cantidad de arcilla que contenga la formación y la facilidad que tengan de hidratarse el uso de: "espumante" "fluido aireado" o "lodo".

Si las formaciones que se encuentran por encima de la arena de agua son competentes (compactas) se puede usar "espuma" como fluido de perforación.

Si las formaciones por encima de la zona de agua estan compuestas por gredas hidratables, es preferible usar "fluido aireado".

Por último si se trata de gradas hidratables y en gran abundancia mejor es decidir el cambio a lodo.

Agentes Espumantes

Muchos fabricantes de productos químicos ofrecen "agentes espumantes", (ver tabla No.9) Además del precio nominal se debe tener en cuenta la cantidad de ingrediente "activo" que tiene el producto. Existen unos "espumantes", mas caros (nominalmente) que otros, por el mayor porcentaje de ingrediente activo que contienen. Es también importante la fluorescencia de estos espumantes, para la interpretación de las muestras.

Existen dos tipos de espumantes:

- a) "Espumantes" para agua dulce
- b) "Espumantes" para agua salada

Los espumantes mas usados para agua dulce son:

Triton X

Howco Suds

Afrox

Los espumantes para agua salada:

Triton X - 100 (102., y 105)

Armonist

Triton Q-s - 15 Para temperaturas superiores a 200 grados
Farenheit.

Arquad C-50 (y C - 1250) Tambien para altas temperaturas.

Un galón de "Howco-Suds" se mezcla con 10 barriles de agua y se inyecta en el flujo de aire a razón de 10 barriles por hora.

T A B L A IX

ESPUMANTES

Nombre	Costo \$/ Galón	% Ingredien- te Activo	Fluorescencia
Afrox	4.85	70	Blanco azulado
Synfoam 2	6.00	100	" "
Synfoam 2A	6.00	85	" "
Armonist	3.00	40	- -
Arquad C-50	3.87	50	- -
Triton X-100	2.85	100	Blanco azulado
Triton X-102	2.85	100	" "
Priminox	3.87	100	- -
Ingepal (CO-430)	2.30	99	- -
Emulphor (E-1620)	3.40	100	- -
Howco Suds	4.00	65	Amarillo verdoso
Orvus K	2.54	50	Blanco azulado
Deriphath (170-C)	5.06	50	" "

Equipo Necesario

Cuando se perfora con aire o gas, hay que estar preparado para encontrarse con arenas de agua en cualquier momento. Es recomendable por ello contar con equipo necesario para en cualquier instante poder perforar con "espuma". Esto ayuda mucho a ahorrar dinero y en algunos casos a salvar pozos que de otra manera se perderían irremediablemente. Por ejemplo, hay casos en que demoras de hasta 5 minutos en inyectar la "espuma" traen como consecuencia que no se pueda controlar la invasión de agua al pozo.

Para perforar con espuma se necesita:

- 1) Equipo de Inyección
- 2) Tanques de mezcla y almacenamiento
- 3) Equipo registrador de presión
- 4) "Booster" capaz de elevar la presión hasta 1000 libras por pulgada cuadrada, en operaciones continuas y 1500 libras por pulgada cuadrada en forma intermitente.
- 5) Compresores capaces de producir 2,500 pies cúbicos por minuto de aire.
- 6) Válvulas "Checks" (de una sola dirección) en la línea de inyección de química.

El equipo de inyección es de dos tipos:

- a) Bomba para inyectar "espuma" sola
- b) Bomba para inyectar "espuma" mezclada con agua

Las bombas deben ser capaces de inyectar de 1 barril por hora a 1 barril por minuto de la mezcla espuma-agua y hasta 2-1/2 galones por hora de "espuma" sola.

En la tabla 10 tenemos los tipos de bombas normalmente usadas en la industria.

T A B L A X

BOMBAS PARA INYECCION DE ESPUMANTES

Constructor	Modelo	Presión Max. No. <u>operación</u>	Galones <u>por hora</u>	Lainas
Mc-Farland Engi.	MAC-24	1500 [†]	5- 328	1/4" - 2"
	MAC-A-15-26	1500	20-1260	1/4" - 2"
Tex-Team Corp.	MSM-5001	1500 [†]	1- 30	3/8 - 1/4"
	TXT-6004	800	60- 900	3-3/4
Gardner Denver	FF - AF	900	40-5660	2-1/2"- 4"
	AD - 4000	1500 [†]	1- 900	1-3/4"
National Supply	F-30-L	1200	1122-5160	
	F-30-S	1500 [†]	220-3300	

Procedimiento a Seguir

Cuando se ha descubierto una formación que esta produciendo agua, se para de perforar y se trata de circular un poco de agua a la superficie, a fin de determinarle el contenido de sal. Una vez obtenida la salinidad del agua se puede decidir el tipo de "espumante" que se va a emplear, (Para agua salada o para agua dulce)

Luego se procede a probar si es mas conveniente el uso de la espuma sola o con agua, esto solo se puede determinar experimentando con uno u otro tipo para apreciar los resultados.

La cantidad de espuma que se usa esta supeditada al flujo de agua de la formación al hueco.

El objeto de la "espuma" es tratar de mantener la presión lo mas bajo posible y constante.

Perforación con "Fluido Aereado"

Recibe este nombre el uso simultaneo de lodo y aire como fluido de perforación. El lodo constituye la fase continua y el aire la fase dispersa.

Gracias al "fluido aereado" es posible perforar en zonas en las que ha fallado la perforación con aire y con espumantes.

Aunque es mucho menos efectiva que la perforación con aire (y aun que la perforación con "espumantes") es más rápida que la perforación con "lodo solo", por lo que es un paso obligado, antes de decidirse a cambiar de la perforación con aire a la perforación con lodo.

Existen dos razones para que la perforación con "fluido aereado" tenga éxito en zonas en las que han fracasado los espumantes, y ellas son:

- 1) El "lodo aereado" es un fluido con mayor capacidad de

levantamiento de partículas que la "espuma"

- 2) El "lodo aireado" forma una "pared" (cake) a todo lo largo del pozo. Esto evita los derrumbes.

Para esta clase de perforación se puede usar cualquier tipo de lodo, pero el mas usado en la actualidad es el lodo cálcico.

Equipo

Se emplea el mismo equipo de perforación con aire, y además la bomba de lodo. La bomba de lodo debe ser capaz de desplazar de 50 a 300 galones por minuto de lodo, y los compresores y boosters deben producir de 800 a 1000 pies cúbicos por minuto a una presión de 1000 libras por pulgada cuadrada.

Operación

Primero se empieza a bombear lodo al hueco, una vez que el lodo está circulando se abre la válvula de inyección de aire que esta en el "stand-pipe". Al principio la presión sube, pues el lodo que se encuentra en el espacio anular está ejerciendo una contrapresión contra el "lodo aireado" que está entrando en la tubería de perforar. Cuando el lodo aireado regresa a la superficie, por el espacio anular, la presión baja y se normaliza.

Si la presión no se mantiene constante, una vez que se esta perforando, quiere decir que no se está bombeando suficiente lodo al hueco, luego habrá que variar la razón aire-lodo.

Cada vez que se agrega un nuevo tubo (conexiones), se levanta la columna y se desplaza todo el lodo "aireado" que hay dentro de la tubería (se calcula aproximadamente el tiempo que esto demora), para que solo quede

con lodo aireado el espacio anular, luego se procede a hacer la conexión como se acostumbra normalmente. Para hacer cambio de broca, se acostumbra, algunas veces, llenar todo el hueco con lodo.

Se ha encontrado, mediante experimentos y trabajos prácticos que es necesario tener un flujo no menor de 120 galones por minuto de "lodo aireado" pues debajo de esta cifra la capacidad de acarreo de partículas del lodo aireado" decae bruscamente y la presión de inyección aumenta.

Cierre de Zonas de Agua

Consiste en cerrar las arenas productoras de agua mediante inyección, a la formación, de sustancias químicas.

Por ser esta una nueva técnica, es muy difícil su aplicación y muchas veces no se obtienen los resultados esperados.

Sin embargo, día a día se están descubriendo nuevos productos químicos y mejorando los ya existentes.

Las herramientas para introducir las sustancias químicas en las arenas de agua, también están sujetas a continuos cambios, a fin de encontrar las más convenientes, y al mismo tiempo las más económicas.

Material empleado

Para cerrar formaciones de agua se utilizan:

- 1) Gel Líquido
- 2) Resinas
- 3) Gases (y combinación gas-líquido)

Gel Líquido

El Gel líquido es usado para cerrar zonas con poco flujo de agua. La formación en que se emplea es arena permeable y arena arcillosa. También puede emplearse a calizas de baja permeabilidad pero con muy poca pro-

