LECCIONES DE PERFORACION ROTATORIA
UNIDAD I, LECCION 10
"SEGURIDAD EN EL EQUIPO"

K/P1/31

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

IMP

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

INDICE DE MATERIAS

UNIDAD I

EL EQUIPO Y SU MANTENIMIENTO

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD I • LECCION 10

SEGURIDAD EN EL EQUIPO

Reproducción No. 762160

1 9 7 6

Este manual es traducción de la Serie titulada Rotary Drilling, Unit I Lesson 10, Safety on the Rig, editado por Petroleum Extension Service, The University of Texas Division of Extension, Austin, Texas, en colaboración con la American Association of Oilwell Drilling Contractors, quien concedió la autorización correspondiente al Instituto Mexicano del Petróleo, en fecha 15 de abril de 1969, para su traducción y edición en español. El Instituto Mexicano del Petróleo agradece dicha colaboración.

P R O L O G O

El Comité de Educación y Capacitación de la Asociación Americana de Contratistas de Perforación de Pozos Petroleros, es el patrocinador de cuatro unidades de material elemental de capacitación sobre la perforación de pozos petroleros y gas. Su estudio representará aproximadamente cuatro años en la casa, aun cuando muchos podrán completarlo en menos tiempo.

Esta es la Lección 10 de la Unidad I.

La lista completa de las diez lecciones que formarán la Unidad I, está impresa en el interior de la pasta anterior de este folleto.

El objetivo de la Lección 10 ha sido orientar al novato en la situación del trabajo que encontrará en un equipo de perforación. Mientras que es demasiado breve para dar mucha información específica sobre la seguridad en el equipo, esta lección deberá ser útil para señalar a la atención del nuevo hombre en la cuadrilla, el hecho de que hay fuentes de esa información que puede obtener con facilidad.

Los patrocinadores comprenden que la mayor parte del aprendizaje de la gente que trabaja en la industria de la perforación, necesariamente se adquirirá trabajando. Se espera que estas breves notas en lecciones impresas le ayudarán al nuevo trabajador a iniciarse en este trabajo y así expeditar el proceso de aprendizaje.

El Comité de Educación y Capacitación, tendrá a la mano sugerencias sobre la mejor manera de usar estas Lecciones. La AACDPPP también podrá suministrar materiales suplementarios en forma de películas, guías de estudio, otras publicaciones y cosas de esta índole.

Todas las empresas interesadas quedan totalmente comprometidas con el propósito de hacer que el estudio del trabajo vital de perforación de pozos de petróleo y gas, sea lo más remunerador posible para el usuario de las lecciones.

John Woodruff, Director Asociado
Servicio de Extension Petrolera
Universidad de Texas

Austin, Texas
Marzo de 1967

Contenido

Página

PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD I • LECCION 10

SEGURIDAD EN EL EQUIPO

INTRODUCCION

¿POR QUE SEGURIDAD?

Seguir las reglas y prácticas de seguridad es forzoso en el negocio de la perforación. La importancia de medidas protectoras en los equipos de perforación y sus alrededores no puede acentuarse demasiado.

La seguridad, por supuesto, es importante en todos los actos de la vida. Es algo de lo que estamos conscientes, sin importar lo que hagamos durante nuestras vidas. Es importante en el hogar, en el trabajo o en el juego, en las calles y los caminos, dondequiera que vayamos.

La seguridad se acentúa mucho más en relación con un equipo de perforación, porque la perforación es un asunto peligroso. Es un negocio productivo para los que les gusta y crecen con él con seguridad día con día. El personal de perforación debe saber cómo trabajar con seguridad en un equipo, a fin de protegerse y cuidar del equipo costoso que manejan. Generalmente, están invertidos varios cientos de miles de pesos en un equipo de perforación del que se depende para "hacer agujero" eficiente y con objeto de hacer dinero.

La perforación es un negocio muy competido, con un esfuerzo constante para ahorrar tiempo valioso que representa un gasto considerable para el contratista de perforación y para su cliente, el operador. Las cuadrillas de perforación deben ser tan rápidas y eficientes como sea posible, pero la velocidad y la eficiencia también requieren prácticas seguras de operación, ya que los accidentes y la falta de precauciones de seguridad pueden ser sumamente costosos —no sólo en lesiones y equipo dañado o perdido—, sino en pérdida de vidas.

Todo el mundo pierde con un accidente. Las lesiones no sólo producen dolor y sufrimiento, sino que pueden dejar a un hombre inválido o incapacitado para el resto de su vida. Aún las lesiones pequeñas pueden causar pérdida de tiempo en el trabajo y pérdida de la paga. Por supuesto, la familia del hombre también sufre. Aun cuando los beneficios del seguro son útiles, éste no repondrá una vida o una mano, un ojo o una pierna una vez que se ha perdido.

La cuadrilla de perforación que interviene no puede ser igualmente eficiente después de un accidente, ya que cada miembro funciona como una parte del grupo. Cuando un hombre pierde de pronto su lugar en el grupo y falta por lesiones o muerte, esto afecta la moral y la eficiencia del resto de la cuadrilla y tiende a retardar las costosas operaciones del equipo.

Con seguridad, también la gerencia de la firma de perforación pierde con un accidente.

Los gastos continúan cuando un accidente es la causa de que cesen las operaciones de un equipo. Todo accidente con pérdida de tiempo afecta las primas del seguro del equipo. El contratista paga "buen dinero", tanto para asegurar el equipo de perforación, como para asegurar al personal de la cuadrilla, debido a la naturaleza peligrosa del negocio. Cuando ocurren accidentes, sus costos de seguro suben —debe pagar más por sus seguro—, debido a las pérdidas que han ocurrido.

Se entiende que los demás pierden por los accidentes. Los operadores prefieren emplear contratistas que tengan buenos registros de seguridad, porque esto, generalmente, significa que se puede depender de las cuadrillas para hacer un trabajo de perforación bueno y seguro. Una firma de perforación debe tener un buen registro de seguridad, con objeto de ser competente y sacar provecho que beneficie a todo el personal. Así, el hombre del equipo tiene una mayor oportunidad de mejorar si evita cualquier clase de accidente, tanto en el trabajo, como fuera de él.

A medida que ocurren los ascensos —de ayudante de piso a "chango", motorista, perforador y jefe— las responsabilidades de seguridad crecen. Esto significa que la supervisión de seguridad de los otros sea de la mayor importancia, especialmente porque las operaciones de perforación deben continuar las veinticuatro horas en toda clase de condiciones climatéricas en diferentes localizaciones, en tierra y mar adentro casi en cualquier parte del mundo. Es bien sabido que el perforador es responsable de su propia cuadrilla en las operaciones de perforación. Esta supervisión, incluyendo las instrucciones de seguridad, se extiende hasta el jefe de perforadores, el superintendente de perforación, el director de seguridad o supervisor responsable del programa general de seguridad y todo el personal de la gerencia. Al practicar la seguridad, uno debe pensar continuamente en los demás, así como en uno mismo.

LA GENTE HACE LA SEGURIDAD

Más del 90 porciento de los accidentes que ocurren se pueden evitar. Estos accidentes son causados por errores humanos de alguna clase, no por fallas mecánicas. Esto significa que la gente es responsable de casi todos los accidentes que suceden.

Por ello, es muy importante que todo el personal desarrolle un "sentido de responsabilidad y seguridad" íntimo en las operaciones de perforación, y aplique este buen sentido con el mismo buen juicio que se necesita para manejar un automóvil o hacer muchas otras cosas. Esto requiere un mejoramiento de uno mismo, educación de seguridad y prácticas seguras de operación, con objeto de realizar la protección del equipo de perforación y especialmente, los hombres que se requieren para manejarlo.

Todo el mundo se beneficia cuando se evitan los accidentes.

EL "GRUPO" DE SEGURIDAD

EL NOVATO EN LA CUADRILLA

El novato en la cuadrilla rápidamente pasa a formar parte del "programa de seguridad" de la compañía, ya sea que se dé cuenta o no. La seguridad, generalmente, se organiza dentro de una compañía en forma de un "programa" de alguna clase. No importa qué tan formal sea el programa, existe el hecho de que todos intervienen en él, desde los altos funcionarios, hasta el último trabajador.

Por supuesto, la gerencia de administración es responsable de la forma en que se organiza un programa de seguridad y cómo opera. Si incluye un director de seguridad o un supervisor, ese individuo tiene una posición de mucha responsabilidad y "habla con autoridad" en representación de la gerencia. Todos los supervisores de campo —el superintendente de perforación, jefe de perforadores y perforadores— son de hecho supervisores de seguridad, ya que son responsables del comportamiento de la gente a sus órdenes.

Es un hecho permanente que todo el personal es responsable de la prevención de accidentes. Es bueno tener presente que la gerencia no quiere que nadie se lesione. Esto es cierto desde un punto de vista humanitario y por el hecho de que un registro de seguridad notable de la compañía significa primas de seguro reducidas y una reputación saludable y competente para la compañía. Esto ayuda a mantener ocupados los equipos, asegurando así un empleo fijo y mejores oportunidades de ascender. En más de una forma, la seguridad es un asunto muy serio.

Por lo tanto, realmente "da resultado" tener un buen principio como hombre nuevo en la cuadrilla, con la disposición apropiada de "seguridad" en mente. Obedeciendo las reglas de seguridad y aprendiendo a practicar los procedimientos seguros de operación del equipo, desde el principio, el trabajador desarrollará hábitos automáticos de seguridad que lo protegerá y beneficiará a sus compañeros de trabajo y a la compañía.

La mayor parte del "papeleo" que se requiere para darle trabajo a un hombre en un equipo de perforación, se refiere al propio bienestar del hombre y a su registro de seguridad personal. Antes de emplear a un hombre, se espera que el perforador verifique sus antecedentes, su empleo anterior y su registro de seguridad. Con esta información, el perforador puede determinar si un novato en la cuadrilla trabajará bien con los otros y hará un buen miembro del "grupo" o si es probable que sea descuidado, indiferente, propenso a los accidentes o posiblemente con "complejo de reclamación". Si un novato pasa su inspección será empleado, siempre que pase su examen médico. Además, deberá estar en buenas condiciones físicas y mentales, antes de ir a trabajar en el equipo.

Es muy importante que el nuevo trabajador reciba una supervisión apropiada en sus nuevas tareas y que reciba instrucciones sobre el procedimiento correcto y las medidas de seguridad necesarias. Las firmas de perforación, generalmente, tienen instrucciones impresas y reglas generales de seguridad que hay que continuar. El novato deberá aprender estas reglas e instrucciones y preguntar acerca de sus obligaciones si no las entiende.

En la mayoría de los casos, el nuevo trabajador trae su propio casco de seguridad y zapatos con protectores. Otros artículos, como guantes, gafas y un numeroso equipo de primeros auxilios lo suministra la compañía.

EL CONTRATISTA DE PERFORACION

El contratista de perforación, como cabeza de la operación de perforación, establece la política de la compañía perforadora y también "fija el patrón" o manera en que se llevará al cabo el programa de seguridad por conducto de los diversos supervisores del campo. El éxito del programa depende en gran parte del interés activo y personal del contratista. El mejoramiento del registro de seguridad de su compañía, deberá ser una preocupación diaria para él, junto con asuntos de costo, velocidad de perforación y eficiencia en general.

Las responsabilidades del contratista sobre seguridad, incluyen:

1.— Proporcionar equipo y herramientas de perforación seguros, incluyendo guardas mecánicas y condiciones seguras de trabajo.

2.— Promoción de prácticas y procedimientos seguros de operación.

3.— Mantener un sistema de mantenimiento e inspección del equipo, aparatos y herramientas.

4.— Instrucción apropiada de seguridad, educación y capacitación del personal del equipo.

5.— La supervisión correcta por medio del director de seguridad, superintendentes, jefes de perforadores y perforadores del desarrollo de los requisitos del programa de seguridad.

6.— Investigación de cada accidente e informar a las autoridades correspondientes de las lesiones.

7.— Hacer listas del interés y apoyo de todo el personal para mejorar el registro de seguridad de la compañía y evitar accidentes como sea posible.

La administración de una firma de perforación, con frecuencia incluye dos o más dueños o socios que participan de la responsabilidad del contratista de dirección ejecutiva y administrativa. La "oficina" del contratista está compuesta por un presidente, probablemente más de un vice–presidente, un secretario–tesorero, un gerente de la oficina o un oficinista en jefe, un contador y personal profesional especializado que puede incluir un director o ingeniero de seguridad, un ingeniero de perforación y un representante del contrato. Con frecuencia, uno de estos hombres es un geólogo o tiene calificaciones de ingeniería.

Este grupo del "contratista" por lo general se dedica a la supervisión general y a la operación de todos los equipos de perforación de la compañía, sin importar dónde se encuentran localizados o cuál sea su estado de operación. Es obvio que el director de seguridad tiene la responsabilidad de la seguridad, pero también es cierto que todos los miembros de este grupo administrativo tienen participación en el éxito del programa de seguridad de la compañía.

EL SUPERINTENDENTE DE PERFORACION

El superintendente de perforación es el hombre clave que representa al contratista o la superioridad de la gerencia en el campo. Supervisa las operaciones de varios equipos, por lo común en un área general, incluyendo el comportamiento del jefe de perforadores, cuadrillas de perforación, mecánicos, soldadores y otro personal de campo. Esto también incluye las operaciones de almacenes y patios y el trabajo de los subcontratistas empleados por la firma de perforación. El superintendente se mantiene en estrecho contacto con el dueño o con los hombres que trabajan en las operaciones de la compañía petrolera. Entre otras cosas, debe observar que las funciones de seguridad se llevan al cabo por el personal a sus órdenes y que la prevención de accidentes es una práctica de rutina.

La responsabilidad del superintendente de perforación en seguridad, incluye:

1.— Poner el ejemplo a los jefes de perforadores y a las cuadrillas, practicando lo que la gerencia predica en el programa de seguridad. Esto incluye: usar casco protector cuando esté en el equipo, participar en algunas de las juntas de

seguridad en el lugar de trabajo y en las grandes juntas de la industria en las que puede aprender de la experiencia de otros y regresar con información valiosa y "sugerencias" que servirán para mejorar el programa y registro de seguridad en la compañía.

2.— Informar al jefe de perforadores a sus órdenes de las características de seguridad y cuidado protector de varios componentes del equipo y las prácticas de seguridad necesarias implicadas.

3.— Trabajar con el director o ingeniero de seguridad para mejorar constantemente los procedimientos, diseños y el equipo.

4.— Exigir que los jefes de perforadores mantengan una inspección mensual para que se puedan localizar y eliminar los riesgos.

5.— Revisar y ver que se cumplen las normas de seguridad, siempre que hay cambios en el equipo y los procedimientos.

6.— Ver que los jefes de perforadores sean responsables de capacitar perforadores y cuadrillas del equipo e incluyan la instrucción de seguridad necesaria en esta capacitación.

7.— Asegurarse de que los jefes de perforadores saben con qué doctor ponerse en contacto en casos de accidentes y de que se obtengan buenos exámenes físicos cuando se emplea un hombre nuevo.

8.— Investigar en todos los accidentes serios con el jefe de perforadores.

9.— Conocer las compañías de seguros y sus representantes e informar directamente por teléfono al ajustador apropiado cualquier accidente que requiera atención inmediata.

EL JEFE DE PERFORADORES

El jefe de perforadores es muy importante en el programa de seguridad, debido a la estrecha y directa supervisión de los perforadores y las cuadrillas en los equipos que supervisa. Es responsable ante el superintendente de perforación de todos los detalles de las operaciones de perforación. Estas incluyen las prácticas de seguridad requeridas para todo el personal en el faro y las condiciones seguras de trabajo del equipo. El jefe de perforadores debe dar un buen ejemplo, como el usar casco de protección, y debe coordinar el esfuerzo de seguridad, de manera que todas las cuadrillas reciban las instrucciones, capacitación y beneficios máximos del programa. Algunas veces supervisa más de un equipo, pero su responsabilidad es la misma para cada uno.

Entre sus tareas de seguridad, el jefe de perforadores:

1.— Efectúa los arreglos necesarios para las juntas de seguridad y asiste cuando le es posible.

2.— Observa que todas las recomendaciones prácticas se ponen en vigor.

3.— Da crédito a los trabajadores por separado cuando informan de condiciones o prácticas inseguras.

4.— Investiga y estudia todos los accidentes y lesiones con el perforador y la cuadrilla que intervino para determinar qué causó los accidentes y para tomar las medidas correctivas necesarias.

5.— Hace un informe mensual de la lista de marcar de la inspección del equipo para el superintendente.

6.— Estudia el manual del jefe de perforadores, con objeto de conservar el equipo y operaciones del faro a la altura de las normas de la compañía.

7.— Observe que todo el equipo de seguridad se encuentre en buenas condiciones, se use correctamente y que se lleven a cabo las prácticas de seguridad recomendadas.

8.— Estimule a los perforadores a emplear trabajadores que se encuentren físicamente en buen estado, que se interesen en la compañía y en el programa de seguridad.

9.— Se asegura de que los perforadores capacitan a todos los nuevos miembros de la cuadrilla en las prácticas seguras de operación como las recomienda la compañía.

10.— Mantiene un tablero de boletines arreglado e interesante con carteles y avisos de seguridad de actualidad.

EL INGENIERO DE SEGURIDAD

El director o ingeniero de seguridad se especializa en el trabajo de seguridad de la firma de perforación, relativo a todas las operaciones del equipo y su personal. La gerencia depende de él para supervisar y coordinar el programa de seguridad de la compañía, con objeto de hacerlo más efectivo. Su supervisión cubre todas las operaciones de la compañía, ya que es directamente el responsable ante el funcionario superior de la administración. Su trabajo cubre todas las operaciones en el equipo y también otros trabajos "de campo" ejecutados por el personal de la firma de perforación en los patios, almacenes, talleres o en operaciones de transporte por camión. Esta supervisión de seguridad abarca considerablemente en el caso de operaciones marítimas, debido al transporte de las cuadrillas en botes a y desde los equipos localizados varias millas mar adentro. Eso sin mencionar las medidas extraordinarias de seguridad que se requieren en cada equipo a distancia de la costa.

El director de seguridad, generalmente, ejerce autoridad delegada a él por la superioridad. Por ejemplo, con su autoridad, puede, si es necesario despedir a un empleado en el acto cuando falla por no seguir sus recomendaciones o no obedecer los controles de seguridad que ha considerado conveniente establecer. Su propia capacitación ha incluido experiencia en el campo o trabajos especiales de ingeniería y seguridad y se le emplea con estas calificaciones de seguridad especiales. La acción que toma se considera que es por el bienestar y seguridad de todo el personal.