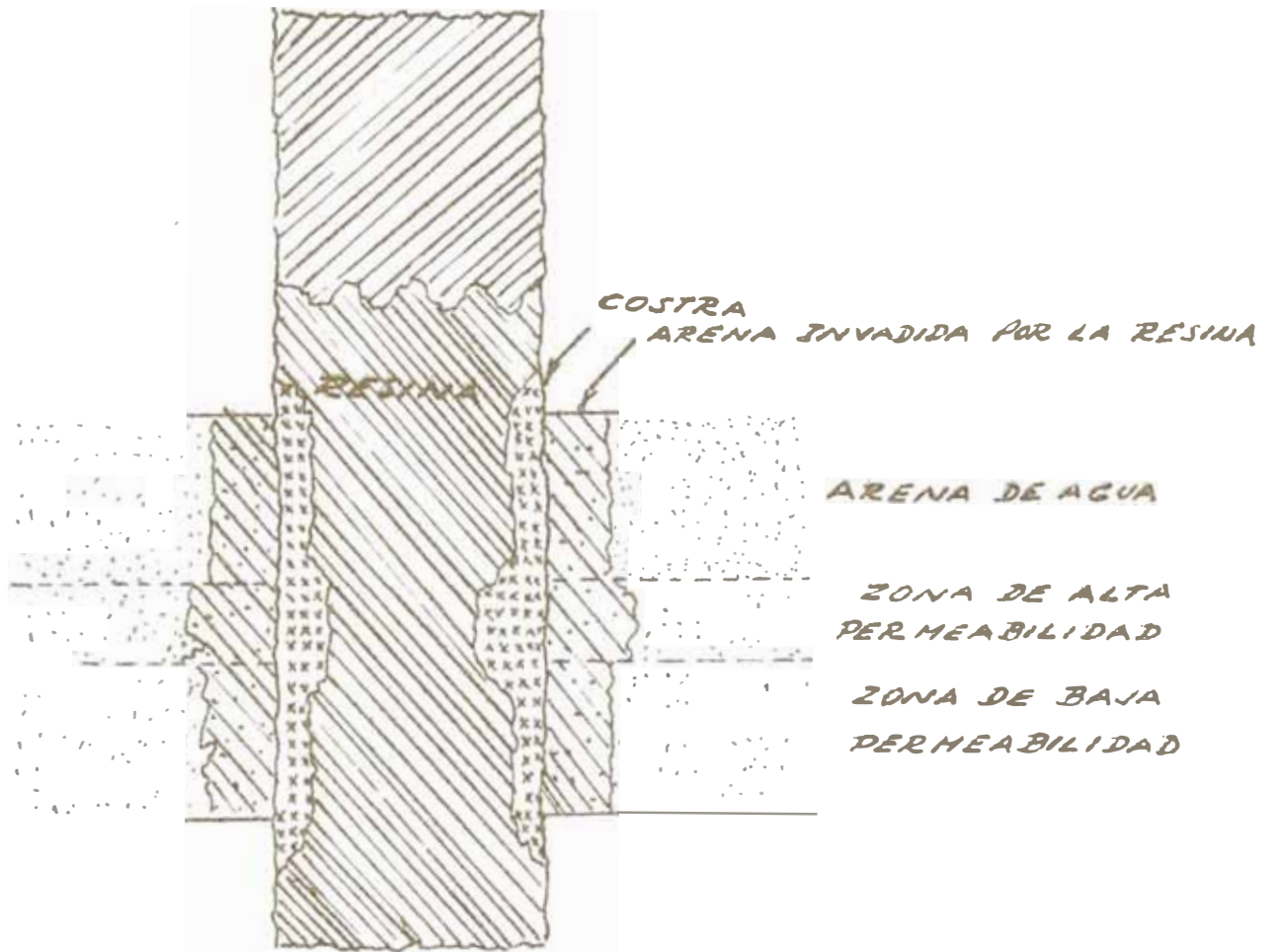


Figura N° 17

ducción de agua.

~~Halliburton~~ tiene en venta dos de estos "geles":

- a) "Hydrolock P.W.G." (Polimeric water gel)
- b) "Bloxall" (este aun no ha sido usado en la perforación con aire).

El "P.W.G" es una mezcla de Fosfato di sodico, Ferrocianuro de Potasio, Tierra de Diatomeas, Tiosulfato de Sodio, y pers Sulfato de Amonio. Todos, menos el último vienen mezclados.

Resinas

Para cerrar arenas de agua se usan resinas que se solidifican en la formación. La resina se usa mezclada con arena y "Posselan S". La arena sirve para darle peso y el "posselan S" forma un "cake" en la pared del pozo para filtrar la resina, de modo que entre pura a la formación (ver figura 17).

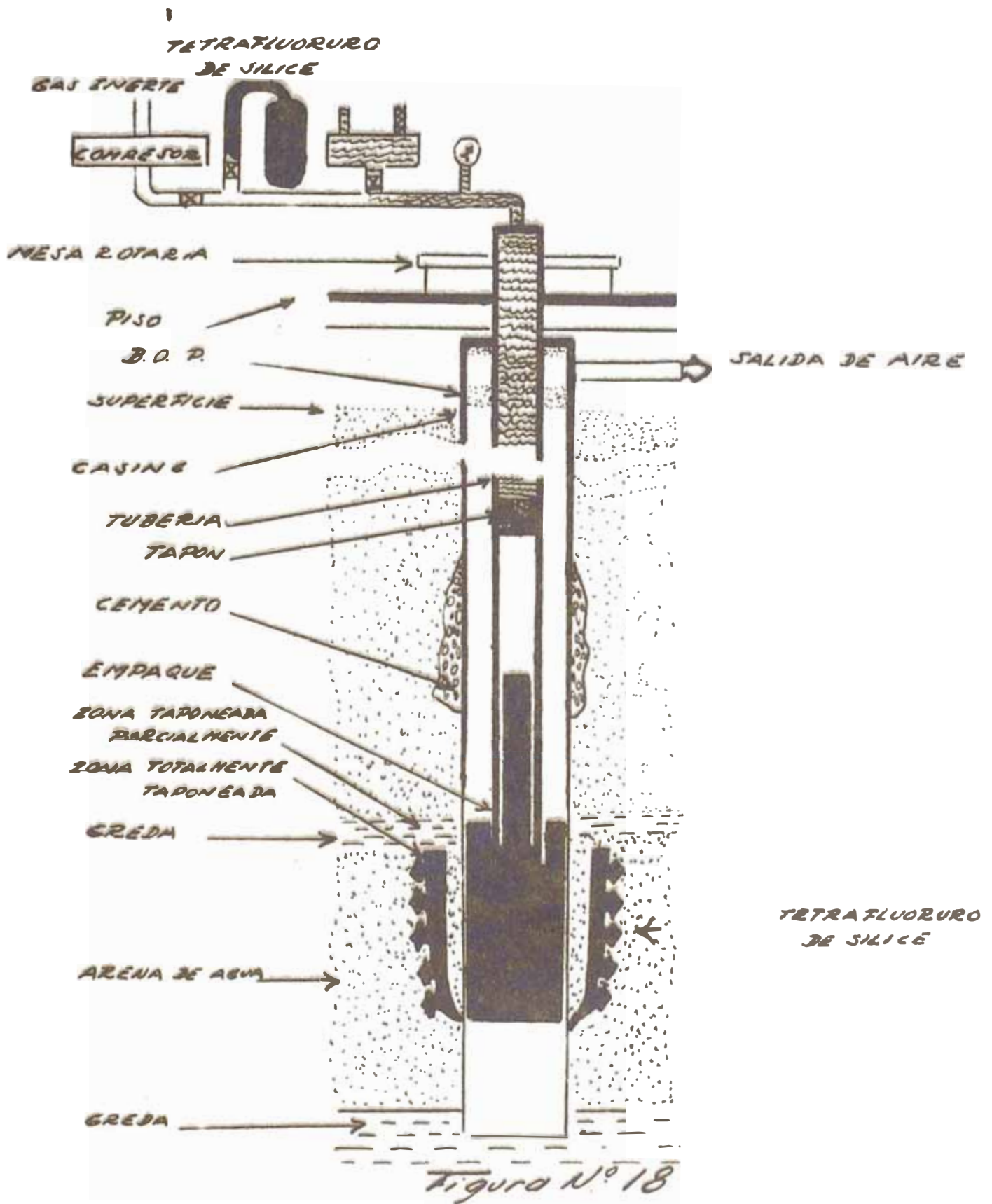
El producto ya mezclado se llama "P C - 11" (es de Halliburton) y la resina " H G -10".

Los empaques que se usan para inyectar la resina, deben ser del tipo perforable, pues una vez completada la operación, quedan malogrados y no se pueden sacar.

Gases

El gas empleado es el "Tetrafluoruro de Silice" (Si F_4) y ha sido desarrollado por la Gulf Corp.

El tetrafluoruro de Silice es un gas tóxico que reacciona directamente con el agua de la formación, produciendo ACIDO SILICICO (insoluble) y ACIDO FLUOSILICICO. Si dentro del agua de formación hay sal esta ayudará a sellar los espacios porosos. Puede usarse en pozos de cualquier pro-



CIERRE DE ARENA DE AGUA CON GAS (F_2Si)

fundidad y en formaciones permeables y arcillosas.

Para pozos profundos se mezcla con nitrógeno, a fin de reducir su densidad evitando así su liquefacción.

Para tener éxito con el uso de éste gas se debe hacer lo siguiente:
(Figura 18).

- 1) Tener expuesta toda la zona de agua en el momento de hacer la inyección.
- 2) Cortar debajo de la formación de agua dos o tres pies mas para dar sitio a los sobrantes de la operación.
- 3) El hueco debe estar limpio. Se debe usar espumante antes de sacar la broca para hacer el trabajo con el gas.
- 4) El obturador debe ser "sentado" en una formación dura y "competente".

Operación

El procedimiento a seguir consta de los siguientes pasos:

- a) Arrear el "obturador" hasta la posición deseada pero **SIN** "sentarlo"
- b) Llenar con aceite diesel la tubería; un volumen igual al del hueco que se va a tratar. El aceite sirve para limpiar la tubería y el hueco, "Barriendo" el agua que se encuentre allí. Esto se hace para prevenir que el gas se mezcle con el agua sobrante que halla en la tubería y se endurezca antes de ser introducido a la formación.
- c) Se introduce el gas, detrás del aceite, a través de la tubería de perforar. La cantidad de gas varía con la potencia de la arena de agua, su permeabilidad, etc. Se usan de 3 a 30 libras de gas por pie de arena a cerrarse.

- d) Detrás del Tetrafluoruro de Silice se introduce el aire (también se puede usar nitrógeno).
- e) Luego se pone un tapon de caucho (El mismo tipo al usado para cementar)
- f) El tapon se desplaza con agua (antes del agua se ponen dos barriles de aceite).
- g) Una vez que la tubería está llena, se SIENTA el "obturador" y luego se continúa rotando hasta que se abran las compuertas.
- h) Se aplica presión desde la superficie, a fin de "empujar" el gas dentro de la formación. La presión debe ser tal que introduzca el gas pero que no ocasione una fractura de la arena.
- i) Se mantiene la presión por VEINTE MINUTOS
- j) Inmediatamente después se saca la tubería

Al hacer el cálculo para el desplazamiento, se debe tener en cuenta que el volumen de Tetrafluoruro varía con la presión y temperatura. Por lo que es necesario considerar una temperatura promedio, y además poner un pequeño exceso de tetrafluoruro.

Es recomendable, mantener la presión debajo de 0.6 libras por pulgada cuadrada por pie de profundidad, pues se estima que las formaciones se fracturan con una gradiente de presión de 0.74 libras por pulgada cuadrada por pie de profundidad, y algunas veces con menos.

A pesar de todas las precauciones tomadas, algunas veces no se tiene éxito, y lo peor es que esto solo se puede saber una vez que la broca llega nuevamente al fondo.

Equipo

Obturadores (ver figuras 19, 20)

Se emplean los mismos "obturadores usados en la cementación forzada" (squeeze cementing) "fracturamiento con hueco abierto, acidificación, etc.. Sin embargo se debe tener en cuenta que los "obturadores" usados para estas operaciones van a estar sometidos a mayor presión diferencial que en trabajos corrientes, pues no existe la columna hidrostática de lodo.

Ultimamente se ha desarrollado un nuevo tipo de obturador que se puede llevar detras de las "botellas" mientras se está perforando, este ahorra un precioso tiempo, de otra manera desperdiciado, haciendo "viajes".

Las Tablas 3, 4, 5 y 6 del Capítulo II nos muestran los diferentes obturadores utilizados, lo mismo que sus especificaciones. En el Capítulo II se trata con detalle sobre los "obturadores".

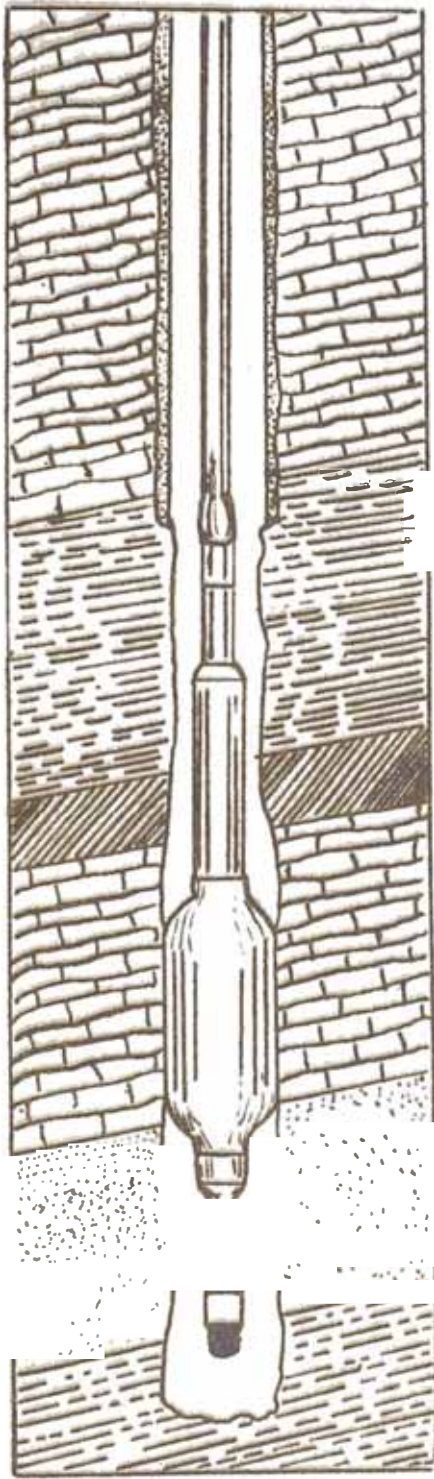


Figura N°19

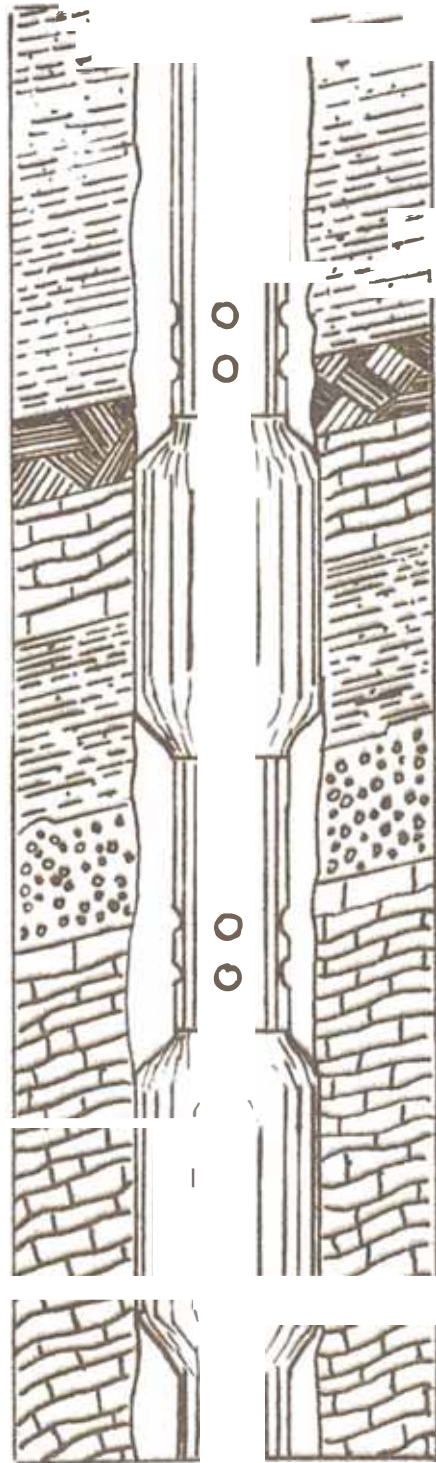


Figura N°20

C A P I T U L O V

ASPECTOS GEOLOGICOS Y DE RESERVORIOS

Ventajas de la Exploración con aire como fluido de Perforación

Las ventajas del aire como fluido desde el punto de vista de Geología ha sido demostradas en las pruebas realizadas en el campo, estas ventajas se pueden resumir en:

- 1) El pozo más limpio, contribuye a una mejor evaluación del reservorio.
- 2) Mejores completaciones y por lo tanto mayor producción.
- 3) Prueba de formación constante
- 4) Imposibilidad de pasar una arena sin descubrir la presencia de aceite.
- 5) Mayor recuperación de muestras (cores)

Evaluación Geológica del Reservorio

Como hemos visto antes, debido a la limpieza del pozo se puede evaluar mejor el reservorio y las muestras tomadas (cores) no salen contaminadas (como el caso del lodo). El problema del filtrado del lodo que incha las gredas obstruyendo el flujo normal del aceite se elimina con la perforación con aire.

Además las zonas de gas son detectadas inmediatamente que se atraviesan, y si se encuentran zonas permeables con aceite inmediatamente se obtiene una pequeña circulación en la superficie. En caso de que la formación de aceite sea poco permeable, se le descubre por el olor y por la alta fluorescencia en las muestras.

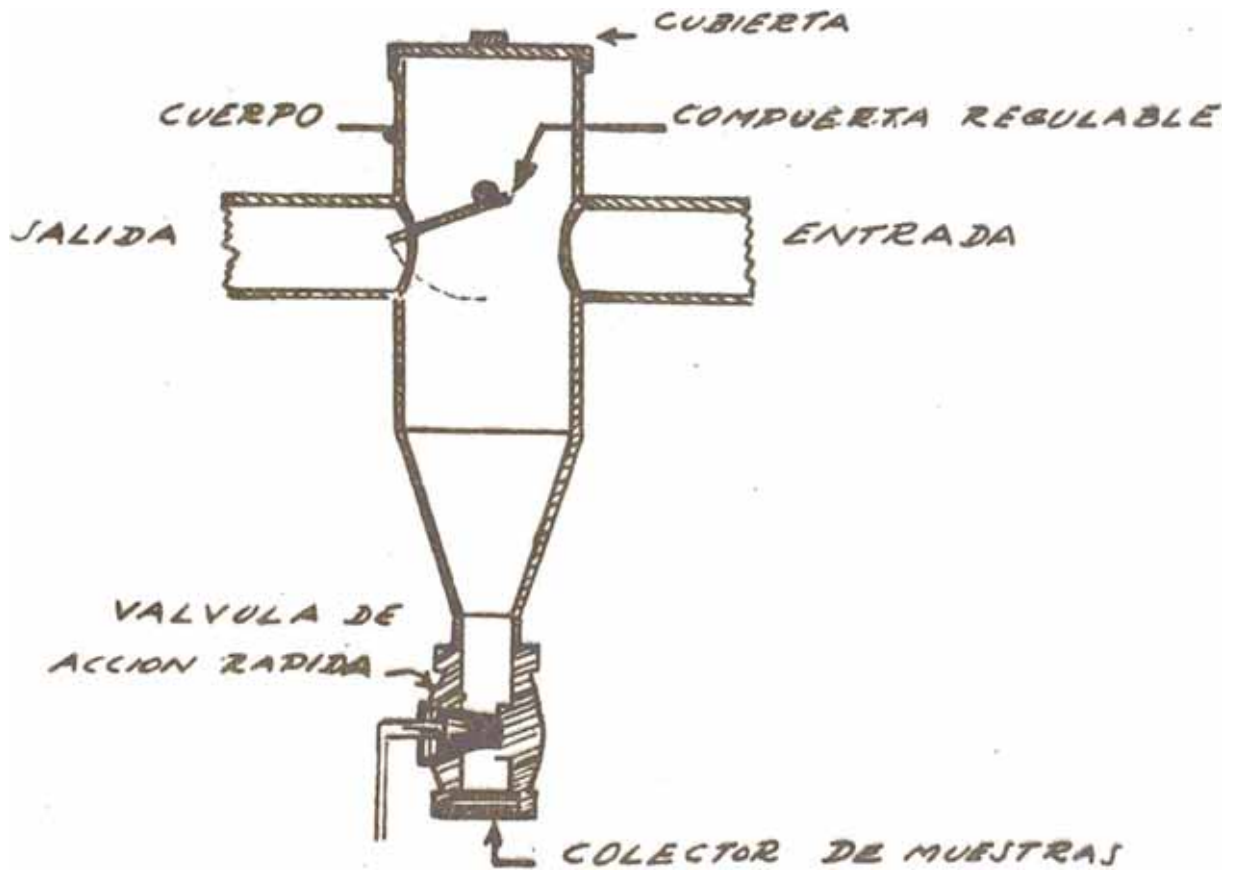


Figura N° 22

TRAMPA DE MUESTREO "LA PRADE"

Existen muchas formas de tomar las muestras. Algunas veces se utilizan procedimientos rudimentarios, y otras verdaderos equipos auxiliares.