Imparte clases de seguridad, da instrucciones individuales sobre procedimientos de seguridad, presta atención personal a los accidentes, investigaciones e informes a la gerencia, inspecciona maquinaria, cables, camiones, motores y otros equipos, trabaja con el superintendente y los jefes de perforadores en cuestiones de seguridad, asiste a conferencias y promueve la seguridad en todas las formas a su alcance.

EL PERFORADOR

El perforador, que trabaja directamente a las órdenes del jefe de perforadores, es responsable del trabajo de la gente de su cuadrilla. A menudo emplea su propia cuadrilla y despide o rechaza a los que no quiere o no necesita. Algunas veces emplea los miembros de su cuadrilla sujetos a la aprobación del jefe de perforadores o del superintendente de perforación.

Su cuadrilla, generalmente, consiste de un "chango", dos ayudantes de piso y un motorista. El perforador opera los controles del malacate y requiere una considerable experiencia, conocimientos de perforación y criterio para ser responsable de las operaciones de perforación durante su turno de ocho horas o guardia de esa duración. Cada equipo terrestre tiene tres turnos de ocho horas por día, con tres cuadrillas diferentes. Sin embargo, los turnos varían en duración en ciertas áreas y en especial en equipos de mar adentro, donde las cuadrillas permanecen de guardia durante periodos más largos, pero también descansan periodos más largos en tierra.

Desde un punto de vista de seguridad, se puede observar lo importante que es el perforador para el programa de seguridad, ya que es el más allegado y el supervisor más directo de la gente en el equipo. Un buen perforador tiene toda la razón para ser consciente de la seguridad, puesto que trabaja con su propia cuadrilla y debe vigilar que cada miembro trabaje con seguridad, no sólo como individuo, sino como miembro del grupo. Su responsabilidad de la seguridad, incluye lo siguiente:

1.— Emplea gente experimentada, si es posible, que estén sanos, alertas, agresivos y ambiciosos.

2.— Observa que todos los novatos se capaciten en los procedimientos de operación de la compañía y su política. Esto incluye una explicación del programa de seguridad y hacer que la gente tenga conciencia de seguridad desde el principio.

3.— Se asegura de que un hombre nuevo conozca cuáles son sus obligaciones antes de que empiece a laborar.

4.— Observa que se cumplan todas las instrucciones del jefe de perforadores.

5.— Toma las medidas necesarias para corregir las condiciones peligrosas y las prácticas incorrectas.

6.— Ve que los dispositivos protectores estén en buenas condiciones y que se utilicen cuando se necesiten.

7.— Estimula a los miembros de la cuadrilla a intercambiar sugerencias de seguridad y mostrar interés en la seguridad.

8.— Desarrolla prácticas correctas de trabajo para los miembros de la cuadrilla, evitando procedimientos peligrosos.

9.— Observa que el trabajo de la cuadrilla sea ordenado, evitando así condiciones peligrosas.

10.— Entrena a uno o más de los miembros de su cuadrilla a hacerse cargo del trabajo de perforador en caso de que lo asciendan.

11.— Investiga todos los accidentes y los informa al jefe de perforadores, cualquiera que sea su naturaleza o a quien se deba culpar.

12.— Siempre tiene en mente la seguridad de su cuadrilla y pone el buen ejemplo: usando su casco protector, zapatos con punteras duras y la ropa apropiada. No trabaja el equipo más aprisa de lo que lo pueda hacer el hombre más lento de la cuadrilla o le asigna un trabajo peligroso a un miembro que no ha tenido suficiente experiencia para desempeñarla.

CONSEJOS ACERCA DE LA SEGURIDAD PARA EL NOVATO

Como manejar un automóvil, trabajar con seguridad en un equipo es un hecho que consta de dos partes: (1) Cuida lo que está haciendo, (2) Cuida lo que el otro individuo puede hacerle.

Entre las cosas que el novato debe aprender para evitar hacerse daño a sí mismo, están las siguientes:

1.— Asentar o dejar caer un objeto pesado en un pie.

2.— Salpicarse un ojo con lodo cáustico o ácido.

3.— Pegarse en el dedo con un martillo.

4.— Astillarse un ojo con un fragmento metálico.

5.— Lastimarse la espalda por estar mal parado al levantar algo pesado.

6.— Caerse como consecuencia de resbalar en una superficie resbalosa o por tropezarse con alguna pieza de equipo.

7.— Dejar que cuelguen ropas que no ajusten o estén flojas sobre una pieza de equipo móvil.

8.— Dejarse infectar "un rasponcito" descuidado.

9.— Aplastarse una mano o un pie, mientras se lubrica la maquinaria en movimiento.

10.— Finalmente, será útil evitar soñar despierto y otras formas de lagunas mentales durante las cuales la mayoría de la gente es propensa a realizar actos inseguros. En resumen, estar constantemente alerta, dándose cuenta de que está perforando aun cuando la visión imaginaria de la acompañante de anoche sea más interesante.

Con respecto a lo que el "otro individuo" puede hacerle:

1.— El "soñar despierto", mencionado en la partida 10 anterior, está considerado como una garantía de que pasará algo desafortunado.

2.— Como "todo lo que sube tiene que bajar", no descuide al hombre que esté trabajando arriba de usted en la torre. Puede que usted no sea capaz de evitar que se le caiga una herramienta de mano, pero puede "quitarse de debajo".

3.— Los objetos —en su mayoría pesados— siempre se están balanceando arriba del piso de la torre. Tenazas para tubo, tramos sencillos de tubería de perforación, tramos de tubería de ademe y casi cualquier cosa levantada con un cable de izar que no esté detenido o retenido, es capaz de romper una costilla al balancearse. Párese en otro lado que no sea por el lugar donde pasan.

4.— Los cables de acero, cadenas y cables de izar, no siempre resisten el esfuerzo a que se les somete. Tenga cuidado del jalón fuerte. Generalmente, es demasiado tarde para correr después de que ocurre la rotura.

5.— Tiene que suponer que toda máquina que esté trabajando sin carga, arrancará tan pronto como se ponga en una posición en la que pueda mutilarlo. No confíe en que permanecerá parada para usted, a menos que esté controlada. Si tiene dudas, pregunte a su perforador.

6.— Cuidado con el individuo que esté rodando tubería de ademe o de perforación. Esto se refiere a rodar fuera o hacia un camión, así como en los estantes de tubería o tarimas. Cualquiera puede iniciar el gran rodaje —usted no quiere ser el bloque que lo detenga—.

7.— Vigile siempre al hombre que tira cosas. Puede usar una llave de tubería —y tirarla—. En especial, es sospechoso cuando saca los protectores de roscas. Puede dejarlos caer o tirarlos y rebotan o ruedan como locos.

8.— Cuando esté atando o desatando una carga de un cable de izar, tenga cuidado que el operador del cabrestante que levanta esté listo, sin observar si usted está listo o no. No deje que le aplaste una mano de esa manera.

9.— En resumen, no confíe en que el otro individuo va a vigilarlo a usted únicamente. Haga también algo de vigilancia por su cuenta.

Los consejos anteriores sólo son unos cuantos de las muchas cosas que hay que aprender acerca de una conducta segura en el equipo. Pueden servir como un punto inicial y conservarlo entero mientras empieza a adquirir el sentido para trabajar en un equipo.

PARA TODOS LOS MIEMBROS DE LA CUADRILLA

Es muy importante que todos los miembros de la cuadrilla, cualquiera que sea su tarea, trabaje con seguridad a la vez en grupo. Por lo que se refiere a la práctica de la seguridad y la prevención de accidentes, cada miembro de la cuadrilla tiene las siguientes responsabilidades:

1.— Primero; debe conocer su trabajo y las diversas obligaciones conectadas con él. Esto lo hace eficiente, confiado y capaz de trabajar con seguridad.

2.— Constantemente, esté alerta de lo que pasa. Debe poner mucha atención en su trabajo.

3.— Use los dispositivos de seguridad para su protección —gafas, cinturones de seguridad, y las herramientas proporcionadas para cada operación—.

4.— Evite las herramientas desgastadas o defectuosas —deberán informar de ellas al perforador o al supervisor de seguridad—.

5.— Practique la conciencia de seguridad. Cada miembro de la cuadrilla deberá desempeñar su trabajo para evitar lesiones y aprender a anticipar, como cualquiera que se encuentre alrededor, lesiones en el trabajo para que pueda actuar evitando demasiados accidentes.

6.— Actúe como un inspector de seguridad e informe de cualquier condición insegura o práctica peligrosa que observe. (Un miembro de la cuadrilla, probablemente sea la primera persona que observe si algo anda mal).

7.— Aprenda primeros auxilios —para aplicarlos en el trabajo, en el hogar o en cualquiera otra parte—.

8.— Aplique aceite o grasa a la maquinaria únicamente por medio de entradas o graseras colocadas en forma correcta.

9.— Use escaleras o escalones según se indique —no brinque de los pisos de la torre, estantes de tubería, camiones, etc—.

10.— Evite el caminar debajo de tubería de perforación o de ademe cuando se esté transportando al interior de la torre o se esté colocando en estantes.

11.— Recuerde que los juegos de manos están fuera de lugar en un equipo de perforación.

12.— Manténgase físicamente en buen estado, obteniendo suficiente descanso, una dieta apropiada y manteniendo la buena salud física y mental.

13.— Use ropa apropiada para el trabajo, incluyendo casco protector durante todo el tiempo. Varias capas de ropa delgada son mejores que ropa gruesa o pesada. No use ropa suelta o floja que pueda colgar y que pueda atorarse en maquinaria en movimiento. Use los zapatos de seguridad requeridos y use guantes sin guantelete o puños muy grandes. No trabaje con ropa húmeda.

14.— Practique buena limpieza. Conserve todo ordenado. Antes de dejar el trabajo, observe que las herramientas estén en su lugar, en el tablero de herramientas y que la chatarra y basura se retiren.

15.— Estimule al nuevo trabajador de la cuadrilla a que adopte las prácticas seguras de trabajo. Señale cualquier riesgo que se encuentre alrededor del equipo que deba vigilarse especialmente. Asegúrese que un nuevo miembro de la cuadrilla ha recibido instrucciones y que las entiende, antes de empezar a trabajar.

16.— Informe de todas las lesiones de inmediato.

COMO SER UN TRABAJADOR SEGURO

ACTITUD MENTAL APROPIADA

Desde el presidente siguiendo por escalafón hasta el ayudante de piso, se requiere una actitud mental apropiada para un programa de seguridad con éxito. Las firmas de perforación con los mejores registros, son aquéllas con individuos encargados que demuestran mucho interés y guían en la seguridad a su personal y cuidan su equipo. Las firmas con registros malos de seguridad, generalmente, no tienen interés y sus supervisores no son guías.

Mientras es importante tener guardas en la maquinaria giratoria de perforación, también es necesario establecer guardas en la mente de todo el personal de perforación. La seguridad es una campaña interminable en el negocio de perforación. Uno debe pensar en la seguridad 24 horas al día. Esto puede no ser fácil, pero salva: vidas, ojos, brazos y piernas, y evita la pérdida de rentas. Principalmente, se deberá recordar que la gerencia no desea que el trabajador se lesione.

Como miembro de la cuadrilla, trabajar con seguridad es tan importante, como jalar las cuñas, enganchar las tenazas o estibar tubería de perforación. La mejor forma es la seguridad para efectuar todos los trabajos en un equipo de perforación. La seguridad es una parte integral de cada tarea, cada individuo responsable debe hacer que la totalidad del programa de seguridad tenga éxito año tras año.

CONOCIMIENTO DEL PROGRAMA DE SEGURIDAD Y COOPERACION REQUERIDA

Todo el personal de perforación participa en el programa de seguridad de la firma, conociendo las reglas de seguridad de la compañía, los requerimientos y acatándolas. Cuando el personal nuevo se instruya en sus obligaciones, también se le deben dar las instrucciones de seguridad necesarias.

Los manuales de seguridad de la compañía o las instrucciones impresas, generalmente, explican el equipo protector suministrado por la firma de perforación. Estos los puede adquirir todo el personal cuando lo requiera. Los cascos protectores y los zapatos de seguridad, por lo general, los proporciona cada empleado.

Las juntas de seguridad, los avisos y boletines de la compañía, los carteles y otros artículos, todos son parte del programa de seguridad. El equipo de primeros auxilios y sus demostraciones, el equipo de combate de incendios y sus simulacros, las prácticas de seguridad para trabajar con herramientas de mano, mangueras, productos químicos, etc. y el conocimiento de las normas seguras de operación y los procedimientos que se practican en el equipo de perforación —son todos ellos conocidos del personal de la firma de perforación—. Se espera que todos los empleados informen de los accidentes y las lesiones.

PRACTICAS GENERALES DE SEGURIDAD

Las siguientes instrucciones, generalmente, se aplican al personal del equipo, como precauciones generales para evitar accidentes:

1.— Cada miembro de la cuadrilla cuando entre de guardia, deberá inspeccionar el terreno en el que va a trabajar, para observar que todo se encuentre en condiciones de seguridad.

2.— Observe que todas las herramientas y el equipo se encuentre en lugar adecuado.

3.— Asegúrese que las guardas y los dispositivos de seguridad estén en su lugar y en condiciones de trabajo.

4.— Conserve los pisos, escaleras y bancos de trabajo libres de grasa, lodo y basura.

5.— Inspeccione la maquinaria y las herramientas para que no tengan defectos y haga las reparaciones necesarias o las reposiciones antes de usarlas.

6.— Retire toda la basura o material innecesario del área de trabajo.

7.— Observe que todos los gases inflamables y los aceites estén en recipientes adecuados y en su lugar apropiado.

8.— Asegúrese que se tenga el alumbrado correcto en las áreas de trabajo durante la noche.

9.— Revise todos los dispositivos de calefacción y los hogares abiertos para vigilar que se encuentren en óptimas condiciones.

10.— Obsérvense unos a otros, para verificar si la ropa, la condición física o mental, pudieran ponerlo en peligro a usted o a otros miembros de la cuadrilla. Se deberán efectuar las correcciones, si es necesario, y sustituir a algún individuo si no puede desempeñar sus obligaciones normalmente.

Estas y otras prácticas de seguridad se describen en el Manual de Perforación Rotatoria de la AADCPPP en Prevención de Accidentes y Prácticas Seguras de Operación, copias del cual, generalmente, se proporcionan en todos los equipos de perforación. Las prácticas generales de seguridad incluyen: la información de lesiones, conducta correcta de los individuos, beber agua dulce fresca de la suministrada en el equipo, usar la ropa conveniente, zapatos, gafas y casco protector y practicar la buena limpieza en varias formas. Otras prácticas cubren la prevención de incendios, calefacción del equipo, manejo de materiales y equipo, manejo de tubería, herramientas manuales, cadenas, cables de acero, soldadura, electricidad (equipo eléctrico), etapas para manejar nuevas uniones de tubería, riesgos del viento, seguridad automotriz, qué hacer acerca de envenenamiento con gas, gases de escape y participación en juntas de seguridad.

PRIMEROS AUXILIOS

La materia completa de primeros auxilios, es muy importante para manejarse en este breve manual. Tanto la Cruz Roja, como la Dirección de Minas, tienen organizaciones establecidas para poner al alcance de todos, la capacitación en primeros auxilios. El hombre nuevo en el equipo, no debe perder la oportunidad de tomar este curso completo.

El manual de seguridad de la AADCPPP, los Panfletos de la Cruz Roja, el manual de la Dirección de Minas y aún los manuales de los "Boy Scout" (niños exploradores), tienen en conjunto información útil sobre primeros auxilios. A falta de cualquier otro entrenamiento, la lectura de estas publicaciones será un procedimiento útil.

Hay algunos informes que se aplican a las operaciones de los equipos de perforación que vale la pena aprender:

1.— Estudie el contenido del botiquín de primeros auxilios del equipo y cualquier panfleto de instrucciones que encuentre en él.

2.— Informe de toda lesión a su perforador. Si la piel se raspa por un accidente menor, aplique (iodo, etc.) un antiséptico y un vendaje que la cubra. Esto reducirá al mínimo la posibilidad de una infección.

3.— Preste especial atención a los lavados de los ojos, etc. Los ojos requieren atención inmediata, cuando les salpican productos químicos de lodo. Haga suyo el interés de saber lo que hay que hacer en este tipo de accidentes.

Es imposible incluir todo lo relacionado sobre primeros auxilios, ya que debido a su importancia requiere de un estudio más complejo del que se podría proporcionar.

EQUIPO DE SEGURIDAD PARA GENTE DE LA CUADRILLA

Se requieren varios artículos de equipo de seguridad para trabajar en un equipo de perforación. Los miembros de la cuadrilla deberán usar ropa apropiada para las condiciones del clima y el trabajo que se esté efectuando. No es recomendable usar mangas sueltas ni pantalones abolsados o rotos. Evite utilizar cualquier objeto estorboso para no tropezar con las herramientas o el equipo y así evitar riesgos con la maquinaria en movimiento.

CASCO PROTECTOR

Un hombre nuevo en un equipo de perforación, generalmente, aportó su propio casco protector. Uno de los requisitos "obligatorios" es que el casco protector se utilice mientras se trabaja en o alrededor del equipo. El casco protector se necesita para protegerse de los objetos que se caen y que son causa de algunas de las lesiones o muertes que ocurren muy a menudo. Usar el casco protector puede ser la diferencia entre la vida y la muerte, esto se aplica a los visitantes.

El casco protector es el artículo número uno del equipo de seguridad personal. El perforador supervisa que su gente vea la forma cómo adquirir su propio casco. No se lleva mucho tiempo el que un novato observe o experimente el peligro de un perno que se cae, una llave, un pedazo de tubo o una madera que puede caer repentinamente del área que está arriba del piso de la torre o de cualquier piso, que se encuentre situado a considerable altura, soportado por la subestructura del equipo. No existe duda de que la cabeza de un hombre necesita protegerse con un casco protector, durante las operaciones de perforación.

ZAPATOS DE SEGURIDAD

Junto con el casco protector, un buen par de zapatos de seguridad se considera "indispensable" para cada miembro de la cuadrilla. El perforador puede aconsejar al novato, qué clase de zapatos es recomendable comprar. Los zapatos de suela y de tacón de hule, son muy resbaladizos para usarlos en un equipo de perforación. Es obvio que los zapatos adecuados son necesarios para proteger los pies y así evitar que se lesionen. El uso de zapatos de seguridad ha reducido grandemente las lesiones graves de los pies en equipos de perforación.

EQUIPO DE PRIMEROS AUXILIOS

Como se dijo previamente, es importante que todo el personal tenga conocimiento de primeros auxilios y procedimientos de emergencia. Cuando estos conocimientos deban ponerse en práctica, el equipo de primeros auxilios que suministra la compañía contratista de perforación, deberá estar disponible. Un botiquín de primeros auxilios con los artículos recomendados por el Comité de Seguridad de la Asociación Americana de Contratistas de Perforación de Pozos de Petróleo, existe en la mayoría de los equipos de perforación. Deberá revisarse y mantenerse bien abastecido, listo para usarlo cuando sea necesario.