Equipo Usado

Trampa de Muestreo

Consiste en un tubo soldado a la línea de descarga en un ángulo tal que sirva de trampa para los detritos cortados por la broca, y que además permita recoger la muestra en un recipiente en el momento que se desee (ver figura 21). Las muestras que se quieren analizar se obtienen simplemente abriendo la válvula "a". Una vez que se ha recogido la muestra se deja escapar un poco de aire a fin de limpiar la trampa, antes de empezar a almacenar nueva muestra.

Trampa de LA PRADE (ver figura 22)

Es la más complicada de todas, sin embargo, es también la más usada. Consiste en un recipiente cónico, diseñado de tal manera que al entrar el aire pierde algo de su velocidad, luego se estrella contra la pared "b" (de ángulo regulable) y deja caer las partículas más grandes hacia el fondo del cono de donde, mediante la llave "a" de acción rápida es posible recolectar las muestras.

Existe otro tipo de trampa que se basa en la fuerza centrífuga el tipo "Cyclone" (ver figura 23)

Además hay también un método simple de recoger muestras y que consiste en soldar una varilla de acero (que lleva en la punta una plancha de fierro inclinada) al extremo de la línea de descarga.

Descripción de las muestras

A pesar de que las muestras son demasiado pequeñas, es posible

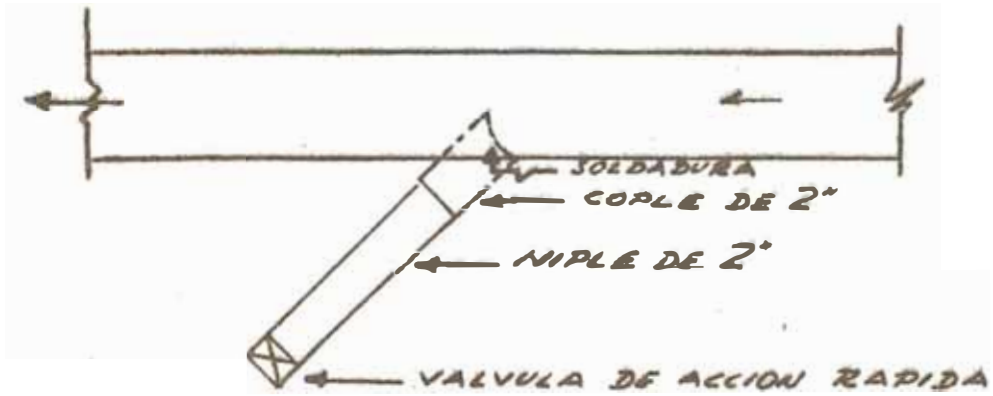


Figura N° 21

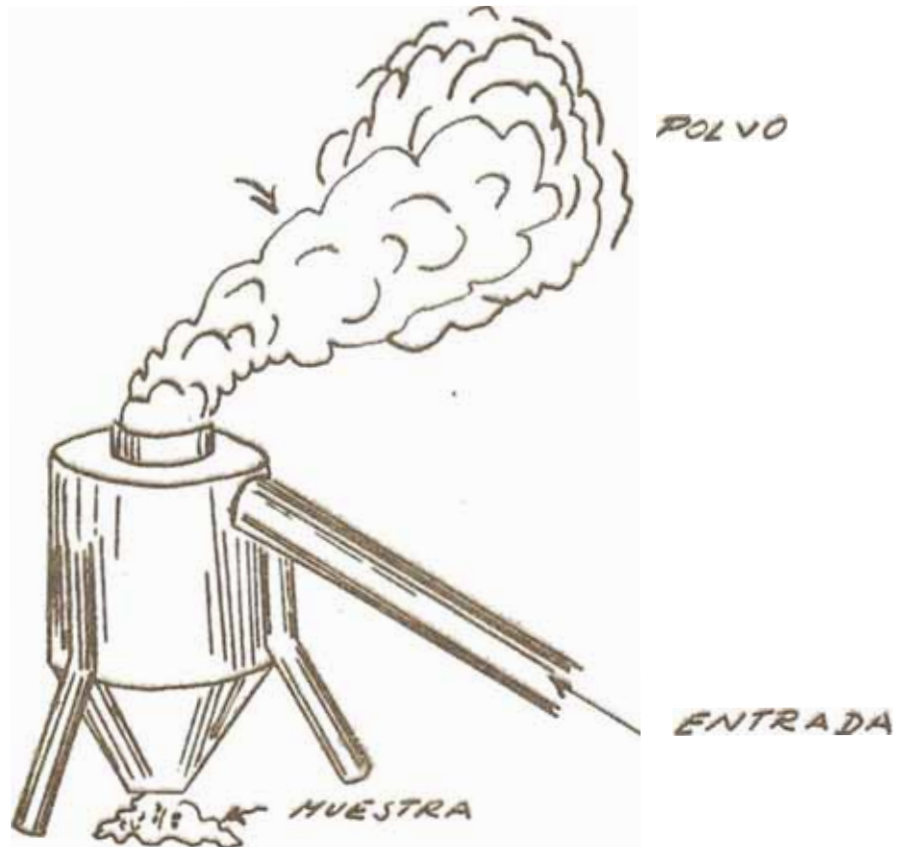


Figura N° 23

TRAMPAS DE MUESTREO

analizarlas. El trabajo del geólogo es diferente al del muestreo en la perforación con lodo, pero no es mas complicado. En algunos casos es necesario usar microscopios más potentes.

El color de las muestras es una ayuda importante para determinar los cambios litológicos.

A continuación enumeramos algunos procedimientos generales para describir las muestras:

Los Conglomerados y Brechas

Dependen del grado de consolidación de la formación. Si la formación tiene poca consistencia la muestra será pobre y de muy mala interpretación. Pero si la "matrix" es lo suficientemente fuerte como para soportar la turbulencia, la muestra mantiene la redondés y angularidad características. Aunque la "matrix" salga en forma de polvo a la superficie se le puede analizar químicamente.

Areniscas

Si la "matrix" es silícica es posible identificar la muestra, aunque se halle algo desfigurada, pero si el material es blando es mas difícil. En caso que suceda esto último es preferible tomar muestras de "núcleos" (cores).

Calizas y Dolomitas

Se pierde gran parte de la información en este tipo de formaciones.

Evaporitas

La sal, anhidritas y yeso, pueden ser fácilmente detectadas cuando se encuentran en zonas de gradas, no asi en formaciones de arenas de grano fino.

Glauconitas

Difícil de identificar en las gredas, se encuentra oculto su color característico, pero son simples de identificar en areniscas y carbonatos.

Pirita

Conserva su color metálico característico.

"Cherts"

Son muy pequeños pero conservan todas sus propiedades.

Tamaño de los Detritos

En general, los cortes de la broca en la perforación con aire son de menor tamaño que los que se obtienen en la perforación con lodo. Sin embargo entre las muestras se hallan desde "polvo" hasta cortes tan grandes como los obtenidos en la perforación convencional.

El tamaño de los cortes depende principalmente de la velocidad de la densidad del fluido, como ya hemos visto al determinar la velocidad de "resbaleamiento" de las partículas.

Las razones principales para que los "cortes" sean mas pequeños que en la perforación con lodo son:

- 1) Las brocas que se usan son para terreno duro (dientes pequeños).
- 2) El continuo golpe a que están sometidas las partículas por la tubería. Al no tener un "colchón de lodo" que los proteja, los "cortes" de la broca son molidos por la tubería.
- 3) La velocidad anular es muy alta (3000 pies por minuto).
Esta velocidad hace que los cortes sean estrellados con gran fuerza sobre la tubería, coples, y paredes del pozo.

†

Registros del Pozo

En los pozos perforados con aire se pueden "correr" registros de Inducción, registros de rayos Gamma, Neutron y Caliper. Además si se llena el pozo **con** lodo antes de correr los registros se pueden tomar todo tipo de registro eléctrico.

A continuación damos la tabla de CREW Y JONSON que dá las combinaciones de registros más recomendable para cada tipo de reservorio.

(ver tabla XI).

El registro de avance diario, sirve además de gran ayuda para los geólogos

Interpretación de los registros de Inducción

La interpretación más importante es la cualitativa (litológica).

Se toman registros Gama y Neutron .

En la curva de Rayos "Gamma" tenemos:

- 1) Los valores de las arenas arcillosas y recifes coralinos son altos.
- 2) Los valores de las gredas son aun más altos.

En la curva "Neutron"

- 1) Los valores de los recifes coralinos son los mas altos
- 2) Los de las arenas limpias son un poco menores
- 3) Los valores de las arenas arcillosas son menores que los anteriores.
- 4) Los de las gredas son los menores de todos
- 5) En curva "neutron" responde con mayor intensidad en las secciones mas porosas.

Toma de Núcleos

El procedimiento para tomar "núcleos" ("muestra" o "core") es el mismo usado en la perforación con lodo. Sin embargo el peso que se aplica sobre la broca es mucho menor (aun en el caso de usar broca de diamante). Además es conveniente tener buena circulación de aire a fin de no "quemar" la "muestra" con la fricción.

En la toma de "núcleos" con aire se obtienen recuperaciones hasta de 50% en gredas blandas, lo que es imposible en la perforación con lodo. Sin embargo al igual que en la perforación con lodo la recuperación en arenas no consolidadas y calizas porosas y blandas es muy pobre.

T A B L A X I

TABLA DE CREW Y JOHNSON

Tipo de Reservorio	Tipo de Pozo	Registro (hueco vacío)
Arena	Desarrollo	I, G
		I, G, (c)
	Exploración	I, GN, T (c)
Carbonatos	Desarrollo	I, GN, T, CAL (c)
		GN
	Exploración	I, GN
		I, GN, T
Arena y Carbonatos	Desarrollo	I, GN, T, CAL
		I, GN
	Exploración	I, GN, (c)
		I, GN, T (c)
		I, GN, T, CAL, (c)

- I Registro de Inducción
- G Rayos Gamma
- GN Neutron y Gamma
- T Temperatura
- CAL Diámetro del hueco (caliper)
- (c) Muestra de pared (side wall core)

C A P I T U L O VI

E C O N O M I A

Para darnos una idea de la ventaja de la perforación con aire con respecto a la perforación con lodo, hallaremos el costo de un pozo perforado con ambos sistemas, separadamente.

Evaluación del costo de un Pozo

Analizaremos el costo de la perforación con lodo y con aire de un pozo de 9,200 pies de profundidad y constituido en su gran mayoría por formaciones bastante duras (arenas y areniscas). Hemos escogido esta profundidad, para hacer la comparación, pues ya hemos visto que la mayor ventaja de la perforación con aire respecto a la perforación con lodo se obtiene en pozos profundos.

Antes de pasar a estimar el costo de uno u otro método de perforación rotaria, debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los costos unitarios han sido tomados de catálogos americanos (Composite Catalog) cuyos precios son puestos en Estados Unidos, a los cuales se les ha agregado 30% por concepto de fletes e impuestos (los dólares se han cotizado a S/.27.00 c/u).
- El número de brocas y de días se han estimado en base a un análisis teórico y progresivo de la perforación, teniendo en cuenta los avances promedios que se obtienen en determinado tipo de rocas. Si bien es cierto que en la práctica esto no se ajusta a la realidad, también es cierto que solo se ha hecho con el propósito de obtener una gama variada de avances

y duración de cada broca, a fin de efectuar una comparación mas amplia entre la perforación con lodo y la con aire.

- Con el objeto de simplificar el ejemplo, el único factor adverso que se ha considerado, tanto en uno como en otro caso, es el de la formación sumamente dura y abrasiva, por lo que no se han tomado en cuenta otros problemas encontrados a menudo en la perforación y que aumentan el riesgo y el costo de la misma, tales como derrumbes, pescas reventones (blow outs) accidentes, incendios, etc.
- Para los efectos del presente ejemplo se ha supuesto que el aceite se encuentra solamente en el fondo. Esto trae consigo una serie de suposiciones como:
 - a) Se perfora en una zona perfectamente conocida
 - b) La arena productiva es relativamente pequeña y de alto potencial.
 - c) El índice de productividad del pozo es lo suficientemente alto como para justificar una producción adecuada y acorde a los gastos.
 - d) Aparte de la arena productora no existen otras arenas de alta presión en el pozo.

Características del Pozo a Perforarse

Profundidad	9,200 pies
Profundidad de la arena productiva	8,850 pies
Espesor de la arena productiva	300 pies
Formaciones y perfil litológico	(Ver apendice I)

<u>Profundidad</u>	<u>Descripción Litológica</u>	<u>Edad Geológica</u>
0 - 200	Greda Arena y Conglomerado	Pleistoceno
200 - 2,500	Greda y Arena altamente abrasiva	Eoceno Superior
2,500 - 3,000	Lutita y greda	Eoceno Medio
3,000 - 5,000	Greda, arena abrasiva, Silt, conglomerado.	Eoceno Inferior
5,000 - 9,200	Greda, Lutita, Arena abrasiva, arenisca dura y conglomerado	Paleozoico

Equipo Empleado: National 80- B

Bombas: Dos C-350 (para la perforación con lodo)

Costos Unitarios

Costo Diario del Equipo (ver apéndice II) con lodo		\$/ 43,000
Costo Diario del Equipo (ver apéndice II) con aire		50,500
Broca de 17 pulgadas (convencional)		13,800 c/u
Broca de 12 pulgadas (chorro)		8,100 "
Broca de 7-7/8 (chorro)		6,700 "
Broca de 7-7/8 (especial)		29,700 "
Forros de 13-3/8" (superficie)	S/. 190	por pie
Forros de 9-5/8" (intermedios)	120	" "
Forros de 4-1/2" (producción)	39	" "
Tuberías de 2-7/8" (producción)	30	" "

Perforación con Lodo

Tiempo empleado	71.5 días (ver apéndice I)
Brocas empleadas	113 brocas (ver apéndice I)

Cálculo del Costo total

Instalación

El peso aproximado del material a moverse es de 350 toneladas (Ver apéndice II)S/.200,000

Perforación

Tiempo de instalación del equipo: 1 día

1 x S/. 43,000 S/. 43,000

Perforación del hueco de Superficie 2 días

y 2 brocas de 17"

2 x S/. 43,000 86,000

2 x 13,800 27,600

Forros de superficie de 13-3/8" 500 pies

500 x S/. 190 95,000

Cementación contratada 28,000

Perforación del hueco, desde los 500 pies

hasta los 5,000 pies: 19 días y 26 brocas

19 x S/. 43,000 817,000

26 x 8,100 251,100

Forros intermedios 5,000 pies de 9-5/8"

5000 x S/. 117 585,000

Cementación contratada 40,500

Tope de cemento a los 4,000 pies

Tiempo empleado arriando forros y cementando:

1 día.

1 x S/. 43,000 43,000

Perforación del hueco desde los 5,000

pies hasta los 8,000 pies 21 días y 37 brocas

21 x S/. 43,000 S/. 903,000

37 x 6,700 247,900

Perforación del hueco de los 8,000 pies a los

9,200 pies 25 días y 48 brocas

25 x S/. 43,000 1'075,000

48 x 6,700 321,600

S/. 4'563,700

Completación

Pruebas de formación (dos) S/. 20,800

Muestras de pared (side wall cores) 23,400

Registros eléctricos, incluyendo los tomados
antes de correr los forros intermedios 154,800

Forros de producción

9,000 x S/. 39 351,000

Cementación contratada 145,800

Tiempo corriendo registros eléctricos, arriando
tubos, cementando y desarmando el equipo: 2.5 días

2.5 x S/. 43,000 107,500

Gastos de Fracturamiento de la arena (contratados) 165,000

S/. 968,300

Costo Total S/. 5'732,000

Perforación con Aire

Para hacer los cálculos del costo del pozo perforado con aire como
fluido de perforación tendremos en cuenta:

- En terreno sumamente duro se emplearán brocas especiales, con "esferas de tungsteno insertadas" (inserted bits).
- Se emplearán 4 compresores y dos "Boosters" marca "Joy" con una capacidad de 2,700 pies cúbicos por minuto a 125 libras por pulgada cuadrada de presión (manométrica) y 2,500 pies cúbicos por minuto a 1,000 libras por pulgada cuadrada de presión, en forma continua, y a 1,500 psi. en forma intermitente. La cantidad de aire necesaria se ha calculado según Angels.
- Es muy posible que gran parte del tiempo los "boosters" esten de parada, pero es necesario tenerlos en el pozo para ser usados en cualquier momento que se encuentren problemas como son zonas productoras de agua y zonas húmedas.
- El costo del pozo perforado con aire lo haremos, primero suponiendo que no encontramos arenas con agua, pero al terminar haremos un estimado de lo que gastaríamos en "cerrar" arenas de agua y secar zonas húmedas.
- Los avances y la duración de la broca en el fondo del pozo y en buen estado se supone que sea como sigue.

<u>P r o f u n d i d a d</u>	Avance con respecto a la perforación con lodo	Tiempo que dura la broca en el fondo del pozo con respecto a las brocas usadas en la perforación con lodo
0 - 500	Igual	1.5 veces
500 - 2,500	1.5 veces	1.5 veces
2,500 - 3,250	Igual	1.5 veces
3,250 - 5,000	1.5 veces	1.5 veces

Profundidad	Avance con respecto a la perforación con lodo.	Tiempo que dura la broca en el fondo del pozo con respecto a las brocas usadas en la perforación con lodo.
5,000 - 7,250	1.5 veces	2.0 veces
7,250 - 7,500	Igual	1.5 veces
7,500 - 7,750	1.5 veces	2.0 veces
7,750 - 8,850	2.0 veces	3.0 veces
8,850 - 9,200	Con lodo	

- La arena productiva se perforará con lodo para evitar que el aceite traiga problemas a la perforación.
- Se debe observar que los avances y tiempo que dura la broca en buen estado en el fondo del pozo son bastante conservadores, sobre todo si se tiene en cuenta los resultados obtenidos tanto en los Estados Unidos como en el Perú a este respecto: Así en Estados Unidos de 266 pozos perforados, con un total 420,000 pies se obtuvieron los siguientes promedios:
(con Aire)

	<u>Pozos secos</u>	<u>Pozos Húmedos</u>
Pies por broca	1,377.4	957.7
horas por broca (perforando).	28.3	27.3
Avance en pies por hora	48.5	35.3

En el Perú.

En el NorOeste del Perú de 26 pozos perforados con un total de 32,000 pies se obtuvieron los promedios siguientes: (con aire)

Pies por Broca 780 pies

T1.	Horas por broca	15
	Pies por hora	60

Costo de la Perforación con Aire

Tiempo empleado	42.3 días (ver Apendice I)
Brocas empleadas	36 brocas (ver Apendice I)

Instalación

10% mas que con lodo S/. 220,000

Perforación

Tiempo de Instalación del equipo 1.3 días

1.3 x S/. 50,500 S/. 50,500

Perforación del hueco de superficie:

1 día y 1 broca de 17".