El botiquín de primeros auxilios en el equipo, incluye: algodoncillos antisépticos, pomada para quemaduras, compresas adhesivas, compresas para vendar, vendas triangulares,

paquetes para vendas de ojos, torniquetes, forceps, tijeras, inhaladores de amoníaco, aspirinas y probablemente un estuche para mordidas de serpiente. Cada hombre de la cuadrilla deberá saber cómo usar este material de primeros auxilios que, generalmente, se proporciona en botiquines para vehículos, que utiliza el personal de campo.

Otros equipos suministrados por la firma perforadora para usarlos en emergencias, incluyen varios extinguidores de polvo químico seco. Para extinguidores de fuego, se dispone de mangueras de agua y pistolas de lodo.

Para localizaciones de perforación mar afuera, se requiere equipo adicional de emergencia y salvavidas de acuerdo con los reglamentos de la Guardia Costera de los Estados Unidos. Se tienen en cada equipo salvavidas y se usan cuando se transfiere el personal. En caso de necesitarse, existen en cada equipo: Balsas salvavidas y boyas anulares salvavidas. La información relativa a las emergencias se despliega en avisos en las estaciones de contraincendio y en las estaciones de incendio y abandono de plataforma. Esto se tratará ampliamente en relación con las prácticas de seguridad mar adentro.

USO DE GAFAS

Hay numerosos ejemplos de lesiones en los ojos que podrían haberse evitado si se hubiesen utilizado, anteojos de seguridad. La lesión más ligera de un ojo puede ser dolorosa. El lesionado, generalmente, requiere tratamiento de primeros auxilios y con frecuencia atención médica. La víctima puede causarse una infección si se brota el ojo antes de que reciba el tratamiento apropiado. De cualquier manera, la lesión y la suspensión del trabajo y el tiempo perdido en el trabajo, probablemente se hubiesen evitado.

La mayoría de las compañías de perforación, llevan la política de proporcionar gafas a aquellas personas que las necesitan.

Generalmente, son empleadas cuando se está usando un cincel que produce astillas que saltan, cuando se golpea sobre metal, en el manejo de cáusticos o cuando las condiciones de polvo son tales, que las partículas están continuamente penetrando en los ojos. Las operaciones de soldadura, no se deben ejecutar o vigilar sin los anteojos obscuros especiales del caso. De acuerdo con el Manual AAODC, para prevención de accidentes y prácticas recomendadas para la seguridad de operación, las siguientes condiciones requieren el uso de gafas o caretas adecuadas:

1.— Meter o sacar pernos en cadenas impulsoras.

2.— Cambio de cuñas en tenazas.

3.— Manejo de productos químicos peligrosos, tales como los cáusticos.

4.— Reponer o apretar cristales de nivel (tubos de vidrio a presión o vacío).

5.— Rompiendo concreto, tabique o fierro fundido.

6.— Limpieza de material con soluciones químicas.

7.— Martillando o marreando sobre tajaderas, cortes en frío o barras.

8.— Corte de cables de alambre.

9.-- Pintura de calderas calientes.

10.— Limpieza de tubos de calderas.

11.— Esmerilado y ruedas abrasivas.

12.— Manejo de materiales en polvo o en estado semipolvoriento, donde existe una formación peligrosa de polvos.

13.— Raspado de superficies metálicas.

14.— Marreando barrenas para roca o cabezas de núcleo para aflojarlos o apretarlos.

15.— Martilleo de accesorios y conexiones.

16.— Metiendo y deteniendo remaches.

17.— En cualesquiera otras operaciones, donde se pueda presentar el peligro de salto de partículas que golpéen o penetren a los ojos o donde el buen juicio los juzgue necesarios.

18.— Cuando se utilicen sopletes de acetileno para soldar o cortar, use lentes obscuros No. 5 o No. 6. Asimismo, los ayudantes deben usar lentes obscuros apropiados.

19.— Los empleados deben ser cuidadosos cuando trabajen cerca de soldadura de arco, porque los rayos desprendidos son dañinos para los ojos. Use lentes obscuros No. 10 o No. 12 en cascos o gafas para soldar con arco.

20.— Si usted se encuentra cerca de alguna persona que esté realizando un trabajo que requiera gafas, también deberá usarlas.

21.— Las gafas deben conservarse limpias y dejarse en su lugar indicado, para que siempre se tengan disponibles para su uso inmediato cuando sea necesario. La limpieza de las gafas con jabón de glicerina, ayudará a evitar que se empañen.

GUANTES

Es necesario usar un buen par de guantes para proteger las manos, mientras se está trabajando en el equipo de perforación. No utilice guantes del tipo de guanteletas, porque los puños pueden atorarse con suma facilidad en las cosas. Los guantes deberán ajustarse hasta la muñeca. Protegen las manos de metales y madera astillada y pueden ayudar a amortiguar algunos golpes en las manos que causarían lesiones graves sin ellos. No existe duda de que los guantes son un artículo de seguridad necesario para los miembros de la cuadrilla. Generalmente, los suministra la firma perforadora.

CINTURONES DE SEGURIDAD Y CABLES SALVAVIDAS

El "chango" es el principal miembro de la cuadrilla que debe usar un cinturón de seguridad y un cable salvavidas, puesto que trabaja en la parte superior de la torre o mástil. Sin embargo, este equipo deberá usarlo cualquier miembro de la cuadrilla cuando esté trabajando

desde una viga de la torre a considerable altura del piso. Los miembros de la cuadrilla deben familiarizarse con el conjunto del cinturón de seguridad que utilice su firma perforadora.

Todo cinturón de seguridad, cable salvavidas y todo miembro de la torre u otros objetos a los cuales se asegure un cinturón de seguridad o cable salvavidas, deberá ser lo suficientemente fuerte para resistir el esfuerzo causado por un peso de doscientas libras que caigan a una distancia de ocho pies. Esto deberá probarse con una supervisión adecuada de tiempo en tiempo. Cuando los cinturones de seguridad presenten costuras, material desgastado o tengan otros defectos que sean peligrosos, deberán reponerse.

El cable salvavidas de un cinturón de seguridad, deberá sujetarse cerca de donde esté trabajando el "chango", de manera que no pueda caer más de ocho pies. La porción del cinturón de seguridad que está en contacto con el usuario, debe ser no menos de cuatro pulgadas de ancho.

Cuando el "chango" trabaja desde la plataforma y maneja tubería de perforación o producción, se utiliza un "cinto de barriga" o "rompe panza". Esta es una pieza fuerte de correa o equivalente, por lo menos de cuatro pulgadas de ancho y cuatro pies de largo, suspendido horizontalmente arriba del borde de trabajo de la plataforma y fácilmente ajustable por el usuario a la altura de su cintura.

Se deberá estirar un cable de seguridad a través de la torre, arriba del borde de trabajo de cada plataforma de ensartar que se esté usando a la altura de la cintura del "chango" que esté trabajando. El cable de seguridad deberá ser nuevo, de manila de tres torones, por lo menos de una pulgada.

PRACTICAS DE SEGURIDAD DE LOS HOMBRES DE LA CUADRILLA

Las prácticas de seguridad cubren casi todo lo que se hace en un equipo de perforación. Las obligaciones de cada miembro de la cuadrilla requieren procedimientos de operación o prácticas ejecutadas con seguridad. No sólo cada hombre debe conocer su propio trabajo, sino que debe saber cómo trabajar de manera segura, usando sus conocimientos, entrenamiento y equipo de seguridad disponible. Las siguientes, son algunas de las prácticas de seguridad que se observan en los equipos rotatorios.

LIMPIEZA Y ARREGLO DEL EQUIPO

La limpieza y un buen arreglo evitan accidentes. Conservando limpios y en orden los pisos de la torre y el área circundante, es menos probable que ocurran accidentes. Significa conservar las cosas en su lugar apropiado y hacer limpieza todo el tiempo en lugar de dejar las herramientas, la basura y otros obstáculos que se acumulen. El piso del equipo y los pasillos deben conservarse limpios y libres de lodo y grasa.

El perforador es responsable de las tareas de limpieza de su cuadrilla. Estas incluyen: el equipo que se esté operando y el área inmediata. El jefe de perforadores supervisa el comportamiento de todas las cuadrillas, las condiciones del equipo y del área adyacente. El superintendente y el director de seguridad, observan la condición de cada equipo y revisan si se está efectuando un buen trabajo de limpieza.

Algunas de las tareas de limpieza para el equipo y sus alrededores:

1.— Nuevamente coloque una herramienta en el tablero, cuando termine de usarla.

2.— Limpie cualquier mancha o lodo, lo más pronto posible.

3.— Repare los escalones sueltos, barandales inestables y pasillos en malas condiciones.

4.— Cuando no se utilice el cable de izar, consérvelo enrollado.

5.— No permita que el aceite se acumule en el piso de la torre o en el sótano.

6.— Mantenga el P.D.R y el sótano limpios.

7.— Quite la basura y los objetos misceláneos de abajo de la subestructura.

8.— Conserve el excedente de tubería, conexiones, etc., en las tarimas o estantes y no abajo o alrededor del equipo.

9.— Cuando no se utilicen las mangueras de agua, consérvelas limpias y enrolladas.

10.— Supervise que el equipo de contraincendios esté en óptimas condiciones y el de primeros auxilios se encuentre listo para su uso.

11.— Revise las condiciones del equipo de seguridad personal —gafas, guantes, máscaras para gas, etc.—

USO DE HERRAMIENTAS DE MANO

Aunque un equipo de perforación posee demasiada maquinaria, se requiere una gran variedad de herramientas de mano. Un hombre de la cuadrilla debe conocer la forma correcta de usar diferentes clases de cincelos, llaves, martillos, desarmadores, pinzas, punzones y limas; deberá utilizar la herramienta apropiada para el trabajo, las cuales deben conservarse en buen estado.

Las cabezas fungiformes de los cincelos, mangos rajados de martillos, dientes de mordaza de llaves (romos) y llaves con extremos encorvados (mangos chuecos), han ocasionado varias lesiones. Frecuentemente, un hombre utilizará una llave o unas pinzas, como martillo, un desarmador, como barra de palanca, cincel o "extensión" en el mango de una llave chica, etc.

Cuando sea posible, es mejor jalar una herramienta de mano en lugar de empujarla, ya que puede resbalarse y causar una cortada o un machucón. Cuando se esté astillando, rasqueteando, cortando cables o haciendo otro trabajo que cause chispas y partículas que salten, es mejor protegerse los ojos usando gafas y que el resto de la cuadrilla use gafas o una mampara.

Se deberá tener cuidado extraordinario cuando se utilizan herramientas arriba del piso de la torre o en cualquier lugar elevado en el que una herramienta suelta puede caer y pegarle a alguien que se encuentre abajo. Por esta razón, no se deben llevar las herramientas en las bolsas o metidas en el cinturón. Deben llevarse en una bolsa para herramientas, canasta, saco o atadas con una cuerda. Las herramientas que se usen arriba del piso de la torre, deberán amarrarse para evitar que caigan. Los miembros de la cuadrilla deberán permanecer alejados del lugar donde se uutilicen herramientas de mano arriba de ellos. Una vez que el "chango" haya terminado de usar una herramienta, deberá bajarse al piso.

Frecuentemente, deben revisarse las llaves, para eliminar las mordazas desgastadas o combadas, jaulas rotas, resortes, caras y mangos doblados. Y además, caras de la parte de golpear de martillos, cinceles, colas de rata, barras y herramientas similares, con objeto de evitar caras rotas, deberán revisarse, cabezas fungiformes y otros defectos. Los mangos de madera deberán estar fuertes y seguramente fijados a la herramienta. Al aplicar fuerza a una herramienta, la gente de la cuadrilla deberá tomar una posición de manera que no pierdan el equilibrio en caso de que la tuerca o unión se aflojen repentinamente.

Todos los cinceles, barras y taladros que sostenga un hombre y sean golpeados por otro, deberán sostenerse con un retenedor, con objeto de evitar que un golpe de refilón falle y golpee al hombre que se encuentre sosteniendo la herramienta.

El perforador deberá capacitar a la gente de la cuadrilla sin experiencia en el uso correcto de las herramientas. El perforador deberá supervisar que las herramientas se conserven en buen estado y en sus tableros respectivos.

EQUIPO ELECTRICO

No se deberá permitir que un hombre sin experiencia utilice el equipo eléctrico. Los cambios o ajustes de este tipo de equipo, sólo se deberán hacer por un hombre de la cuadrilla debidamente autorizado. El acto de cambiar un foco, puede iniciar un incendio si la atmósfera es inflamable y no se ha cortado la corriente eléctrica. La mayoría de los equipos modernos tienen actualmente alumbrado a "prueba de explosión", pero la gente de la cuadrilla no debe experimentar con este equipo.

Se debe evitar el contacto con alambres electrificados. Los objetos que normalmente son aisladores, pueden ser peligrosos cuando se ponen en contacto con alambres de alta tensión. Cuerdas, tablas del piso o artículos similares son aisladores cuando se encuentran secos, pero se vuelven conductores de la electricidad si se humedecen. Nunca se debe suponer que un alambre o línea rotos son inofensivos —se deberá llamar a un electricista experimentado—.

Las cuerdas que abastecen lámparas portátiles o herramientas eléctricas, deberán ser de aislamiento de hule de la mejor calidad y deberán proporcionarse con enchufes sin mariposa y con guardas para lámpara. Las cuerdas rotas o defectuosas deben cortarse a menores longitudes o descartarse.

La gente de la cuadrilla no debe experimentar con equipo eléctrico, especialmente los interruptores para los motores. Sólo los supervisores calificados y el personal autorizado, deberán operar o reparar la maquinaria eléctrica. Cuando se trate de alambres de alto voltaje, la gente deberá saber cómo identificarlos y a la vez evitarlos.

El agua, especialmente salada, es un buen conductor de la electricidad, por lo cual se debe tener mucho cuidado cuando se use vapor o una manguera de agua para lavar cerca de los motores eléctricos. Solamente los extinguidores de incendios aprobados para equipo eléctrico, deberán usarse en incendios de equipo eléctrico o cerca de él.

Cada miembro de la cuadrilla deberá instruirse sobre las salvaguardas de alto voltaje o de otro contacto eléctrico o sacudida eléctrica. En una emergencia, si es necesario jalar a una persona para soltarla de un alambre u objeto cargado con electricidad, únicamente ropa seca o papel o algún otro objeto o material secos, deberán usarse para ese objeto. Una persona que ha sufrido una descarga eléctrica, deberá recibir respiración artificial, lo mas pronto posible, mientras se solicita asistencia médica. Eso podría salvarle la vida.

Hay muchas reglas y procedimientos relativos a la electricidad con los que deben familiarizarse los miembros de la cuadrilla. Tal vez la mejor regla sea siempre consultar a los expertos en electricidad que se encuentren cerca y que saben lo que están haciendo.

MEZCLA DE SOSA CAUSTICA

Se deben tomar precauciones especiales por los miembros de la cuadrilla que se designen para mezclar sosa cáustica (hidróxido de sodio) con el lodo de perforación. La sosa cáustica es particularmente sensible a la humedad y cuando se expone a la humedad o a una superficie mojada, se inicia de inmediato una reacción química que causa quemaduras severas en la porción del cuerpo con la que se ponga en contacto. La mayoría de esas quemaduras han ocurrido cuando las escamas o granos de sosa cáustica se han sacado de sus recipientes antes de mezclarse con el fluido de perforación.

Para efectuar trabajos en el barco, es necesaria la ropa protectora para esta operación. La persona que maneja sosa cáustica deberá proveerse de guantes de hule grueso con guanteletes, un delantal de hule y gafas apropiadas o una pantalla para la cara. Se debe tener a mano un frasco de un galón de vinagre casero para que se pueda aplicar vinagre a cualquier parte del cuerpo, excepto los ojos, que pueda quemarse durante el proceso de mezclado. El vinagre neutralizará la reacción química.

Las cuadrillas de reparación y terminación de pozos, también han experimentado este problema cuando trabajan en pozos que se perforaron originalmente con lodo que contenía sosa cáustica. Los miembros de las cuadrillas deben protegerse de este tipo de riesgos.

Se observarán las siguientes precauciones mientras se mezcla sosa cáustica:

1.— Utilice las gafas proporcionadas para esta tarea.

2.— Use los guantes y el delantal revestidos de plástico que se proporcionan.

3.— Tenga las mangas hacia abajo.

4.— Párese del lado del viento cuando vacíe sosa cáustica.

5.— Vierta la sosa en un tanque vacío.

6.— Agregue agua con la tubería de entrada, no con manguera.

7.— Revuelva cuidadosamente con una pala.

8.— Deshágase de la lata.

9.— No se quite las gafas y los guantes hasta que la cáustica esté corriendo en la fosa y se haya terminado la operación de mezclado.

10.— Mientras esté mezclando la sosa, tenga cerca una manguera con agua corriente y úsela en caso de contacto accidental. También se debe tener a la mano un frasco grande de vinagre.

USO DE ARRANCADORES DE AIRE (Neumáticos)

El aire comprimido se usa para arrancar las máquinas en los equipos de perforación con la ayuda de arrancadores neumáticos. Si el suministro de aire comprimido se agota, las máquinas se tienen que arrancar a mano o por otros medios que decida el mecánico en jefe o el motorista. En una emergencia, para arrancar las máquinas se puede utilizar nitrógeno en cilindros para los arrancadores.

En relación con esto, es muy importante evitar el uso de oxígeno envasado. Por ningún motivo deberá utilizarse oxígeno a presión para arrancadores neumáticos. El oxígeno en cilindros se encuentra a alta presión y cuando se descarga en un arrancador de aire que contenga una gota de aceite en el cilindro, resultará una explosión.

El oxígeno en cilindros no se deberá usar con ningún propósito, para el cual no se ha destinado. El oxígeno es peligroso y no se deberá usar como carga previa de acumuladores o amortiguadores de pulsaciones.

Se deberá evitar el mal uso del gas natural. Bajo ninguna circunstancia se deberá usar el gas natural para un arrancador de máquina.

MANGUERAS DE CONTRAINCENDIO Y PARA LAVAR

Las mangueras de contraincendio deberán revisarse ocasionalmente para asegurarse de que siempre estén en óptimas condiciones. Se pueden dejar desconectadas, pero deberán estar disponibles para uso inmediato. Las mangueras para lavado deberán conectarse únicamente a bombas de agua de baja presión. Por ningún concepto se deberá conectar una manguera de agua a una bomba de lodo. Las mangueras de agua no deberán utilizarse cerca de motores eléctricos y otros equipos.