1 x S/. 50,500 50,500

1 x 13,800 13,800

Forros de Superficie: 500 pies de 13-3/8"

500 x S/. 190 95,000

Cementación Contratada 28,000

Perforación del hueco desde los 500 pies hasta los 5,000 pies 12 días y 11 brocas

12 x S/. 50,500 606,000

11 x 8,100 89,100

Forros intermedios: 5,000 pies de 9-5/8"

5,000 x S/. 117 585,000

Cementación contratada (tope de cemento a los 4,000')

40,500

Tiempo empleado arriando forros y cementando:

1 día

1 x \$/. 50,500 \$/. 50,500

Perforación del hueco desde los 5,000 pies

hasta los 8,000 pies: 14 días y 12 brocas

(8 brocas corrientes y 4 especiales) de 7-7/8"

14 x \$/. 50,500 707,000

8 x 6,700 53,600

4 x 29,700 118,800

Perforación desde los 8,000 pies hasta los 8,850

pies: 8 días y 9 brocas especiales de 7-7/8"

8 x \$/. 50,500 404,000

9 x 29,700 267,300

Perforación desde los 8,850 pies hasta los 9,200

pies (con lodo) 2 días y 3 brocas

2 x \$/. 50,500 101,000

3 x 6,700 20,100 \$/. 1280,700

Completación

Muestras de pared (side wall cores) \$/. 23,400

Registros eléctricos, incluyendo los
tomados antes de correr los forros

intermedios. 154,800

Forros de producción

9,000 x \$/ 39 \$/. 351,000

Cementación contratada 145,800

Estimamos que encontremos dos de estas arenas de agua tendríamos un gasto de cierre de aprox. S/. 224,100 y todavía nos sobrarían S/. 115,700 para el uso de otros productos químicos cuyos precios aproximados son los siguientes:

Agente Absorbente	S/. 10	por libra
Agente repelente	30	" "
Espumantes	192	galón
Agentes anticorrosivos	240	"
Agentes lubricantes	180	"

Sin embargo se debe tener en cuenta, que si bien es posible obtener este y aun ahorros mayores, es necesario una inversión inicial fuerte, cuyo éxito o fracaso solo puede determinarse después de haberse perforado una serie de pozos claves en cada área. Por ello es preferible hacer este sondeo preliminar con equipo de compresores y Boosters alquilados, pues aunque el ahorro es menor, el capital invertido para la prueba, también es menor. Una vez que se halla probado la posibilidad de obtener éxito en el área con la perforación con aire, es necesario hacer un estimado del número de pozos a perforarse con este sistema y de su periodicidad a fin de "pesar" la conveniencia de comprar o alquilar el equipo.

P S DETERMINADO

RE A 14.7 PSI Y 60 °F (POR BBL. DE LODO)

30 110 90 70 50 30 20 10 0

W = PESO ACTUAL (LBS/GALON)

W = PESO DESEADO

LIBRAS POR GALON (W)

10

6

4

W' - W
LIBRAS POR GALON

5.0

4.5

4.0

3.5

3.0

2.5

2.0

1.5

1.0

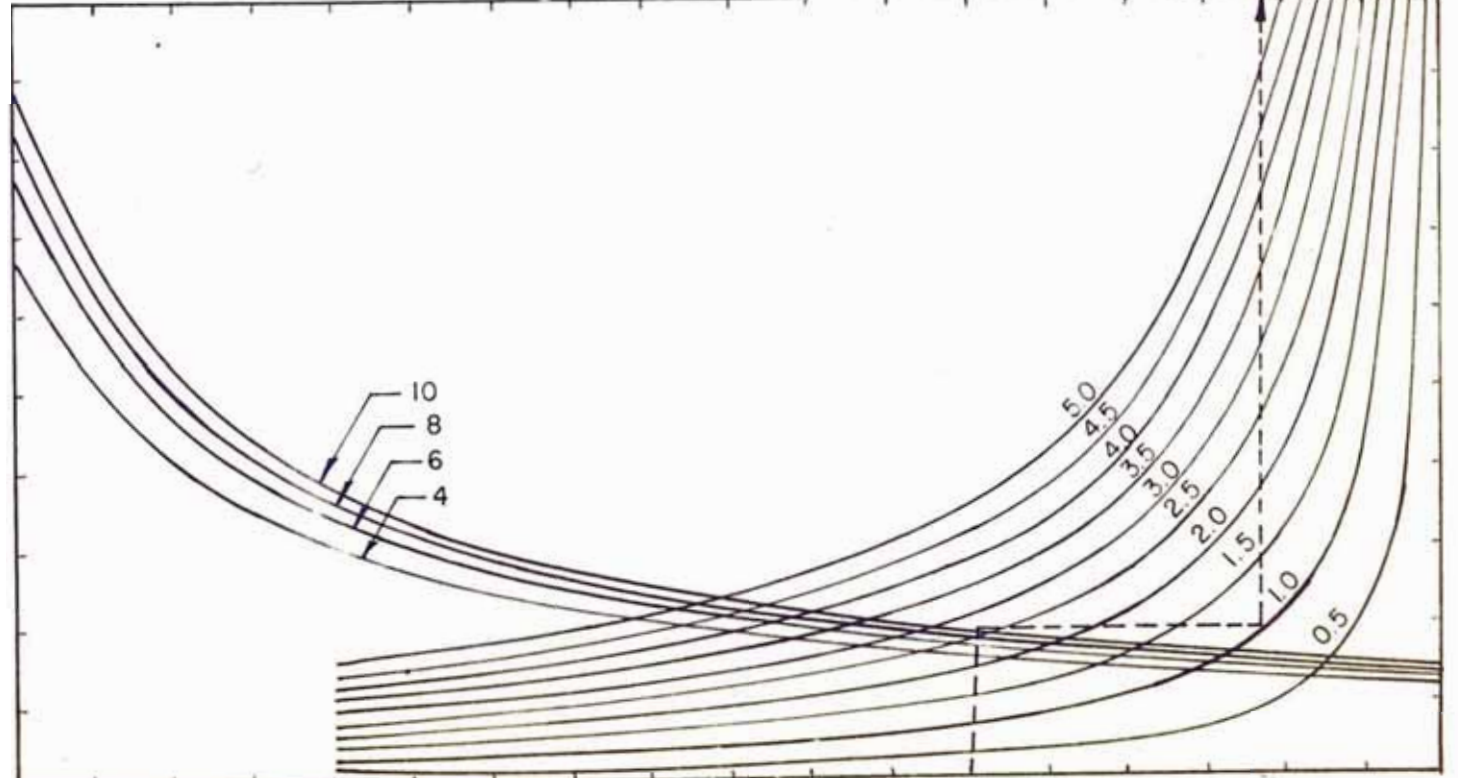
0.5

000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10,000

PROFUNDIDAD - PIES

FIGURA 25

170 150 130 110 90 70 50 30 0



PROFUNDIDAD - PIES

C A P I T U L O VII

APLICACIONES TECNICAS ESPECIALES DE LA PERFORACION CON AIRE

La perforación con aire tiene gran aplicación en problemas especiales, como son, reacondicionamiento de pozos, perforación en zonas con pérdida de circulación, exploración sísmica, etc.

Pérdida de Circulación

Si después de haberse probado todos los medios normalmente usados (gel alto, cáscara de nuez, papel celofan, etc.,) para restaurar la circulación al perforar determinado tipo de formación, no se obtienen resultados positivos, es posible utilizar con ventaja la perforación con aire. Sin embargo se debe tener siempre presente el factor COSTO. Si la pérdida de circulación es tan grande que justifique el cambio a perforación con aire, se hace el cambio, en otro caso no. En cambio hay ocasiones en que se tiene experiencia de la zona (por pozos vecinos) y se puede perforar con aire desde un principio. Si además de perderse circulación la zona es húmeda, se pueden usar "espumantes" o también "Lodo aereado". Si se usa "Lodo aereado" hay que calcular exactamente la relación "Fluido-aire" a fin de tener un peso tal que contenga el flujo de agua de la formación al pozo, y que al mismo tiempo no se tenga "pérdida de circulación". Este cálculo se puede hacer teniendo en cuenta el peso específico del fluido solo y el del aire.

Para facilitar ésta operación se usan curvas que dan directamente la cantidad de aire necesario para reducir el peso (Curvas de Poettman y Bergmen)

Completación y Reacondicionamiento de Pozos

La perforación con aire se emplea con mucho éxito para atravesar la formación productiva en zonas en que se desea tener dicha arena lo más limpia posible. Además es muy conveniente perforar la zona productiva con aire, en reservorios que se encuentran algo depletados. El uso de este método reduce considerablemente los gastos de estimulación del reservorio, ello debido principalmente a que muchas arenas productivas contienen arenas hidratables que al contacto con el agua que se filtra del lodo de perforación se hinchan. Las arcillas hinchadas tapan los espacios porosos impidiendo el flujo normal del aceite de la formación al pozo.

Reacondicionamiento de Pozos.

La perforación con aire es muy usada:

- a) Para limpieza de pozos viejos (es mucho más rápida)
- b) Para perforar pozos abandonados por alta pérdida de circulación.

Para los trabajos de limpieza se usan presiones y volúmenes de aire similares a los empleados en la perforación neumática normal. Las presiones varían entre 350 y 1000 libras por pulgada cuadrada y los volúmenes entre 2000 y 3000 pies cúbicos por minuto.

El equipo empleado es el mismo, pero además se necesita un separador de flúidos (en forma de espiral). Este separador permite perforar a través de la zona productiva, al mismo tiempo que el pozo está produciendo aceite.

Perforación a Percusión con Aire como fluido.

Se ha desarrollado en los Estados Unidos una nueva técnica de perforación rotaria con aire llamada "Percusión" (Hammerdrill). Esta nueva técnica ha sido introducida por la Mission Manufacturing Co. Los avances en terrenos duros son mayores que los de la perforación neumática convencional.