Evite usar manguera de hule para una conexión. Utilizar una manguera de hule en lugar de tubo de cobre o tubo sólido, es otro "accidente que se está esperando que suceda". Si se necesita flexibilidad en una línea de conexión, se deberá usar tubo de cobre con los accesorios apropiados.

USO Y ALMACENAMIENTO DE CILINDROS DE OXIGENO Y ACETILENO

En los últimos años ha existido un aumento del uso de gas comprimido en cilindros —oxígeno, acetileno, hidrógeno y otros gases—. Estos cilindros, llenos o vacíos, son inofensivos si se manejan correctamente. Cada miembro de la cuadrilla deberá aprender a manejar cilindros de gas. Encontrará ciertas cosas que recordar acerca de estos cilindros —cosas que hay que hacer y cosas que no hay que hacer—.

Se deberá evitar que los cilindros se caigan o se golpéen unos a otros violentamente. Cuando se muevan con grúa, use un portacargas o una plataforma, nunca una cadena o eslinga de cuerda. Mantenga las tapas protectoras en las válvulas, excepto cuando se estén usando los cilindros. No se meta con los dispositivos de seguridad, ya sea en los cilindros o en las válvulas. Nunca use los cilindros como rodillos, soportes o cualquier otro propósito que no sea como recipientes de gas. Las válvulas deberán abrirse lentamente y con las herramientas aprobadas por el fabricante. Nunca golpée con martillo en el volante de una válvula para abrirla o cerrarla.

Asegúrese de que las roscas en los reguladores o algún otro equipo auxiliar sean las

mismos que las de las salidas de las válvulas. Nunca force una conexión. Nunca trate de reparar o alterar cilindros o válvulas.

Proteja los cilindros contra la elevación excesiva de la temperatura. Deberán almacenarse al aire libre, pero deberán protegerse contra el clima extremoso y del suelo para evitar oxidación. Protéjalos de la nieve o hielo y de los rayos directos del sol. No permita que alguna parte de los cilindros se someta a temperaturas arriba de 125 grados Fahrenheit. No permita que una flama directa toque cualquier parte del cilindro.

CILINDROS DE OXIGENO

Algunas "que hacer" y "que no hay que hacer" (en su mayoría "que no").

1.— No lubrique o permita que el aceite o grasa penetren a las conexiones de oxígeno, soplete u otros equipos de oxígeno.

2.— Nunca use oxígeno como aire comprimido o como fuente de presión.

3.— Nunca use oxígeno de un cilindro, excepto a través de un regulador.

4.— Nunca use las tapas protectoras de las válvulas para levantar cilindros de oxígeno.

5.— No use martillo o llave para abrir válvulas de cilindros de oxígeno.

6.— Al principio abra lentamente una válvula del cilindro de oxígeno, cuando se encuentre conectado a un regulador, de manera que la manecilla del medidor de alta presión suba lentamente. Posteriormente ábrala por completo.

7.— El oxígeno o el aire rico en oxígeno, nunca se deberá permitir que sature cualquier parte de la ropa porque una chispa iniciará inmediatamente un incendio.

8.— No deje caer los cilindros.

9.— Evite que se golpeen los cilindros mientras se están usando.

10.— Nunca utilice cilindros como rodillos o soportes aun cuando se considere que están vacíos.

11.— Mantenga los cilindros bastante alejados del trabajo de soldadura o corte, para que las chispas, escoria caliente o flama no los alcancen.

12.— Nunca use oxígeno para cargar acumuladores o amortiguadores de pulsaciones.

CILINDROS DE ACETILENO

1.— No permita que escape acetileno en un cuarto o un espacio cerrado.

2.— Siempre use la llave T especial o la clavija para abrir o cerrar la válvula del cilindro.

3.— Nunca se meta tapones con fusibles.

4.— No use el espacio superior rebajado del cilindro como un lugar para herramientas.

5.— Nunca de más de una vuelta y media a la válvula de un cilindro de acetileno.

6.— Siempre cierre las válvulas de los cilindros cuando se termine el trabajo o cuando se suspenda el trabajo, aún por un tiempo corto, especialmente en un lugar cerrado.

Si los cilindros de gas se almacenan parados, sujételos de modo que no puedan derribarlos o golpearlos. Si se almacenan horizontalmente, asegúrese de que no puedan rodarse.

OPERACIONES DE CONEXION DE VALVULAS Y NIPLES

La conexión de tuberías de los preventores y reventones, colocarlos en posición segura, generalmente, requiere supervisión y experiencia especial. El jefe de perforadores y el perforador, vigilan que se efectúen las conexiones apropiadas.

En los equipos marítimos, el jefe de perforadores supervisa que se usen suficientes tablones y andamios para proporcionar una base adecuada y estable para pararse. En plataformas permanentes en las que los P.D.R. están localizados entre la plataforma inferior de conexiones y la cubierta de la plataforma principal, los andamios portátiles comunes seccionales y las tablas de los andamios, es todo lo que se necesita para instalar eficiente y seguramente los P.D.R. Sin embargo, siempre que un miembro de la cuadrilla esté en una posición en la que haya peligro de caerse al agua, se deberá usar un salvavidas.

En plataformas marítimas móviles en las que el trabajo se efectúa arriba de la plataforma permanente de conexión de tuberías, los andamios comunes y los tablones de los andamios es todo lo que se necesita. Sin embargo, cuando alguien esté trabajando debajo de la plataforma principal de conexiones, se deberán usar los cinturones de la torre con las líneas de seguridad y un salvavidas.

Antes de las operaciones de conexión de válvulas y niples, los miembros de la cuadrilla deberán tener los anillos de empaque necesarios, los pernos, bridas, los arietes, llaves, accesorios, etc., seleccionados de acuerdo con los requerimientos y dejarlos en un lugar apropiado para asegurar una operación de conexión fluida. Todas las bridas del P.D.R., deberán limpiarse y las ranuras para los anillos con una capa de aceite lubricante. Los empaques de anillo, y las bridas deberán inspeccionarse antes de armar para evitar usar materiales defectuosos. (Tome nota de las instrucciones adicionales descritas en otra parte en preventores de reventones).

HABILIDADES UTILES PARA EL NOVATO

El novato que va a trabajar en un equipo de perforación por primera vez, puede tener la idea por lo que ha leído en las páginas anteriores de este manual, de que su única (o por lo menos su principal) responsabilidad en el equipo es simplemente presentarse ahí y evitar complicarse en accidentes durante ocho horas. Esto no es la historia correcta, por supuesto. El lema en el equipo es "trabaja con seguridad".

Para el novato, esto se traduce como "cualquier cosa que se te diga que hages, hazlo con seguridad".

Muy importante entre las comisiones de trabajo de todos los hombres del equipo, es hacer los viajes redondos. Brevemente esto puede llamarse "haciendo viajes". Este es un trabajo estrictamente de grupo y todos están trabajando juntos. Lo que hace un hombre afecta la seguridad de los otros. Hacer viajes consiste en tres tipos de operaciones: (1) "elevar y sostener", usando elevadores y cuñas; (2) "armar y desarmar", usando la cadena de desenroscar y las tenazas de tubería; (3) "hacer retroceder y recoger" cuando el acomodador de tubos trabaja con el "chango" estibando el tubo que sale y ensartando el tubo que entra.

El lugar, en el cual el novato puede trabajar sólo, es en mantenimiento, utilizando herramientas de mano, como se estudiará más adelante.

MARTILLOS

Sólo utilice el martillo, si está en buenas condiciones y con la cabeza firmemente sujeta al mango. Asegúrese de que tanto el martillo, como sus manos estén limpios. Los martillos con cabezas dañadas, mangos flojos o rotos deberán repararse o reponerse. Aplique pegamento antes de que meta una cuña en el mango. Nunca use clavos como cuñas.

Agarre el martillo cerca del extremo. "Estrangularlo", es poco diestro, aumenta las probabilidades de un dedo aplastado y también contribuye a que el golpe sea menos efectivo.

Siempre que sea posible, utilice gafas de seguridad cuando esté usando un martillo. Esto incluye cuando esté clavando. Un clavo que salte u otro material que vuele, puede causar la pérdida de un ojo.

Siempre ponga atención en su trabajo o puede pegarse en los dedos. Empiece a meter los clavos sosteniéndolos cerca de la cabeza y pegándole al clavo un golpe suave. Esto reducirá al mínimo la posibilidad de clavos que salten y dedos lesionados. Use un martillo de cabeza de cara plana para clavar; nunca un martillo de ajustador (mecánico).

Los mangos de los martillos están destinados para que se agarren únicamente. No golpée objetos con él o los use como barras para palanqueo.

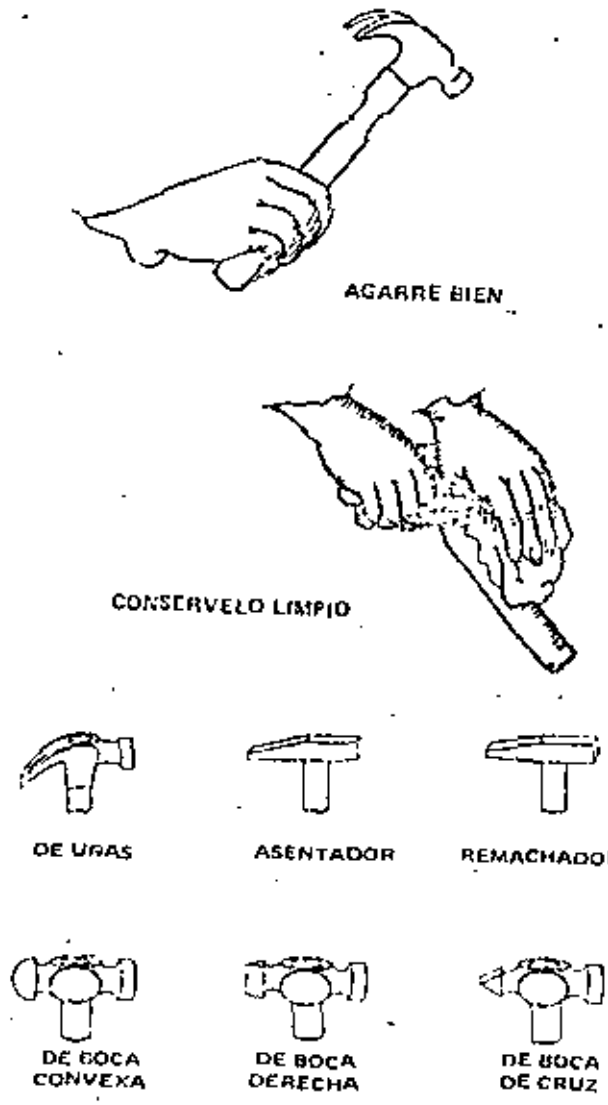


Fig. 10—1.— El uso de martillos

No úse, una llave, varilla, perno u otra pieza de equipo como martillo. Nunca golpée objetos endurecidos, como una llave u otro martillo, con otra cosa que no sea cuero crudo o un martillo de metal suave.

Asegúrese de que tiene movimiento sin obstrucciones al usar el martillo. Tenga especial cuidado de obstrucciones arriba de su cabeza.

Haga que un ayudante use tenazas u otro dispositivo apropiado para sostener cuando se tenga que detener algo que se va a golpear con un marro o pico. Asegúrese de que nadie esté parado dentro del área donde va a blandir un pico o marro. Ambos hombres deberán usar gafas.

Existe un martillo apropiado para cada tipo de trabajo de martillar (siempre seleccione el adecuado). Nunca use un objeto improvisado en lugar de un martillo.

PINZAS

Existen muchos tipos de pinzas. Las más comunes son las pinzas de 6 pulgadas de junta deslizable de combinación. La junta deslizable permite que las mordazas se abran más en el perno de visagra para agarrar diámetros mayores. Algunas pinzas de combinación se hacen con una cortadora lateral que es un arreglo para cortar alambre.

Frecuentemente, las pinzas se utilizan indebidamente como herramienta. Su uso deberá limitarse a las operaciones para las cuales se diseñaron: agarrar (asir) y cortar —nunca para aflojar o apretar tuercas—. Siempre use llaves para tuercas —nunca pinzas—. De hecho, no se deben usar pinzas cuando alguna otra herramienta sirva.

Las pinzas no deben usarse para hacer girar pernos, por dos razones: (1) porque sus mordazas son flexibles y (2) dejan marcas de herramienta en la tuerca o cabeza del perno, con frecuencia redondeando las esquinas, tanto que resulta extremadamente difícil dar servicio al accesorio en el futuro.

El interior de las mordazas cortadoras deberá apuntar alejándose de la cara del usuario para evitar lesiones con los recortes que salten.

Para agarrar con firmeza con un mínimo de efecto, las mordazas de las pinzas deberán estar tan paralelas como sea posible. Esto es

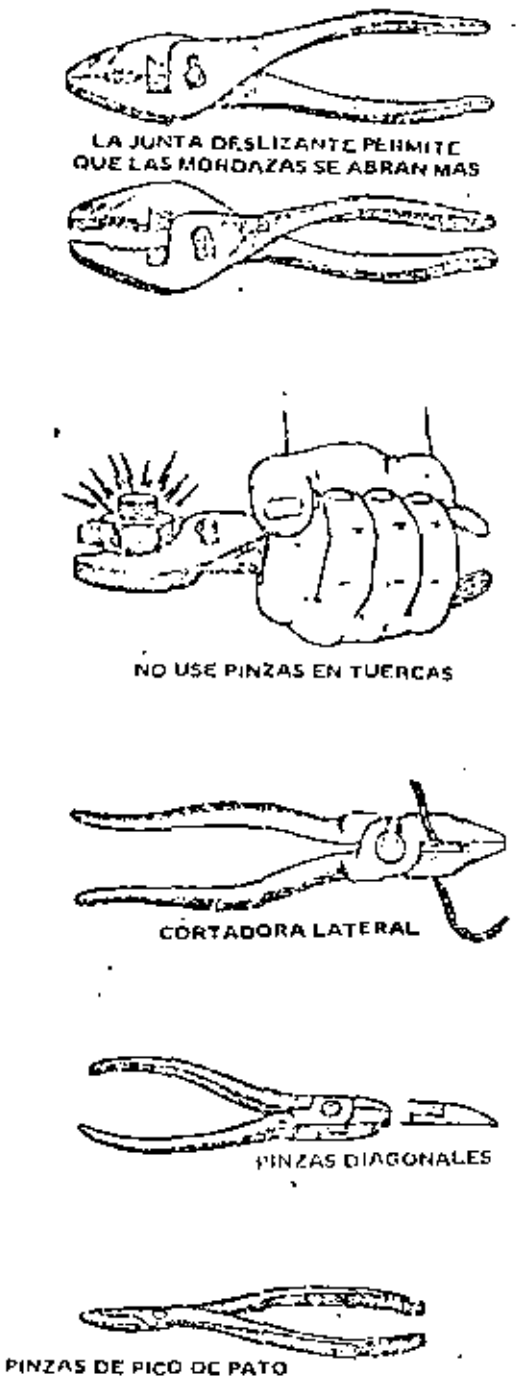


Fig. 10—2.— Cómo usar las pinzas

posible si se usan las pinzas de tamaño adecuado y la posición correcta.

Para evitar sobrecargar las pinzas cortadoras, el usuario deberá seleccionar las pinzas con las cuales pueda cortar un alambre usando únicamente una mano.

Como todas las otras herramientas, las pinzas deberán conservarse limpias. Déles un baño ocasional para lavarles la mugre y la arena. Ponga una gota de aceite en el perno de la junta. Estas precauciones disminuyen el desgaste y evitan la oxidación que es un enemigo perverso de todas las herramientas.

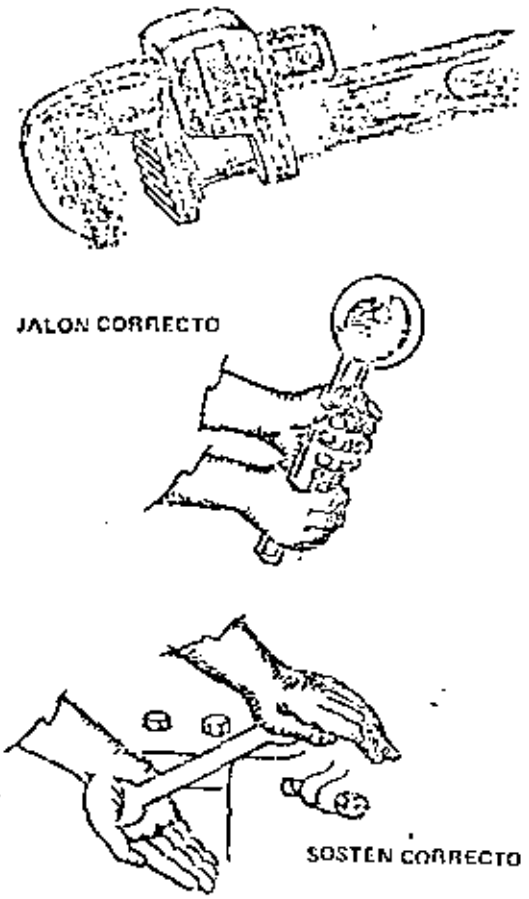


Fig. 10—3.— Uso de llaves

L L A V E S

El primer principio de la seguridad con las llaves, es deshacerse de la idea de que sólo los tontos se lastiman cuando se usan las llaves. Algunos de los accidentes que terminan con lesiones, son realmente bastante tontos, pero no sólo son ellos los que intervienen.

Use el tipo apropiado de llave para el trabajo —de media luna (perico)—, para tubo (Stillson) o de roquete (de chicharra), de extremo de caja, etc.

Use la llave del tamaño adecuado para el trabajo que se va a efectuar. Una llave más grande siempre es preferible que agregar palanca con un tubo "adicional".

Inspeccione las llaves con frecuencia para observar que no tengan las mordazas desgastadas o combadas, cajas rotas, resortes, caras o mangos combados. Inmediatamente, repare o reponga las llaves dañadas.

Es mucho más seguro jalar una llave con los músculos del brazo, que empujar la llave. La mordaza fija es más fuerte que la quijada móvil, por lo tanto, la fuerza de jalón deberá dirigirse contra la mordaza fija.

No trate de trabajar con una llave en una posición incómoda —use conexiones de ángulo— para que la llave se ajuste a nivel y cuadrando con la tuerca o cabeza de perno.

Cuando jale una llave, apóyese para no caerse hacia atrás, colocando un pie atrás del otro.

Nunca use una llave como martillo.

No golpée ninguna llave para aflojar una tuerca pegada —use aceite penetrante—, una llave más grande o una diseñada para trabajo de impacto.

Nunca aplique una llave a la maquinaria en movimiento.

Vea que las mordazas de las llaves para tubo (Stillson) estén afiladas y limpias.

Párese correctamente y no ponga sus manos o el cuerpo en una posición que sea causa de que se lesione si se resbalara la herramienta.

Probablemente, la razón principal por la que la gente se lastima cuando está usando

llaves, es que no las toman en serio lo suficientemente. Si piensan en todo esto, se pueden imaginar que cualquier tonto debe saber utilizar una llave sin lesionarse. La respuesta a todo ello, es que hasta algunos tontos pueden aprender si se les enseña.

DESARMADORES

Las condiciones de un desarmador son de gran importancia. El mango deberá ser liso y no estar dañado, pero no resbaloso. Deberá tener una forma que permita agarrarlo bien. Deberá estar apretado en la caña —sin juego—. La caña deberá estar alineada y recta. Los lados de la hoja deberán ser exactamente paralelas para ajustarse a la ranura en la cabeza del tornillo. El extremo de la hoja deberá estar exactamente en ángulo recto con la caña y nunca obtusa o mellada.

Todo esto, excepto los detalles de la hoja se aplican al desarmador de tipo de ranura de cruz. La precisión de ajuste entre la hoja y el tornillo es muy importante en ambos tipos. Si se deja de asegurar un ajuste bueno, será la causa principal de los accidentes con los desarmadores.

Con el tipo ordinario de tornillo de una sola ranura, prácticamente no deberá existir juego alguno. Un desarmador colocado en la ranura de un tornillo sostenido verticalmente, deberá permanecer así, solo.

Use el desarmador de mayor tamaño en la longitud apropiada que ajuste bien en la ranura del tornillo.

No use un desarmador con la punta desgastada, desconchada o rota. Conserve la punta limada a escuadra y siga la línea original de conicidad al limar. Si alguna parte de la punta se ha roto, límela inmediatamente o descártelo.

No improvise con un desarmador cuando se necesite un cincel o una palanca destapadora.

Nunca martillée en un desarmador, porque se puede romper o mellar.

No sostenga una parte pequeña en su mano, mientras trabaja en ella con un desarmador —póngala en un tornillo de banco—.

Para trabajos eléctricos use un desarmador con mango aislado.

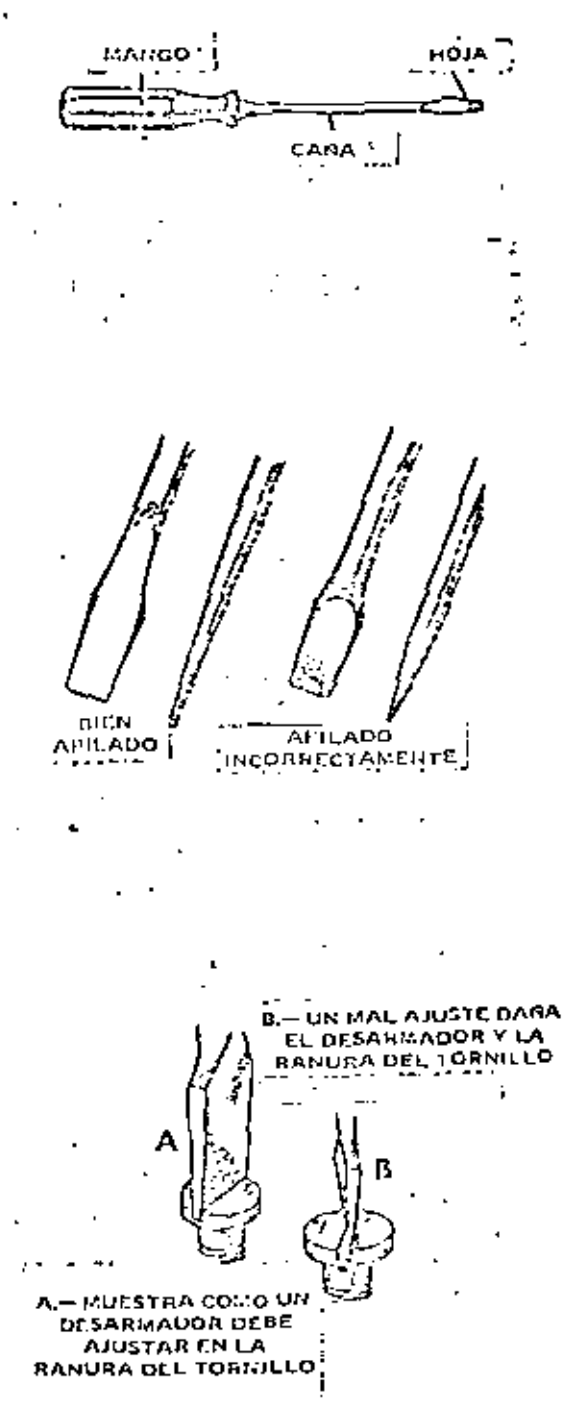


Fig. 10—4.— Desarmadores

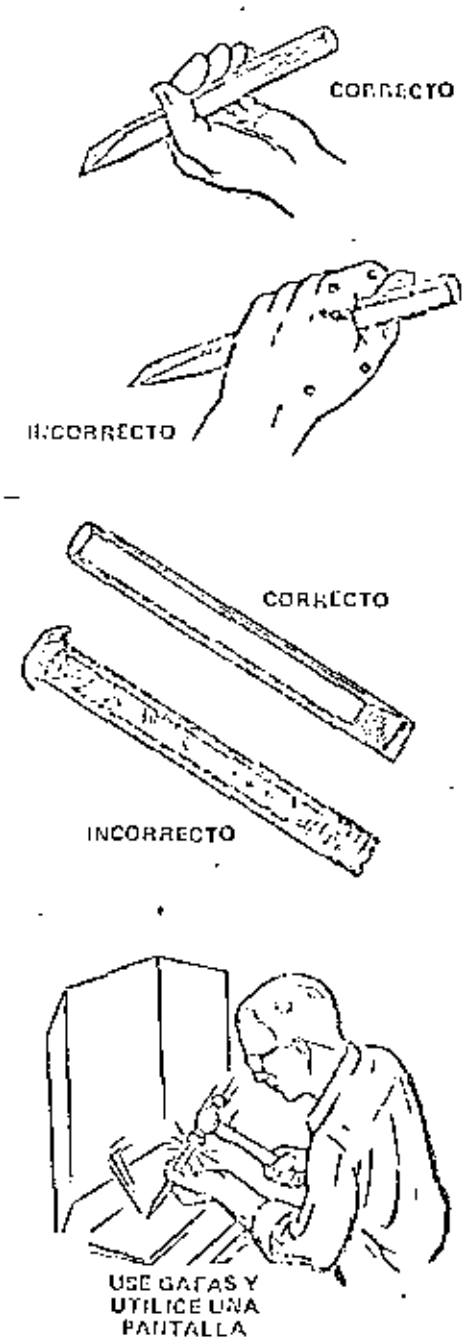


Fig. 10–5.— Uso de cinceles

C I N C E L E S

El cincel debe ser bastante grande para el trabajo y su martillo debe ser lo bastante grande para el cincel. Siempre que sea posible use un mazo en lugar de un martillo.

Sostenga el cincel cerca de su extremo superior. Si el mazo falla (pero vea que no marra), entonces su mano no recibirá toda la fuerza del golpe.

Cuando sea posible, sostenga el cincel con el pulgar y el índice, con la palma hacia arriba, conservando los nudillos fuera del alcance. (Los puntos negros en la figura, muestran dónde pueden hacer daño los martillos cuando fallan).

Use un cincel con un borde cortador del mismo ancho o más ancho que el área que se va a cortar.

No trate de sostener un cincel frío, si sus manos están ateridas con el frío, especialmente si otra persona está manejando el martillo o maza.

No use más fuerza de la necesaria para hacer el corte. Siempre desbaste en dirección alejándose de usted.

El borde cortador de los cinceles debe conservarse afilado. Los cinceles con cabezas hongiformes significan un peligro por la posibilidad de que salten esquirlas. Las cabezas deben arreglarse tan pronto como empiecen a partirse. Un radio de 3/16 de pulgada pulido en la cabeza, les permite a los cinceles resistir más golpes. Cuando se usan cinceles para desbastar, siempre use protección para los ojos. Los ojos de la gente que trabaje cerca, también deberán protegerse, ya sea con gafas o levantando una pantalla o placa protectora.

Nunca use un formón sin mango.

L I M A S

Antes de tratar de usar cualquier lima, deberá equiparse con un mango que ajuste bien. Es peligroso usar una lima sin mango, ya que frecuentemente el extremo de la cola es muy filoso. Si está usando una lima sin mango y la lima se encuentra con una obstrucción, (con la que se detiene bruscamente), la presión de la mano contra el extremo de la cola dará por resultado una cortada seria.

Siempre que sea posible, la parte que se va

a limar se debe fijar con rigidez en un tornillo de banco. Para evitar que las mordazas toscas del tornillo de banco dañen las superficies terminadas, utilice láminas de cobre u otro material suave.

Cuando use una lima recuerde que los dientes se hicieron para cortar sólo en una dirección —al empujar la lima hacia adelante—. Toda la presión de la lima sobre el trabajo se deberá disminuir en la carrera de regreso. Sostener la lima en la carrera de regreso sobre el trabajo, sólo sirve para ayudar a desafilar los dientes en sus bordes. El método preferido de usar una lima es levantarla del trabajo antes de llevarla hacia atrás. Cuando las limas son utilizadas de esa manera, se conservan afiladas por más tiempo.

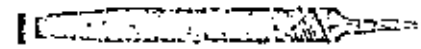
Nunca use una lima para palanquear. El extremo de la cola es suave y se dobla fácilmente. El cuerpo de la lima es duro y muy quebradizo. Doblándola con ligera fuerza la partirá en dos.

Una precaución final y muy importante: nunca martillée en una lima. El hacerlo es peligroso, ya que puede quebrarse y saltar esquirlas en todas direcciones.

PUNZONES

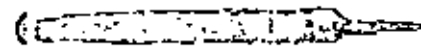
Los "punzones aflojadores" algunas ocasiones, llamados de expulsión, están hechos con una conicidad ligera alargada que se extiende desde la punta al cuerpo del punzón. De esa manera, se hacen para que resistan los fuertes golpes que reciben. Este tipo de punzón se usa para botar remaches después de que se han cortado las cabezas. También se usa para empezar a sacar pasadores rectos o cónicos, porque puede resistir los golpes duros del martillo, necesarios para aflojar el pasador y empezar a moverlo.

Después de que el pasador se ha extraído parcialmente del agujero, ya no se puede utilizar el punzón aflojador. El incremento de conicidad en el punzón se vuelve demasiado grande para el agujero. Entonces el punzón que se debe usar, es el "punzón botador". El punzón botador está hecho con una caña

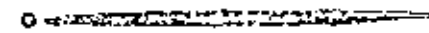


Lima bastarda plana de 12 pulgadas para limar grueso en general

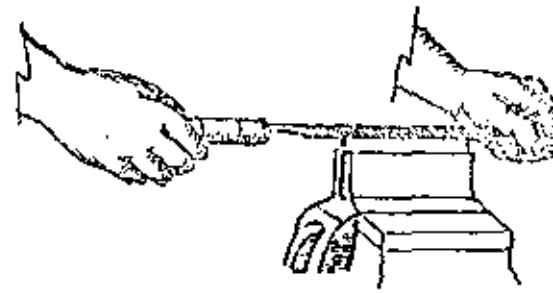
Lima fina plana de ranura doble de 12 pulgadas, para remover cantidades pequeñas de metal y hacer lisa la superficie limada. Todas las limas de sierra son de ranura sencilla.



Lima bastarda media caña de 12 pulgadas. La cara redonda de esta lima se usa para limar la superficie de radio cóncavo grande. La cara plana se puede usar para limar grueso en general.



Lima bastarda redonda de 12 pulgadas, que se usa para agrandar agujeros y también para limar superficies que tengan radio cóncavo pequeño.



USE UN MANGO

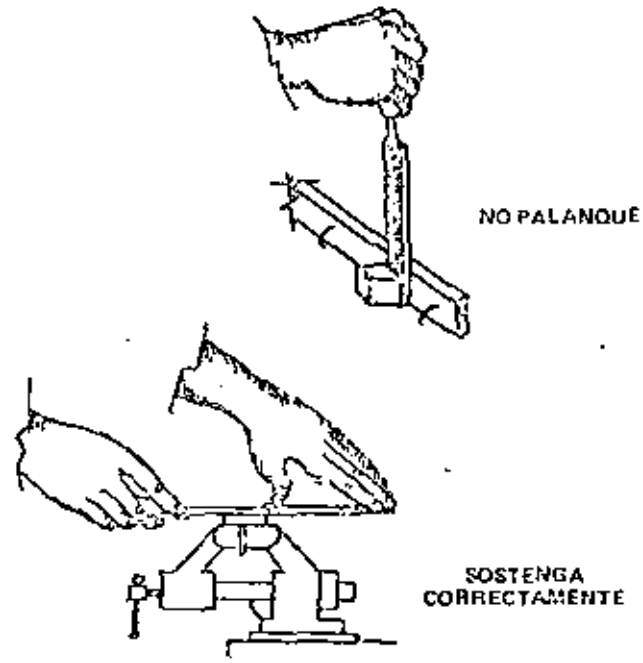


Fig. 10–6.— Cómo utilizar limas

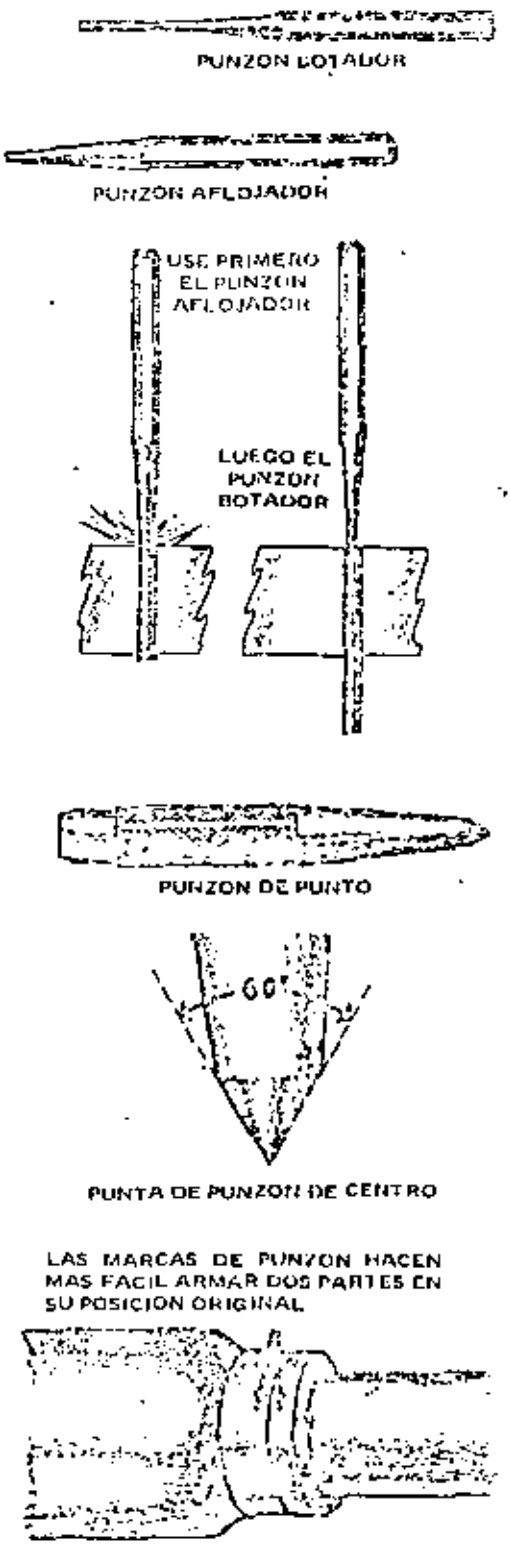


Fig. 10—7.— El uso de punzones

recta —no cónica— de manera que se ajusta dentro del agujero. Utilice siempre el tamaño más grande de punzones aflojador y botador que se ajusten al agujero. Nunca use un punzón botador para aflojar un pasador, ya que tiene una caña delgada, un golpe fuerte en el punzón puede hacer que se doble o rompa. Los punzones aflojadores y los botadores, generalmente, vienen en juegos de varios tamaños con tres a cinco punzones por juego.

El punto en un punzón marcador (de centro) está pulido con precisión para tener una punta cónica alineada con el centro de la caña. El ángulo incluido es generalmente de 60 grados. Se requiere una experiencia considerable para culir una punta de punzón marcador a mano con cierto grado de precisión. Por esta razón, deberá tener mucho cuidado con su punzón marcador. No utilice un punzón de éstos en metal que sea tan duro que pueda embotar la punta.

EL SIGNIFICADO DE "LIMPIO"

Las cosas que se tienen que limpiar alrededor del equipo en un día determinado, semana o mes, son numerosas al punto de que sean innumerables. Cuando no haya algo urgente que hacer, siempre habrá algo que necesita limpieza.

Generalmente, se da por descontado que un hombre que sea de nuevo ingreso en el trabajo y que no tenga la habilidad necesaria para tareas más complejas, siempre se puede asignar a un trabajo de "limpieza".

Esto naturalmente da origen a tres preguntas:

¿Qué se debe limpiar?

¿Cómo se debe limpiar?

¿Qué tan limpio es limpio?

Muchas ocasiones en la historia de la perforación, esta última pregunta no se ha contestado correcta y completamente. Cada una de las preguntas requiere una breve consideración.

¿QUE SE DEBE LIMPIAR?

Una que otra ocasión, casi todo tiene que limpiarse. Unos cuantos ejemplos servirán para señalar algunas de las respuestas.

1.— El piso del equipo tiene que limpiarse casi a toda hora, pero especialmente:

   a.— Después de un viaje redondo; utilice la manguera de lavado.
   b.— Después que se ha terminado el trabajo de mantenimiento; guarde las herramientas.
   c.— Después de un derrame de aceite; barra con arena hasta que quede a prueba de resbalones o por otro procedimiento apropiado.

2.— En los accesorios para engrasar y otros puntos de lubricación, elimine la lubricación excedente después de cada tarea de engrasado.

3.— Limpie el lodo y otras materias extrañas de las roscas de los tubos de toda clase. Esto, generalmente, se continúa con la aplicación de lubricante, inhibidor de oxidación o protectores de rosca.

4.— Lave la grasa o mugre de toda la maquinaria cuando esté seguro de hacerlo, es decir, cuando no se encuentre en movimiento.

5.— Lave las partes de bombas y otros equipos en un fluido apropiado para limpiar (tal vez, gasóleo), antes de que se vuelvan a instalar las partes.