Las aplicaciones que se le están dando a este tipo de perforación son:

- 1) Perforación en formaciones muy duras y que se hallan a poca profundidad, donde no es posible aplicar mucho peso sobre la broca por falta de espacio suficiente para colocar el número de "Botellas" necesario.
- 2) Perforación en formaciones con tendencia a desviarse
- 3) Perforación en zonas muy abrisivas, a cualquier profundidad que ellas se encuentren.
- 4) Perforación en zonas duras, con equipo pequeño, que no puede cargar gran cantidad de botellas.

Equipo

El "Hammerdrill" consiste en un aditamento especial, que se coloca entre la última botella y la broca.

El "Hammerdrill" está compuesto por (ver figura 27)

- a) Pistón o "martillo" que se desplaza dentro del
- b) Cilindro o "Hammer case"
- c) Válvulas de operación (finger valves)

El desplazamiento del "martillo" dentro del cilindro se efectúa por acción del aire y juego de las válvulas. El trabajo de las válvulas consiste en detener y dejar pasar el aire a través de la broca, mediante



Figura N° 27

lo cual, el pistón golpea contra la broca en forma rapidísima y continúa, de 1000 a 1800 golpes por minuto.

Se usan brocas convencionales (cortándoles la parte central) o brocas especiales del tipo "X - Head Bit" fabricadas por la Mission.

El peso que se aplica sobre la broca, cuando se usa broca convencional varía entre 5000 y 10,000 libras y en una broca de tipo especial solamente de 4000 a 6000 libras. La velocidad de rotación varía entre 20 y 40 revoluciones por minuto. Los compresores utilizados deben ser capaces de operar en forma continua a 350 libras por pulgada cuadrada.

Además es necesario contar con aire completamente limpio, al que se le agrega aceite para que lubrique el mecanismo del "Hammerdrill"

Es muy útil para prospecciones sísmicas, donde, debido a la capacidad del equipo y a la poca profundidad del hueco no es posible aplicar mucho peso. Además es muy útil en zonas en las que es muy difícil obtener agua para el barro.

C A P I T U L O VIII

DE SEGURIDAD

Siendo la perforación con aire bastante peligrosa, deben tomarse todas las medidas de seguridad posibles, e instruir convenientemente al personal sobre el particular.

Las normas de seguridad las podemos dividir en:

- 1) Normas de Seguridad del personal
- 2) Medida de seguridad del equipo
- 3) Medidas de seguridad para la manipulación de los productos químicos empleados en la operación.

Medidas de seguridad del Personal

- a) Todo el personal debe conocer perfectamente su trabajo y debe estar atento en todo momento, de allí la preferencia en el empleo de personal especializado.
- b) Se debe contar con supervisores a tiempo completo en el pozo, sobre todo en pozos exploratorios.
- c) El personal no debe usar llamas descubiertas cerca del equipo.
- d) Mantener en buen estado el lodo (suficiente cantidad) y las bombas para cualquier caso de emergencia en que sea necesario su empleo.

Medidas de Seguridad del equipo

- a) Colocar la línea de desfogue en la dirección del viento y a una distancia prudencial del equipo.

- b) En cada viaje se deben chequear las válvulas que se encuentran en la "sarta de perforación".
- c) Chequear constantemente los medidores de flujo y de presión
- d) Que no halla ninguna fuga ni en las llaves ni en las líneas
- e) Chequear y lubricar constantemente los "cauchos" del impide reventones rotativo.
- f) El castillo o mastil se debe centrar lo mas perfectamente posible para evitar que el impide reventones se desgaste en un solo lado y halla fugas de aire por el.

Medidas de seguridad para la manipulación de productos químicos

- a) Todo el personal que deba trabajar con productos químicos irritantes debe estar provisto de guantes, mamelucos de jebe, lentes y máscara, sobre todo cuando se utiliza Tetrafluoruro de Silice.
- b) Después del uso de Tetrafluoruro de Silice para cerrar una arena de agua se debe lavar con agua con cal todas las líneas y equipo antes de ser desarmado por el personal.
- c) En caso de accidente con estas sustancias (quemaduras, asfixia, etc.) se debe enviar inmediatamente al médico a la víctima.

Todas estas medidas de seguridad son complementarias de las normas corrientes de seguridad empleadas en la perforación con lodo.

C A P I T U L O IX

APLICACION DE LA PERFORACION CON AIRE EN LOS CAMPOS PETROLIFEROS PERUANOS

La aplicación de la perforación con aire en el Perú está supeditada a los resultados que se obtengan después de hacer un estudio de las diferentes zonas y sus posibilidades.

Sin embargo con la información actual se puede adelantar algo sobre las posibilidades de éxito. Para analizar dichas posibilidades dividiremos las áreas en estudio según las siguientes zonas:

- 1) Nor Oeste Peruano
- 2) Oriente Peruano
- 3) Otras Areas

Nor - Oeste Peruano

Debido a la gran cantidad de fallas que atraviesan el subsuelo del NorOeste del Perú y lo variado de su litología (ver cuadro XII) podemos considerar esta área como de "exelentes perspectivas" para la perforación con aire. Como sabemos, la perforación con lodo tropieza con la gran dificultad que presente el continuo y desordenado cambio de litología del subsuelo. Así por ejemplo al elegir el tipo de broca a usarse existe el problema de que si se usa una broca para terreno duro (dientes pequeños) ésta se "empaqueta" y no corta al atravesar aunque sea una pequeña porción de greda y si se escoge una broca para perforar en terreno blando (dientes grandes) en cuanto

se atraviesa una formación que tenga arenisca y conglomerados, aunque sea en tramos, se "planta" y no corta más, por lo que es necesario cambiarla.

Por otro lado los problemas de desviación pueden ser reducidos, pues, perforando con aire, se alcanzan avances mucho más altos que la perforación con lodo aun con pesos sobre la broca menores.

Por supuesto que primero es necesario hacer un programa de prueba. Hace algunos años la "International Petroleum Co." llevo a cabo en el NorOeste del Perú un programa de prueba, con resultados muy satisfactorios en cuanto a avances y pies perforados por broca, pero, desgraciadamente, con muy malos resultados en lo que respecta a la operación completa. Asi fué como la gran mayoría de los pozos perforados con aire (aprox. el 80%) tuvieron que ser convertidos a perforación con lodo, debido a: fallas en el equipo, peligro de incendio, y principalmente a la imposibilidad de poder controlar el agua y el aceite que entraba de la formación al pozo ocasionando "derrumbes" y "tuberías atascadas".

El motivo de este fracaso se puede atribuir a:

- 1) La falta de técnica especial para perforar en zonas con invasión de agua y arenas húmedas. Esto debido a que los productos químicos y los procedimientos para "cerrar arenas de agua" no estaban tan desarrollados como hoy día.
- 2) El equipo de compresores era demasiado pequeño, por lo que no se contaba ni con el volumen ni con la presión suficiente para limpiar el pozo de acuerdo al alto avance de perforación.

Hoy día con el desarrollo de la técnica moderna especializada en "cerrar arenas de agua" y combatir arenas húmedas, y además contando con un equipo de compresores y Boosters con una capacidad que este de acuerdo a la profundidad de los pozos y sobre todo al avance que se espera obtener estimamos que sea posible, sino una aplicación directa, por lo menos un programa de prueba que cuente con elementos mas seguros para el éxito que antes.

Para poder llevar a cabo este programa se puede recurrir a alquilar un equipo de aire (compresores y boosters) una vez que se hayan clasificado las zonas según su presión, producción de agua, cantidad de gredas hidratables, presión, etc.

Para darnos una idea del costo de un programa de prueba, podemos recurrir, primero a la tabla adjunta (Tabla ~~XI~~-A) que nos dá los precios de alquiler de las distintas compañías. Se debe observar que algunos precios son mucho mas altos que los otros, debido a que incluyen supervisión, tales como las compañías "Technical Well Completions" y la "Technical Air Drilling". Por lo que consideramos que por Tres millones seiscientos mil soles se puede alquilar un equipo apropiado (sin supervisión) por un año. Ahora bien, el programa de perforación se haría ciñéndose al programa normal de perforación, escogiendo de él los pozos que deben ser perforados con aire, tratando que ellos nos den la mayor y mejor información posible, para lo cual se escogerían los pozos que se van a perforar en las áreas que se estima que tengan posibilidades de éxito, y de diferentes profundidades.

Durante el año se podría hacer como mínimo los siguientes pozos (poniendo el equipo de aire en equipos de perforación de diferentes

T A B L A XI-A

<u>Compañía</u>	<u>Compresores</u>	<u>Costo por día por unidad en soles</u>	<u>Presión Máxima de Trabajo</u>
Wellsite Air Service	Joy-Tornado	1,500	350 - 1500 (3 unidades)
	Ingersoll-Rand	1,900	300 (2 unidades)
Well Completion In Corp.	Joy Tornado	4,500	350 - 1500 (3 unidades)
Technical Drilling Service Inc.	Gardner-Denver	7,500	350 - 1500 (3 unidades)
Air Drilling Service	Gardner-Denver	3,750	350 - 1500

tamaños pero con las mismas cuadrillas de obreros).

- 3 Pozos de 9000 pies o más
- 3 Pozos de 8000 pies
- 2 Pozos de 6000 pies
- 2 Pozos de 4000 pies o menos

Dentro del último grupo se podría probar en áreas con pérdida de circulación, zonas depletadas en las que se desea probar hasta que grado el lodo contamina las formaciones, en pozos de recuperación secundaria, (para inyección de agua) etc.

Con ello haríamos una prueba de la perforación con aire con algo menos de cuatro millones de soles (aparte de los costos normales de perforación que deben ser gastados de todas maneras para perforar los pozos programados) lo que debe ser cubierto totalmente con la ventaja en avance de la perforación con aire con respecto a la perforación con lodo. Si obtenemos el éxito que calculamos en el capítulo VI, aunque sea en el 50% de los pozos habremos pagado con creces el gasto del alquiler del equipo de compresores y Boosters, razón por la que se justifica esta inversión.