6.— Lave las roscas de tuberías de ademe (después de quitar los protectores), lubrique las roscas y vuelva a colocarles el protector a cualquier hora en que se aproxime una tarea de ademar y la tubería de ademe esté en el estante o tarima.

7.— Efectúe zanjas alrededor del equipo para drenar el agua de lluvia y la de lavado del equipo, etc.

8.— El lugar de almacenamiento de las partes de repuesto (frecuentemente la oficina) requiere limpieza periódica. Las relaciones se deben conservar en sus recipientes originales o envueltas para evitar que se dañen con el manejo incorrecto o descuidado, con la mugre, la humedad, etc.

9.— Los sacos vacíos de gelatina y barita, los tambores de sosa, las cajas vacías de barrenas, etc., se tienen que retirar al desecho en forma metódica.

10.— Las partes de repuesto descartadas tienen tendencia a acumularse alrededor del equipo. Camisas de bomba, pistones y flechas, barriles lavadores de uniones giratorias, protectores de tubería de ademe, latas de compuesto para roscas, y otros objetos necesitan almacenarse en un lugar seguro hasta que se desechen permanentemente o se manden a un taller para reacondicionarlos.

¿COMO SE DEBE LIMPIAR?

Aquí es donde tiene lugar el aprendizaje. El método que se debe usar para limpiar como se describe en la sección precedente (y esa sección incluyó, sólo unos cuantos de los muchos ejemplos) dependerá de qué es lo que se va a limpiar, y de lo que piense el perforador, el jefe de perforadores y el contratista, así como el ingeniero de seguridad.

Aquí, por ejemplo, hay algunas sugerencias que indicarán la naturaleza del método de limpieza:

1.— Para limpiar el piso de la torre debe tener un lugar para colocar las herramientas que recoge.

2.— Para limpiar la basura alrededor del equipo, debe tener un lugar donde desechar la basura.

3.— Para limpiar las herramientas y el equipo del faro, generalmente, necesita un solvente líquido (como gasóleo), un recipiente para él y algunos trapos para frotar.

4.— Para lavar lodo necesita una manguera con presión suficiente para una fuente apropiada de agua de suministro.

5.— Para desechar los protectores de los tubos, debe tener un lugar donde ponerlos. Los protectores de tubería de perforación se tienen que conservar guardados para uso futuro. Los protectores de la tubería de ademe se desecharán.

La única manera de aprender esas sugerencias, es preguntar y observar cómo lo hacen los ayudantes más experimentados en el equipo.

¿QUE TAN LIMPIO ES LIMPIO?

Generalmente, es correcto decir que nada está demasiado limpio.

Esta aseveración se aplica especialmente a las partes maquinadas que tienen que ajustarse unas con otras. Las partes de bomba, empaquetaduras, bridas de junta de anillo, y partes de válvulas; son ejemplos selectos de que literalmente todo requiere limpieza.

Un grano de arena ordinario en la cara de una brida de alta presión de una bomba, fácilmente, puede originar una fuga y un deslave cuando la bomba se ponga en operación. Las roscas de tubería de ademe no quedarán a prueba de escurrimientos, a menos que la materia extraña quede por completo eliminada. Los conjuntos de preventores de reventones, son especialmente vulnerables a la intrusión de materia extraña cuando se están cambiando compuertas e instalando las conexiones. En esta área (muy crítica) del equipo, corresponde a todos los trabajadores protegerla contra, toda clase de materia extraña en los accionadores de las compuertas y en las caras de las bridas.

El problema en el equipo, es no convencer a todos de que ciertas superficies deben conservarse y que estén en óptimas condiciones de limpieza. Precisamente, el problema radica de que hay varios que aprecian, qué tan limpio debe estar. La limpieza a medias no es la respuesta.

Mientras se trata el tema de limpieza, puede ser bueno sugerir, que conservando las cosas limpias, puede ayudar a ahorrar trabajo en la próxima limpieza.

Se puede proteger contra la arena que sopla en la mayoría de las localizaciones de tierra y del aire salino corrosivo en la costa y mar afuera. Lo primero, exige que las cosas pequeñas se conserven en recipientes (como cajas de herramientas y depósitos de almacenamiento interiores). Lo último, sugiere recubrir con lubricante la corrosión o conservar la pintura en las superficies pintadas.

No todo lo mencionado se refiere a la seguridad en el equipo; también conserva la propiedad de la empresa y disminuye los desperdicios.

PROTECCION CONTRA REVENTONES

Todo el asunto de la prevención de reventones es muy complejo y no podemos analizarlo en este momento. Sin embargo, prácticamente todos los equipos de perforación están provistos de equipo de emergencia al que se puede recurrir en cualquier momento para controlar temporalmente una amenaza de reventón, con objeto de dar tiempo para aplicar las medidas correctivas. Este conjunto de equipo se llama preventor de reventones.

Cada uno de esos conjuntos se seleccionan para utilizarlos en determinado pozo y reflejará la estimación de la gerencia del grado de peligro que se supone habrá en la localización. Varían de muy simple a extremadamente complejos y caros "montajes sobrepuestos" que se encuentran en los pozos profundos en áreas que se sabe que son territorios potenciales de alta presión.

PARTES ESENCIALES DE EQUIPO DE PREVENCION

Puesto que el propósito de este equipo es cerrar el pozo contra cualquier presión que pueda acumularse en el pozo, todo el equipo que se mencione aquí se puede obtener en varias clasificaciones de presión, de muy baja hasta extremadamente alta. La selección del equipo no es parte de este estudio. Solamente nos ocuparemos de la manera como se opera y algunas indicaciones sobre su mantenimiento.

La siguiente lista menciona las partes o componentes esenciales. Cada componente se estudiará con más detalle en las siguientes páginas.

1.— La estructura (o montaje) del preventor. Este consiste de un número de dispositivos para cerrar el pozo con la tubería de perforación en el agujero o con ella fuera del pozo.

2.— Conexiones del preventor. Este término se refiere a los arreglos de tubería para suministrar presión a fin de cerrar los preventores y abrirlos nuevamente; para admitir fluido de perforación a presión en el pozo —conocida como la "línea para matar"—. También hay un múltiple de salida conocido como el "múltiple de estrangulación" para proporcionar salida controlada del fluido del pozo de regreso a la presa o tanque de lodo.

3.— Equipo para cerrar. Este conjunto consiste de bombas y/o acumuladores para aplicar presión a los preventores para hacerlos cerrar y abrir.

LA ESTRUCTURA (O MONTAJE) DEL PREVENTOR
(Vea Figs. 10–8, 10–9, 10–10 y 10–11)

PREVENTORES DEL TIPO DE ARIETE

Los preventores del tipo de ariete cierran el espacio entre sus paredes interiores y la tubería que se encuentra en el agujero moviendo las compuertas de una posición retraída, libre del agujero a una posición en la que cierran alrededor del tubo. El prólogo de la Norma 6E de

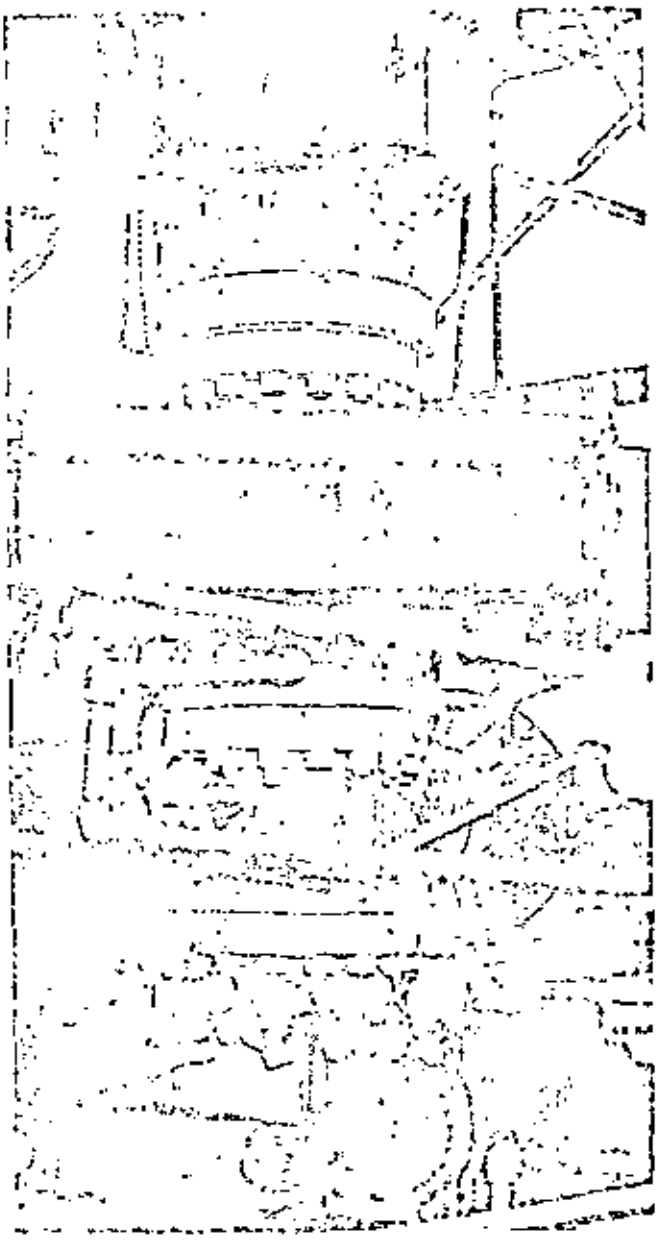


Fig. 10—8.— Estructura (o montaje) del preventor de reventones. Muestra de arriba hacia abajo: muestra un preventor anular, un preventor del tipo de ariete, un carrete para perforación con el múltiple de flujo y estrangulación y la línea para matar, instalada en él y otro preventor del tipo de ariete.

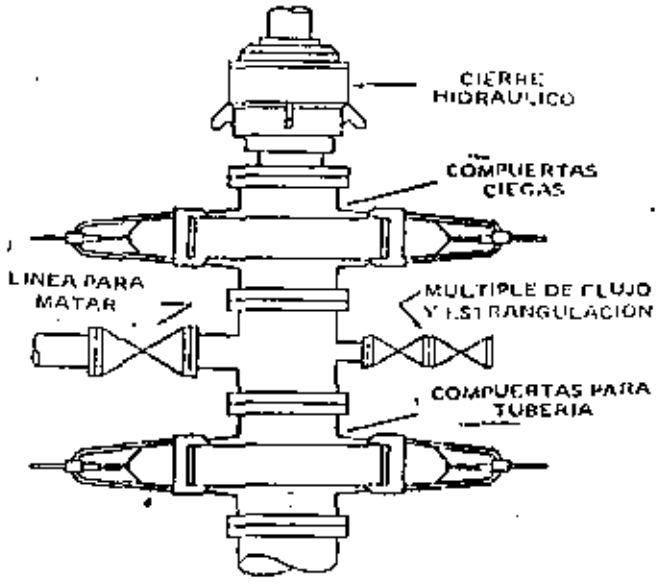


Fig. 10—9.— Estructura (o montaje) del preventor de reventones: compuertas ciegas (en medio). Dibujo de una estructura o montaje de preventor de reventones con un preventor para espacio anular (en la parte superior) de la estructura, un preventor del tipo de ariete con compuertas ciegas (abajo de él), un carrete de perforación con el múltiple de estrangulación de flujo y la línea de matar y un preventor de tipo de ariete con compuertas para tubería (en la parte inferior).

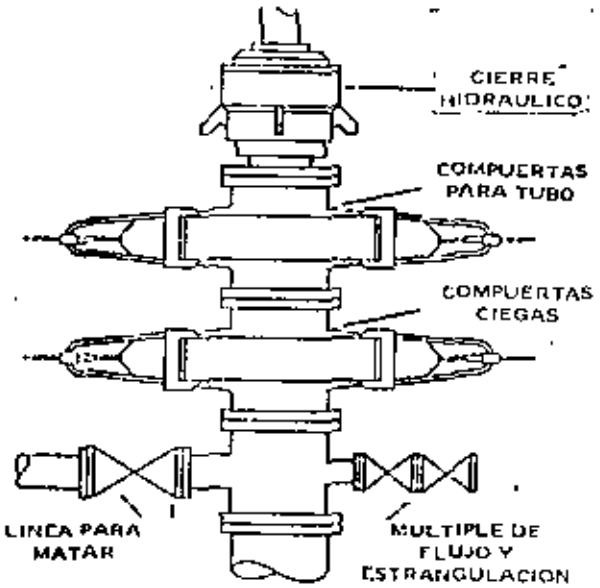


Fig. 10–10.– Estructura del preventor de reventones: compuertas ciegas (en el fondo). Un preventor anular (en la parte superior) de la estructura, seguido de un preventor del tipo de ariete con compuertas para tubo, otro preventor del tipo de ariete con compuertas ciegas y un carrete de perforación con el múltiple de flujo y estrangulación y la línea de matar conectada con bridas a la cabeza de la tubería de ademe.

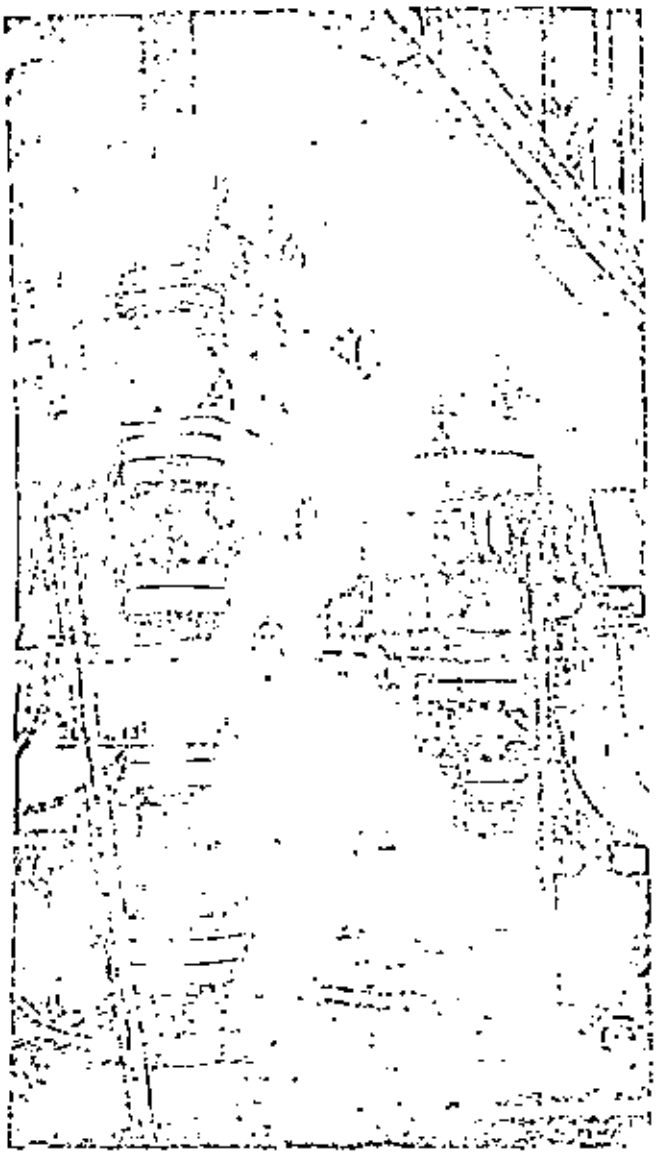


Fig. 10–11.– Estructura de preventor de reventones: para presión extremadamente alta. Muestra de abajo hacia arriba: una válvula maestra operada en forma manual; un preventor del tipo de ariete, un carrete de perforación con múltiple de flujo y estranguladores y una línea para matar, y (arriba de eso), dos preventores adicionales del tipo de ariete. En el fondo se observa un segundo preventor de reventones que puede sustituir la estructura que se encuentra en el agujero si es necesario. Muestra de abajo hacia arriba: un preventor de tipo de ariete, un carrete de perforación, un segundo preventor del tipo de ariete y un preventor anular.

A.P.I., define un ariete como sigue: "una unidad que se contrae del agujero de una cabeza de pozo o preventor de reventones, que en su posición extendida agarra un tubo para hacer un sello en el espacio anular entre la cabeza del pozo o preventor de reventones y el tubo, además que puede proporcionar un medio de soporte para la tubería". Es decir, un ariete es una parte de un preventor de reventones que se mueve introduciéndose y saliéndose del agujero (espacio libre) del preventor. Los arietes (o compuertas) se cierran, cuando operan en pares y sellan el espacio que queda abajo de ellas.

Los fabricantes de preventores de reventones y los usuarios, generalmente, se refieren a las unidades "ciegas" que cierran un agujero abierto, como: "compuertas ciegas" o "compuertas enteras". Aún más, algunos fabricantes y usuarios emplean el término "compuerta" en el mismo caso en que la norma GE usa "ariete"; por ejemplo, "compuerta maestra" y "ariete ciego", son términos que se usan indiferentemente.

En los primeros días de los preventores del tipo de ariete, los diseñadores, generalmente, proporcionaban un cuerpo de metal que tenía un agujero vertical que formaba una extensión de la tubería de ademe del pozo. Dos hoyos cilíndricos para émbolo cortaban este agujero en ángulo recto. Un vástago roscado movía cada émbolo hacia adelante o hacia atrás, entre las posiciones cerrada y abierta o retractada.

A medida que aumentaron las profundidades y las presiones se elevaron, consecuentemente, los fabricantes empezaron a ofrecer preventores operados con fuerza para usarlos con alta presión. Estos diseños dieron por resultado el tipo que usa pistones hidráulicos para mover las compuertas.

La experiencia con el uso de estos preventores, enfatizó la necesidad de reducir el tiempo perdido en el equipo para cambiar las compuertas. Muchos operadores querían utilizar preventores del tipo de dos compuertas en el agujero, con compuertas ciegas en el preventor superior. Un cambio rápido de compuertas, permitiría el cambio de estas compuertas ciegas por compuertas para tubo si tuviesen que dar una patada mientras entraba la tubería en el agujero. También reduciría el tiempo perdido para cambiar de compuertas para tubería de perforación por compuertas para tubería de ademe cuando la cuadrilla estuviese preparándose para correr por tubería de ademe. Por estas razones, los preventores actuales de tipo de ariete, permiten un cambio rápido de compuertas.

En la actualidad, el diseño más pupular y el más usual de los preventores del tipo de ariete, tiene un pistón de doble acción. El operador aplica la presión hidráulica a un extremo del pistón (o pistones) para mover la compuerta hacia su posición de cerrar. Además, los fabricantes proporcionan tornillos de cierre con seguro. Además de que se pueden asegurar las compuertas en posición de cerradas, estos tornillos pueden cerrar las compuertas si falla la operación de potencia, siempre que el sistema de operación no forme un cierre hidráulico evitando que los pistones estén en movimiento. Cuando se encuentran en posición de "abiertos", determinadas válvulas de control atrapan aceite adelante de los pistones de operación. Es necesario girar la válvula a la posición de "cerrar" para soltar las compuertas con el tornillo de seguridad. Cuando lo anterior falla, es necesario abrir una unión en la línea de "abrir" a los preventores.

PREVENTORES DE TIPO ANULAR

Los preventores de tipo anular, utilizan un anillo de empaquetadura o material de empaque para rodear el ojo del pozo o del preventor de reventones. En el estado laxo, el agujero a través del anillo es igual al diámetro del agujero, de la estructura o montaje del

preventor. Un sistema para apretar el empaque, permite al operador comprimirlo hasta que se ajusta a la tubería en el agujero. Los preventores anulares se operan con fuerza hidráulica y no se pueden cerrar manualmente.

Como el empacador de hule alterará su forma de manera considerable, estos preventores sellarán, generalmente, alrededor de cualquier herramienta de cualquier tamaño que se encuentre en el agujero. Son útiles cuando se está trabajando con un cable en el agujero sin preventor para cable. En caso de emergencia, pueden cerrar alrededor del cable.

La mayoría de los preventores anulares tienen una válvula reguladora, que permite al operador alterar la presión que se esté aplicando al empacador. Usando correctamente esta válvula reguladora, permite a los operadores desmantelar tramos de tubería adentro o afuera del agujero. Para este objeto, algunas gentes utilizan el preventor anular combinado con un preventor de ariete para tubo para desmantelar.

En caso de una emergencia, el operador puede cerrar el preventor anular en un agujero abierto y sellar el pozo. Sin embargo, cuando se practica con motivo de pruebas, ésta puede debilitar el hule. Siempre esté seguro de que hay tubería en el agujero antes de probar el preventor anular.

PREVENTORES INTERIORES

Cuando se está extrayendo la tubería de perforación, el primer aviso de un reventón inminente, frecuentemente, se presenta cuando el fluido de perforación se eleva con el tubo. Cuando el preventor de reventones exterior se cierra entre la tubería y la tubería de ademe, se ejerce presión adicional en la columna de fluido que se está elevando. En ese momento se debe hacer algo para controlar el flujo dentro de la tubería de perforación. Este es el punto cuando el preventor interior, con frecuencia considerado como un accesorio, se convierte en una necesidad. Conserve los preventores interiores en el piso de la torre para esas emergencias. Deben estar disponibles y en buenas condiciones de trabajo.

Los preventores interiores son una modificación de una válvula de retención. Generalmente, van en la columna de perforación entre dos tramos. Un preventor interior obstruirá el flujo dentro del tubo, pero ofrece poca resistencia a la circulación normal.

VALVULA DE TAPON DE LA BARRA CUADRADA

En instalaciones de 2000 lb/pulg^2 y más, una válvula de tapón es una pieza necesaria en el programa de prevención de reventones. La válvula de tapón, se coloca entre la unión giratoria y la barra cuadrada en la columna de perforación, controla el flujo del fluido de la barra cuadrada a la unión giratoria. Esto permite al operador mantener las altas presiones del pozo fuera de la unión giratoria y la manguera. Las válvulas macho con sellos elásticos, son las más comúnmente usadas.

La mayoría de las válvulas de tapón requieren llaves especiales para operarlas cerrando la válvula. En una emergencia, estas llaves pueden ser difíciles de localizar. Conserve siempre la llave en el mismo sitio, y asegúrese de que todos los miembros de la cuadrilla saben donde encontrarlas.

La prueba de las válvulas de tapón de la barra cuadrada, siempre deberán ser desde el fondo o del lado de la barra cuadrada, ya que el sello de la barra cuadrada es el que debe

resistir. Una válvula de tapón en óptimas condiciones, deberá estar bien balanceada para evitar que chicotée cuando gire, debido a un peso desigual. Su D.I. (diámetro interior) deberá ser tan pequeño como sea posible. Deberá tener un hoyo casi igual al de la barra cuadrada y al de la unión giratoria.

INSTALACION DE ESTRUCTURAS (o montajes)

Parece imposible diseñar una estructura de preventor que se ajuste a los requerimientos de todos los pozos que se perforen. Primeramente, la presión varía de un lugar a otro. Un pozo de producción poco profundo sin presión probable, no requiere el equipo pesado y caro que se necesita en un pozo de exploración profundo. Los equipos marítimos requieren un equipo mucho más elaborado de lo que necesitan sus iguales tierra adentro. Sin embargo, si el problema se puede resolver, los contratistas podrán ahorrar mucho en tiempo de instalación, compra de equipo nuevo y mantenimiento.

COLOCACION DE LOS PREVENTORES

¿Cómo se debe instalar la estructura del preventor? Cada hombre tiene su propia opinión basada en su experiencia y cada compañía tiene requerimientos específicos para sus pozos. Principalmente, el argumento gira alrededor de dos cosas: la posición de los preventores del tipo de ariete con compuertas ciegas y la localización del múltiple de flujo y estrangulación y la línea para matar.

PREVENTORES DE ARIETE CIEGO

Los preventores de tipo de ariete equipados con compuertas ciegas se utilizan para sellar un agujero abierto y cuando está equipado con compuertas ciegas, no se puede usar para otro propósito. Las compuertas pueden cambiarse por compuertas para tubería de perforación, permitiendo al perforador cerrar alrededor de una sarta de tubería de perforación. Sin embargo, cuando los preventores con compuertas ciegas se cierran contra una columna de tubos, posiblemente pueden cortar la columna en dos y originar un trabajo de pesca.

Algunas personas opinan que el preventor con las compuertas ciegas deberá colocarse entre el preventor de fondo y el preventor anular, mientras que otras prefieren que esté en el fondo.

POSICION DEL MULTIPLE DE FLUJO Y ESTRANGULACION Y LINEA DE MATAR

Existe una gran discusión acerca de la posición del carrete con el múltiple de estrangulación y flujo y la línea para matar con sus salidas. Algunas personas opinan que debería colocarse entre el preventor de ariete para tubería en el fondo, y el preventor de ariete ciego o compuerta maestra, inmediatamente arriba. Otros prefieren ponerlo abajo de todo el equipo preventor de reventones.

Existen algunas posiciones de los preventores y del carrete que son mejores que otras. Su disposición no es tan importante, sin embargo, como es el hecho de que la cuadrilla sabe cómo usar el equipo que se tenga a la mano. Si el equipo se encuentra en óptimas condiciones y se opera correctamente, entonces la mayoría de los reventones se pueden controlar.

Además del arreglo apropiado de los preventores, las pruebas y usos correctos, existen otras precauciones que son necesarias. La cuadrilla tiene que estar alerta para protegerse de la posibilidad de escurrimientos o fugas que se presenten en el conjunto, mientras el equipo está perforando. Tienen que manejar el equipo cuidadosamente, mientras se esté transportando de un lugar a otro.

CUIDADO DEL EQUIPO PREVENTOR

Los preventores de reventones y sus componentes, son pesados, difíciles de manejar y son piezas sumamente costosas.

PRECAUCIONES DURANTE LOS CAMBIOS

Mover la estructura del preventor de una localización a otra, exige la cooperación entre la cuadrilla y un conocimiento de los riesgos que intervienen al manejar el equipo. El manejo descuidado o incorrecto del equipo puede causar gran cantidad de daños. Al mismo tiempo, será peligroso para la cuadrilla. Cuando se muevan preventores nunca se utilicen eslingas de cuerda de manila. En lugar de ellas, use cables de acero, ya que son la mejor y más segura manera de manejar el equipo. La cuadrilla debe tener cuidado especial para no romper los cilindros operadores o las líneas hidráulicas. Algunas veces, si no están bien protegidos, los tornillos de seguro y las ranuras de anillo se dañan durante el cambio.

PROTECCION DE BRIDAS

Algunos preventores pueden transportarse con las bridas acopladas. Esto depende del peso y del tamaño del equipo. Generalmente, se desarman antes de que se cambien. Cuando se separan los preventores, las bridas y las ranuras de anillo, deberán protegerse antes de deslizar los preventores al camión. Determinados contratistas utilizan patines de madera para proteger las superficies de las bridas, mientras que otros tienen placas de metal para cubrir las superficies de arriba y del fondo. Se utilizan algunos patines de acero para mover el equipo.

Es muy importante proporcionar protección a las conexiones de fluido hidráulico. Relativamente, son fáciles de dañar. Si el preventor llegase a voltearse, las líneas podrían taparse con tierra, grasa o rocas. Cuando se desarman los preventores, las aberturas de las líneas deben cubrirse con tapones ciegos para protegerlas.

PRECAUCIONES DURANTE LA PERFORACION

Si la obra de cementación primaria en la tubería de ademe superficial no se hizo a todo lo largo hasta la superficie de la tierra, se deberá poner cemento adicional alrededor, por lo menos del tramo de la parte superior para evitar movimiento de la tubería de ademe y de la estructura del preventor, mientras se perfora. La estructura del preventor de reventones, deberá asegurarse a la subestructura del equipo, torre o mástil para evitar algún movimiento. No se deberá utilizar una unión combada de barra cuadrada y la barra cuadrada deberá centrarse en el agujero. Una unión tubular sustituta, deberá usarse con un protector de hule precisamente abajo de la unión de la barra cuadrada. Los pernos de las bridas en el preventor de reventones como conjunto, deben revisarse periódicamente para asegurarse de que ninguno se ha aflojado con la vibración debida a las operaciones de perforación.

CONEXIONES DEL PREVENTOR (Vea Fig. 10–12)

Además de la principal función de cerrar la parte superior del agujero, los conjuntos de preventores de reventones deben incluir arreglos para permitir el escape controlado de la presión del pozo, permitiendo bombear dentro del pozo con o sin tubería de perforación en el agujero cuando los preventores están cerrados, y un dispositivo apropiado para el llenado rutinario del agujero.

Los detalles principales, incluyen:

1.– Conexión de flujo y estrangulación.

2.– Conexión de la línea para matar.

3.– Conexión para llenar.

CONEXIONES DE FLUJO Y ESTRANGULACION

Debe haber alguna preparación en cualquier instalación de preventor de reventones, para permitir la descarga controlada de la presión del pozo. Este puede ser tan sencillo como una válvula unida al carrete de perforación con una línea que conduzca a las presas de lodo. Las conexiones más elaboradas, incluyen una válvula operada a presión, tes (o cruces), –válvulas estranguladoras de control, estranguladores, un manómetro y válvulas adicionales de reserva en serie. El arreglo de flujo estrangulado, deberá instalarse de manera que permita el flujo recto de la salida lateral del carrete de perforación a la zanja o presa de lodo. La tubería de alta presión que va del carrete a los accesorios de estrangulación, que [illegible] múltiple en un conjunto compacto, deberá ser bastante larga para que salga de la [illegible] estructura de la torre. Esto permitirá el acceso a los estranguladores sin necesidad de meterse debajo del piso de la torre. El flujo de escape de los estranguladores deberá descargar en tubos rectos a la zanja o presa de lodo. Estas líneas deberán estar firmemente ancladas para que no reculen o chicotéen.

CONEXIONES DE LA LINEA PARA MATAR (Vea Fig. 10–13)

Debe haber algún arreglo en cualquier instalación de preventor de reventones para permitir que se bombée a alta presión dentro del espacio anular entre la tubería de perforación y la de ademe cuando se cierran los preventores. El arreglo, generalmente, es aceptado por medio de accesorios unidos al carrete de perforación en el lado opuesto de la salida para la conexión de estranguladores. Empezando en el carrete de perforación, la línea para matar deberá incluir una válvula de 2 pulgadas (o más grande) apropiada para servicio de lodo, una válvula de retención y tubería que vaya a las bombas de lodo. Se pueden utilizar uniones articuladas en esta tubería. Esta conexión no se debe usar para el llenado de rutina del pozo. Frecuentemente se especifican válvulas de reserva. El trabajo de alta presión requiere accesorios de brida inmediatos al carrete de perforación. La norma propuesta por la A.P.I. (I.A.P.) especifica accesorios con bridas serie 1500 de A.P.I.

Aunque la mayoría de los operadores requieren únicamente una línea para matar, como se describió en el trabajo para alta presión, en especial cuando hay un preventor de reventones de tubo y de ariete abajo del carrete de perforación, regularmente requerirá una conexión de otra línea de emergencia para matar unida a la cabeza de la tubería de ademe. Esto es necesario para bombear dentro del pozo cuando el preventor inferior se encuentra

Fig. 10–12.— La unidad de cierre eléctrico de Hydril. Instalación completa de preventor de reventones. A es la línea de cierre de los preventores, B la línea para abrir. C es la línea de control remoto a los controles montados lejos de la unidad. D es el preventor anular; E es el múltiple primario de cierre. F es el acumulador. G es el motor eléctrico que mueve la bomba que levanta la presión del acumulador y H es el control de cierre montado en la unidad.

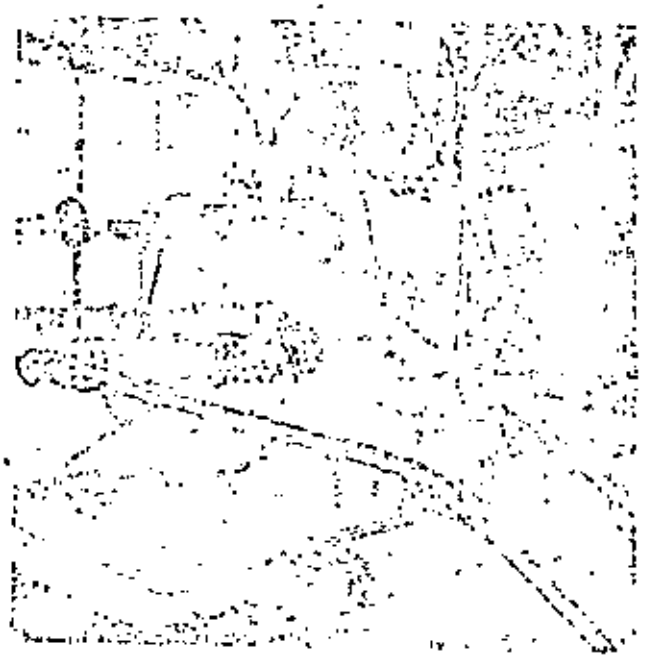


Fig. 10–13.— Línea para matar instalada en un equipo. Inmediato al carrete de perforación donde la línea penetra, existen dos válvulas de macho que se levantan, con las cuales el operador puede controlar el flujo de lodo por la línea hacia adentro del carrete de perforación. Esta línea conduce a las bombas de lodo.

cerrado. El arreglo de esta línea deberá seguir los principios descritos para la línea primaria de conexión para matar.

Algunos operadores consideran satisfactorio que la conexión de la línea para matar se haga en la línea de salida de los estranguladores adelante de la válvula de control de estrangulamiento. Este arreglo es aceptable para trabajo de baja presión. Los principios, por lo demás, deberán ser iguales que si la línea de matar estuviese unida al carrete de perforación.

Las válvulas en la línea de matar próximas al carrete de perforación, deberán conservarse cerradas todo el tiempo cuando realmente no se estén utilizando. Esta práctica, por sí sola, reglamenta que esta línea no debe utilizarse para el llenado rutinario del pozo, que se describirá por separado.

CONEXION PARA LLENADO

Aunque realmente no es una conexión de presión para control de reventones, una conexión separada independiente de la conexión de estranguladores y/o para matar, generalmente, se especifica para el llenado rutinario del pozo. El pozo debe conservarse lleno. Frecuentemente, esta es una operación regular que se ejecuta. El fluido de perforación es abrasivo, ya que frecuentemente, los accesorios y las líneas por las cuales se bombea el lodo, se cortarán. Si la línea de la conexión para matar se utiliza para el llenado rutinario del agujero, podría no resistir la presión en una emergencia. Por esta razón, la práctica aceptada de una buena perforación, requiere una conexión separada para llenar el pozo.

La tubería de baja presión y los accesorios roscados, son aceptables para la conexión de llenado.

EQUIPO DE CIERRE (Vea Figs. 10–14, 10–15 y 10–16)

Tanto los preventores del tipo anular, como los de ariete, se accionan con presión hidráulica. Esta, generalmente, requiere una bomba, un recipiente de aceite hidráulico y la tubería de conexión.

Algunas bombas trabajan con motores eléctricos con corriente de los generadores del equipo. Otras están accionadas con motores de aire comprimido del abastecimiento de aire del equipo. Y otras pueden moverse con una transmisión de fuerza de las máquinas principales del equipo o con máquinas auxiliares.

Debido a la posibilidad de que no se disponga de cualesquiera de estos equipos en una emergencia, se han puesto en uso los acumuladores. Estos acumuladores permiten almacenar instantáneamente energía que se puede utilizar en las compuertas, aun cuando toda la fuerza del equipo esté fuera de servicio.

Un acumulador, en esencia, es un tanque a presión dividido en dos compartimentos con aceite hidráulico en uno y gas a presión en otro. Un diafragma o un pistón separa a los dos. El gas debe ser nitrógeno o cualquier otro gas inerte. La razón es simple: el oxígeno (o el aire puro), el hidrógeno, metano y todos los gases combustibles se calientan cuando se comprimen. El contacto con el gas caliente del aceite hidráulico puede originar una explosión. El nitrógeno no es combustible, por lo tanto, se puede usar.