Desgraciadamente para llevar a cabo esta prueba piloto es necesario que se salven ciertos inconvenientes, (que mas que nada dependen del tiempo) como son:

- 1) Actualmente no se está perforando ni mucho menos produciendo de pozos muy profundos (mas de 9000 pies) que es donde la perforación con aire presenta gran ventaja sobre la de lodo.

2) Como hemos comentado líneas arriba sería necesario tomar pozos del programa normal de perforación, a fin de no elevar los costos del programa piloto, y para ello sería menester que dentro del programa de perforación normal estuviesen incluidos una gran cantidad de pozos profundos (mas de 9000 pies).

Por lo tanto creemos que esta prueba solo será posible, cuando las arenas profundas (9000 pies o mas) sean probadas como buenas productoras, toda vez que no podemos hacer una prueba piloto en base a pozos exploratorios, puesto que estaríamos aumentando el riesgo y costo del mismo.

Oriente Peruano

La selva es quizá uno de los lugares que requiere mayor atención en cuanto a reducción de costos de perforación, pues debido a las dificultades que presenta la naturaleza y al gran volumen de perforaciones que se deben hacer (en busca de reservas necesarias para justificar la gran inversión que se requiere para poner en producción esa zona). Cualquier reducción, por pequeña que sea, que se haga en el costo del pie perforado, redundará en una ~~economía~~ ~~economía~~ cuantiosa en el total. Por otro lado, es sabido, que en la selva, debido a las dificultades que presentan las lluvias torrenciales solo es posible trabajar en la "época seca" por lo que si se acelera las operaciones de perforación se tendrán los resultados de exploración más rápido.

TABLA XII

CUADRO LITOLÓGICO GENERALIZADO DEL NOROESTE DEL PERU

	I.P.Co.	Espesor	IPC-CPL	EFF (Los Organos)	Lotología	
Ceno	Tablazo	250'	Tablazo	?	Arena-Conglomerado y greda.	
	Superior	¿ ? 1000'	Carpitas	?	" "	
Ceno	Inferior	¿ ? 1900'	Mancora	?	" "	
Terciario	Superior	Cone Hill	2100	Petacas		Greda
		Mirador	2300	"		Conglomerados y areniscas.
		Chira	1700	Chira		Greda
		Verdun	2000	Verdun		Arenisca y greda
		Pozo	1400	Pozo		Greda
	Talara SS.	1800	Talara SS.		Arena	
	Medio	Greda Talara	6200	Talara Shale	Pozo Brecha	Lutitas Gris
		Conglomerado Lomitos			Arenisca Talara	Areniscas y Calizas
					T. Superior	Arenisca y Silt
	Inferior	Chacra Pariñas Palegreda	5000' 1300' 3900'	Echyno Clavel Ostrea	T. Medio	Lutitas
T. inferior					Lutitas	
Nuro superior					Arenas y areniscas	
				Nuro inferior	Lutitas y arenas	
				Quemada	Lutitas y Silt	
Paleo	Salina/Mogollon Balcones	4500 5000	Salina/Mogollon Balcones	Patria	Greda arena y areniscas.	
				Chacra	Lutitas y Silt	
				Pariñas Pale Greda Salina Mogollon	Arenas sucias Lutitas y areniscas Arenisca y Conglomerados	
Cenozoico Superior	Petacas Redondo	2200 2800	Lagoon Redondo		Greda y arenisca Greda y conglomerado	
	Muerto	¿ ?	· ?	?	Calizas	
Cenozoico Medio	Amotape	¿ ?	Amotape	?	Cuarcitas y Filitas	
	Aceite					

En base a estas ventajas se puede confeccionar un programa de "prueba" de perforación con aire, percusión, y lodo aireado, a fin de encontrar el método mas conveniente para el área.

Otras Areas

Estimamos que para prospecciones geofísicas, y pozos exploratorios se puede utilizar el equipo de aire, sobre todo el de percusión neumática, pues con equipos pequeños se puede llegar a mayor profundidad que con lodo, pues se utiliza mucho menor número de "botellas" en la sarta de perforar. Además en zonas en las que escasea el agua (desiertos) para el lodo la perforación con aire puede rendir muy buenos resultados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se puede pensar en la aplicación del aire como fluido de perforación en cuanto se conozcan perfectamente los reservorios profundos (9000 pies).
- La perforación con aire, en áreas en que es posible llevarla a cabo, es mucho mas económica que la perforación con lodo.
- Su uso está limitado por la presión de las formaciones y por el alto flujo de agua de la formación al pozo.
- El costo inicial del equipo es alto, pero puede pagarse con creces con un programa amplio de perforación.
- Tanto el equipo como los productos químicos empleados para cerrar zonas de agua y combatir las arenas húmedas están en constante mejoramiento y a medida que la demanda aumenta la calidad mejora y el precio tenderá a bajar.
- Además del factor económico, la perforación con aire sirve para atravesar zonas en que no es posible utilizar lodo (zonas depletadas y zonas con pérdida de circulación excesiva).
- La imposibilidad o el éxito de la perforación con aire solo se puede determinar después de hacer una prueba experimental en el campo, dicha prueba consistiría en pozo "claves" diseminados en todas las áreas con "posibilidades favorables" para perforar con aire y que cuenten con pozos perforados con lodo a fin de poder comparar la eficiencia y economía.

El empleo de métodos especiales, como la percusión neumática, y el fluido aireado solo es posible probarlo si se cuenta con experiencia en la perforación con aire.

Recomendaciones

- Hacer un estudio de todas las áreas con posibilidades petrolíferas profundas (9000 pies) clasificándolas como sigue:
 - A) Areas de Baja presión
 - B) Areas de presión moderada
 - C) Areas de Alta presión
 - D) Areas con arenas húmedas y flujo moderado de Agua (subdivididas a su vez en zonas de baja, media y alta presión)
 - E) Areas con arenas húmedas y alto flujo de agua (Presión: baja, media y alta).
 - F) Arenas con gran flujo de agua y además con gredas hidratables (Presión: baja, media y alta).
- Confeccionar un programa piloto de perforación en cada una de estas áreas, a fin de determinar en el terreno las conveniencias e inconveniencias del sistema.
- Agotar todos los medios conocidos para perforar en zonas que presentan dificultades, ya sea usando aire solo, con lodo aireado, perforación por percusión, espumantes, etc., antes de descartar una área y considerarla inapropiada para la perforación neumática.
- Todo este trabajo debe hacerse de preferencia con equipo alquilado.
- Una vez clasificadas las zonas, en el terreno, con posibilidades,

hacer un estimado (forecast) de las perforaciones a efectuarse con aire, por lo menos en cinco años, a fin de decidirse por la compra o el alquiler del equipo.

- Probar todas las nuevas técnicas y variantes de la perforación con aire que vayan saliendo y que tengan aplicabilidad en la zona.

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

- "Phillips Tests and Air and drilling" de "Oil & Gas journal" (Part 1, Enero, 24, 1955 pag. 82-87) por Bobo, Roy & Drusby, S. George y R.S. Hock.
- "Advances in Air drilling during 1958" por F.W. Smith (Technical Drilling Services Inc.) API paper No. 906-4F.
- "Drilling with Air and Natural Gas" por: L.S. Fuller API paper No. 901-30 - G. 1954.
- "An Analisis of Air Drilling" por Gordon Jackson API paper No. 801-35A, 1959.
- "A Water "Shut of" method for Sand Tope porosity in Air drilling" AIME paper 1098-G, Oct. 1958.
- "Combating wet formations while drilling with Air or Gas" por B.V. Randall; J.J. Lummus y R.P. Vincent. (The drilling Contractor Oct. 1958 pags. 69-80).
- "Solids Injector for Air and for Drilling" por B.V. Lummus y R.P. Vincent (Petroleum Engineer pp. B-108-109 Diciembre, 1958).
- "Efforts to Develop improved oil well drilling methods" por L.W. Ledgerwood Jr. (Journal of Petroleum Technology, Abril 1960).
- "How to evaluate Cuttings in Air and Gas Drilling" por H. Fred Downs, (Technical Drilling Services, world oil Oct. 1959).
- "Logging economic and cost reduction" Jersey Production research, Julio 1959 por K. W. Crumrine y H.M. Johnson.
- "Water Shut off treatment for Air and Gas Drilling" por Charles & Sufall y E.O. McGree (oil and gas journal, Diciembre, 1959, Vol. 57, N-50).

- "Operated Rotary - Percussion Drilling tool" AIME paper No.1286
- "Safety presentation and Recommendation used in Air drilling of oil wells" Boletin No.152 de la Well Completion Inc.
- "Interpretation of Radioactivity logs in gas drilled wells" por Dan H. McLendon, (The Petroleum Engineer, Oct. 1956).
- "Oil Well Drilling Technology" por McCray & Cole University of Oklahoma, 1959.
- "Air Drilling" por Janes T. Morris y Robert P Raunsey (World Oil Dic. 1956).
- "Application of Gas Drilling Technique to the Completion and workover of California Oil Wells" API paper No. 801-35 E.
- "A Study of seismic shot that hole drilling fracture" por Murray A.S., McKay S.P y Cooper John.
- "Development and field use of a High Frecuency Gas" por Howerd G.C., Vincent R.P., L.B. Wilder.
- "Volume Requirements per Air or Gas Drilling" por R.R. Angel, Phillips Petroleum Co., Houston. (Aime paper No. 873-G).
- "The Cutting carrying capacity of Air at Pressures above atmospheric" por Kenneth & Gray (Aime paper No. 874-G).
- "Density of Drilling Muds reduced by Air injection" por F.H. Poettman & W.E. Bergman (World Oil Agosto, 1955).
- "Howco-Sorb" Technical date sheet: Halliburton Oil well cementing Co. (Mayo 1959).
- "Air and Gas drilling" por Nicholson, K.M. (The Petroleum Engineer, 1954).
- Gardwer Denver "Air Drilling Compressor Guide"