Cuando se abre la válvula de control, la presión del gas comprimido fuerza el aceite

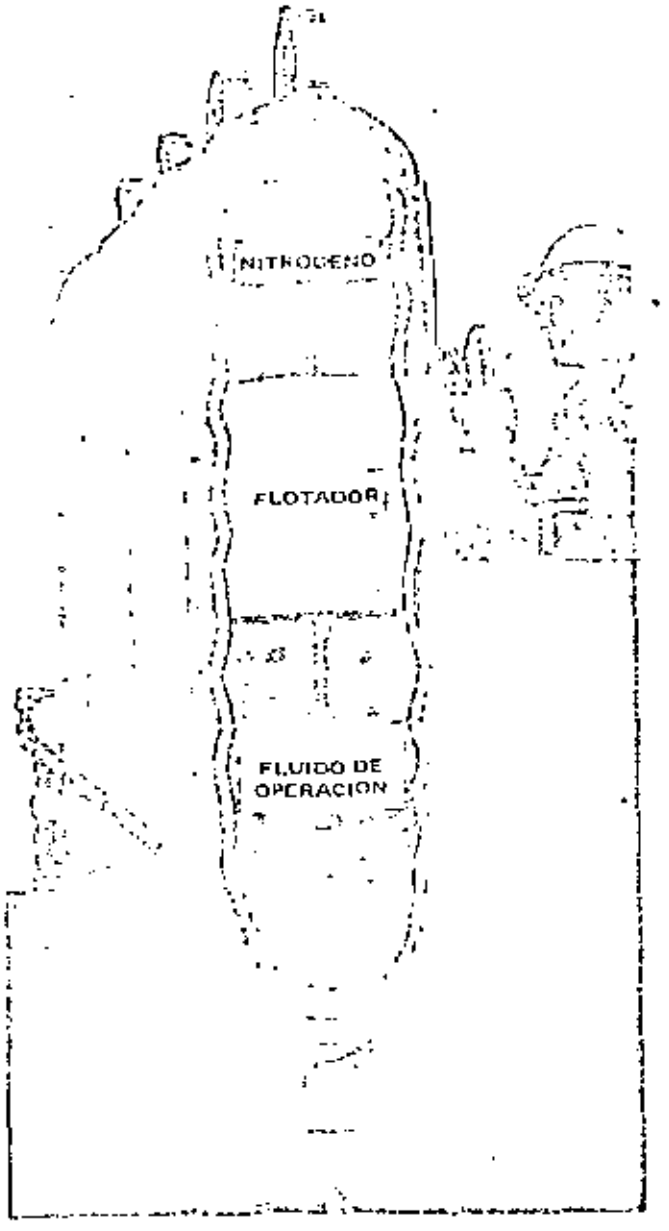


Fig. 10–14.– Corte de un acumulador Payne. El nitrógeno en la parte superior del cilindro se expande cuando se abre la válvula inferior y dirige el fluido a los preventores.

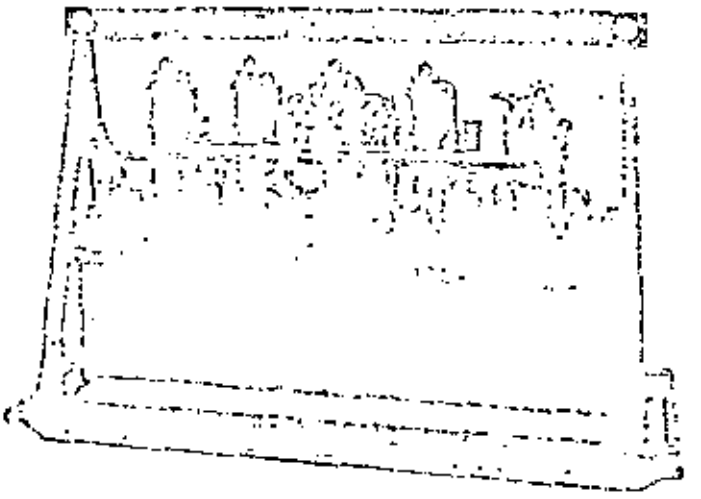


Fig. 10–15.– Unidad de bomba Koomey, compuesta de motores de aire montados arriba de la unidad, con las bombas operadas con aire sumergidas en el tanque de almacenamiento. Los controles de operación están montados al frente de la unidad. Esta unidad opera con aire comprimido de las compresoras del equipo.

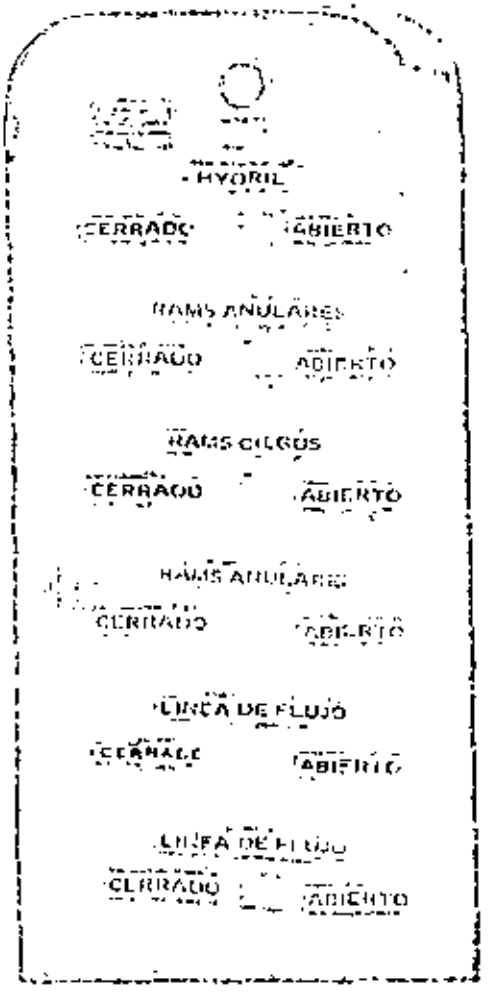


Fig. 10–16.– Esta unidad múltiple de control remoto puede operarse con fluido o con aire. Generalmente, se monta a cierta distancia de la unidad de operación.

hidráulico a través de la tubería hasta el preventor y el cierre del mismo tiene lugar. La presión en el preventor se descarga regresando el aceite al tanque de aceite y las compuertas pueden volverse a abrir cuando haya pasado la emergencia. Luego se vuelve a presionar el sistema con una de las bombas del equipo y queda listo para usarse una vez más.

ESTACIONES DE CONTROL

Como regla general existen dos —y a veces hasta tres— consolas de control para el sistema de cierre del preventor en diferentes lugares alrededor del equipo, localizadas, de tal manera que una esté accesible, aún durante las emergencias.

Es responsabilidad de toda persona en el equipo, el saber cómo operar estos controles. Periódicamente, se imparten instrucciones a este respecto, cuando todo está normal para que no haya pérdida de tiempo para cerrar las compuertas cuando se presente una emergencia.

Como estos controles son diferentes de equipo a equipo, aprenderlos de un equipo nuevo para un hombre de la cuadrilla es la primera orden del negocio.

Respecto a cuándo cerrar los preventores, siempre depende del perforador en turno, excepto en emergencias extremas. Normalmente, existe un momento correcto y uno incorrecto para utilizar este equipo y no se espera que un hombre nuevo lo sepa a menos que se le informe.

JUNTAS DE SEGURIDAD

Es probable que cualquier persona que va a trabajar como contratista de perforación, asista a juntas periódicas de seguridad. Cometerá un error si toma estas juntas a la ligera o si las considera como "sólo una de esas cosas".

Las personas que planean y que son responsables de sus resultados, han cooperado con gran cantidad de tiempo y esfuerzo a estas juntas. Como uno del grupo, lo menos que puede hacer es compenetrarse del espíritu del asunto y dar su contribución.

Nunca sabrá cuál de los riesgos que se le señalan en alguna de esas juntas, puede salvarle la vida, evitarle una lesión dolorosa o que quede inválido para el resto de sus días.

REGISTROS DE SEGURIDAD

Si desafortunadamente, sufre una lesión en su trabajo, se le pedirá que coopere para hacer un informe completo de lo ocurrido. Esto no es opcional; la ley lo exige.

Dichos informes son necesarios antes de que se pueda pagar la compensación por tiempo perdido debido a un accidente y una lesión. Lo que puede ser de mayor importancia, es que el análisis de su percance puede ser útil para prevenir que no vuelva a ocurrir el mismo incidente a usted o a algunos de sus compañeros de trabajo.

Aún las lesiones menores —especialmente aquéllas en las que se rompa la piel— deberán informarse de inmediato y tomar medidas preventivas apropiadas contra una infección seria. Si el botiquín de primeros auxilios no tiene ninguno de los medicamentos esenciales, con anticipación, se deberá informar al perforador, para que el botiquín se reabastezca antes de que se presente el accidente.

UN FUTURO SEGURO PARA USTED

Este pequeño manual para trabajadores principiantes, sólo es un "rasguño en la superficie" en lo que se refiere a la seguridad en el equipo. Pero es un principio. Tendrá todos los alicientes del mundo para continuar estudiando.

Primeramente, su perforador y sus compañeros de trabajo con experiencia estarán ansiosos de ayudarle. Contestarán a sus preguntas SI hace esas preguntas. A medida que obtiene experiencia en el equipo, escuchará más acerca de los riesgos especiales que acompañan ciertas operaciones, como las pruebas de vástagos de perforación, correr la tubería de ademe, levantar los objetos pesados y cosas por el estilo. Si se encuentra en un equipo marítimo, recibirá una educación liberal sobre cómo conservar la vida en un equipo mar afuera. Todo lo que aprenda, dependerá de usted.

Debe pedir a su supervisor o encargado de seguridad, le proporcione boletines sobre seguridad. La Asociación Americana de Contratistas de Perforación de Pozos de Petróleo, 505 North Ervay, Dallas, puede proporcionarle algunos de los mejores. Su patrón puede haber mandado hacer un folleto especial para su gente. Pregúntele acerca de ello.

¡No ganará nada si aprende las prácticas de seguridad y luego, por negligencia o descuido, deja de aplicarlas. En este negocio de la perforación, como en cualquier otro paso de la vida, la dedicación es la que permite hacer un buen trabajo!

APENDICE

En las siguientes páginas se encuentran los Apéndices A y B.

El Apéndice A es una sugestión para una forma de inspección de seguridad del equipo. Un ejercicio útil, sería usar ésto en el equipo donde trabaja y ver cómo lo calificaría desde el punto de vista de la seguridad.

El Apéndice B muestra un número de diferentes clases de extinguidores de fuego y los tipos de fuego para los que se recomienda especialmente cada uno.

MATERIAL DE SEGURIDAD QUE SE RECOMIENDA

La Asociación Americana de Contratistas de Perforación de Pozos de Petróleo, edita dos buenos folletos que encontrará de suma utilidad:

Manual de Perforación Rotatoria sobre Prevención de Accidentes y Procedimientos Seguros de Operación.

Temas para Juntas de Seguridad de cinco minutos.

El Departamento de Minas de los Estados Unidos, publica un manual de primeros auxilios que es la última palabra en este tipo de publicaciones.

APENDICE A

INSPECCION DE SEGURIDAD EN EQUIPOS ROTATORIOS

EQUIPO No. _____ AREA: _____ FECHA: _____

Todo el equipo enlistado abajo, si se usa en el equipo que se está inspeccionando, deberá examinarse y marcar correctamente la hoja.

	BUENO SI	MALO NO
Sótano limpio. Sin basura.	☐	☐
Línea muerta alrededor del larguero de la esquina.	☐	☐
Condición de las bases.	☐	☐
Línea eléctrica, buena condición.	☐	☐
Líneas eléctricas, correctamente protegidas.	☐	☐
Estantes de tubería.	☐	☐
Estantes de almacenamiento.	☐	☐
Línea de escape y deslizador.	☐	☐
Herramientas de mano en los tableros.	☐	☐
Condiciones generales de las herramientas.	☐	☐
Mangos de martillos/hachas.	☐	☐
Cabezas de cinceles.	☐	☐
Gafas de seguridad.	☐	☐
Condición del cabrestante.	☐	☐
Cabeza automática.	☐	☐
Líneas de enroscar.	☐	☐
Condición de las cuñas.	☐	☐
Condición de los dados de las tenazas.	☐	☐
Abrazaderas en las líneas de tenazas y de desarmar.	☐	☐
Tenazas bien protegidas (pesos).	☐	☐
Manguera rotatoria amarrada.	☐	☐
Cadena de seguridad en el tubo vertical.	☐	☐
Escaleras, barandales.	☐	☐
Escaleras, escalones.	☐	☐
Escaleras, pernos.	☐	☐
Corredor alrededor del piso y barandal.	☐	☐
Línea de izar y garrucha.	☐	☐
Plataforma del "chango".	☐	☐
Escalones en buenas condiciones.	☐	☐
Pisos en buenas condiciones.	☐	☐
Barandales apropiados.	☐	☐
Pasillos.	☐	☐
Máquinas con guardas y cuarto de máquinas.	☐	☐
Guarda de la transmisión de la rotaria.	☐	☐
Línea muerta libre.	☐	☐
Guardas en las bandas de las bombas.	☐	☐
Todos los miembros de la torre o mástil apretados.	☐	☐
Todos los accesorios de alta presión en las líneas de alta presión.	☐	☐

	BUENO SI	MALO NO
Riesgos de fuego controlados.	☐	☐
Acceso seguro a todas las áreas.	☐	☐
Limpieza y arreglo generales.	☐	☐
Cinturones de seguridad.	☐	☐
Cascos de seguridad.	☐	☐
Zapatos de seguridad.	☐	☐
Pantalla del P.D.R.	☐	☐
Almacén de herramientas.	☐	☐
Oficina.	☐	☐
Botiquín de primeros auxilios.	☐	☐
¿Están instruidas las cuadrillas en el uso de extinguidores de incendio?	☐	☐
Condición del freno.	☐	☐
Todos los embragues buenos.	☐	☐
Todos los controles trabajan fácilmente.	☐	☐
Línea de agua contraincendio.	☐	☐

EXTINGUIDORES CONTRA INCENDIO

NUMERO	CLASE	TAMAÑO	CONDICION

OBSERVACIONES:

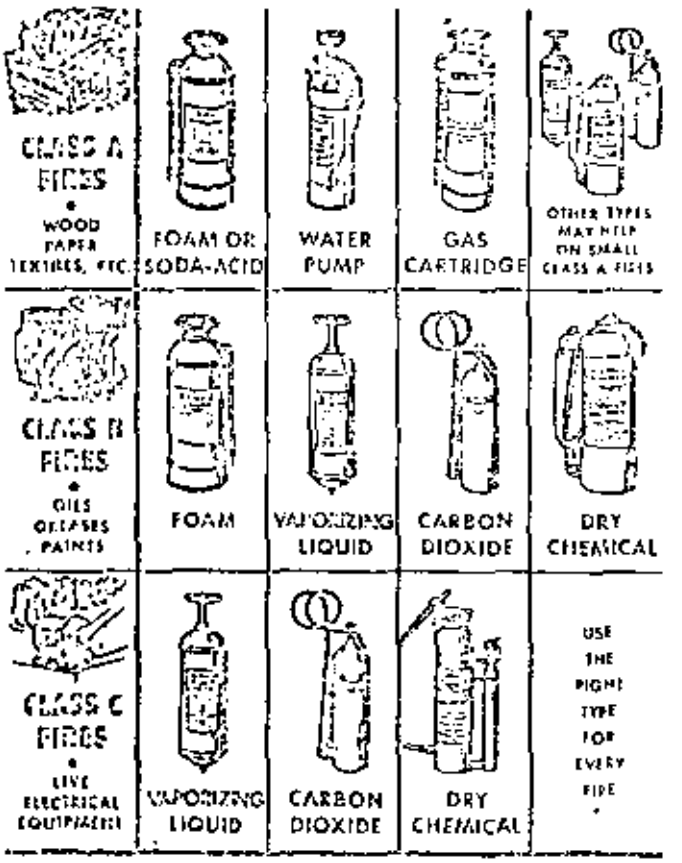
INSPECCIONADO POR: _____

JEFE DE PERFORADORES: _____

RECIBIDO EN LA OFICINA: _____

APPENDIX B

Types of Fire Extinguishers



APENDICE B

TIPOS DE EXTINGUIDORES DE INCENDIOS

FUEGOS CLASE A • MADERA PAPEL TEXTILES ETC.	ESPUMA O CARBONATO Y ACIDO	BOMBA DE AGUA	CARTUCHO DE GAS	OTROS TIPOS PUEDE AYUDAR EN FUEGOS PEQUEÑOS CLASE A
FUEGOS CLASE B • ACEITES GRASAS PINTURAS	ESPUMA	LIQUIDO VAPORIZABLE	BIOXIDO DE CARBONO	POLVO QUIMICO SECO
FUEGOS CLASE C • EQUIPO ELECTRICO CARGADO	LIQUIDO VAPORIZABLE	BIOXIDO DE CARBONO	POLVO QUIMICO SECO	USE EL TIPO CORRECTO PARA CADA FUEGO

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD I LECCION 10

PREGUNTAS DE LA LECCION 10 DE LA UNIDAD I

"SEGURIDAD EN EL EQUIPO"

NOMBRE: _____

FECHA: _____

1.— ¿Qué piensa de esta aseveración? "La seguridad es una cosa buena, pero no se debe perder mucho tiempo siendo tan cuidadoso". (Marque abajo la respuesta que le guste).

a.— Eso me parece correcto. _____

b.— No pierde tiempo trabajando seguramente. _____

2.— Aquí hay dos aseveraciones. Marque en el espacio libre, la que considere que sea correcta.

a.— La seguridad es problema del ingeniero de seguridad. _____

b.— La seguridad es asunto de todos. _____

3.— Aquí hay dos aseveraciones. Marque en el espacio libre, la que considere que sea correcta.

a.— Los hábitos inseguros pueden costar la vida de cualquiera. _____

b.— Nadie se muere en la víspera. _____

4.— Con sus conocimientos personales, complete las siguientes aseveraciones:

"En el equipo donde trabajo, hay _____ extinguidores de incendio, localizados como sigue:

(1) _____ (2) _____ (3) _____

(4) _____ (5) _____

5.— De acuerdo con las etiquetas de los extinguidores anteriores, les prestaron servicio en las siguientes fechas:

(1) _____ (2) _____ (3) _____

(4) _____ (5) _____

6, 7, 8.– (Pregunta triple). Escriba el nombre de cada nudo en el espacio libre.

a.– _____ b.– _____ c.– _____

d.– _____ e.– _____ f.– _____

9, 10.– (Pregunta doble). Diga cómo puede usar por lo menos cuatro de los nudos anteriores en un equipo de perforación.

a.– _____

b.– _____

c.– _____

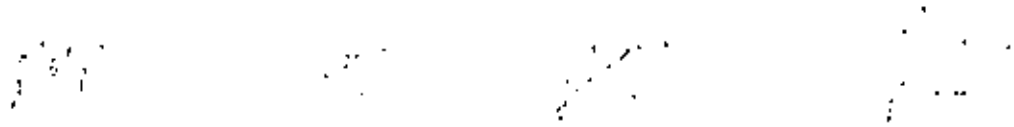
d.– _____

e.– _____

f.– _____

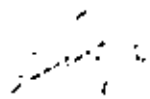
En esta página hay cuatro grupos de esquemas de aplicaciones de cables de acero, indique marcando el espacio libre el mejor procedimiento en cada grupo:

11.–



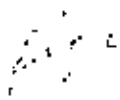
a.– _____ b.– _____ c.– _____ d.– _____

12.–

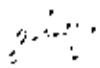


a.– _____ b.– _____ c.– _____

13.–

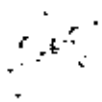


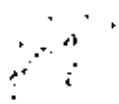
a.– _____ b.– _____



c.– _____

14.–





a.– _____ b.– _____

15.— Marque cada uno de los artículos que crea conveniente para utilizar mientras trabaja en el piso del equipo:

a.— Guantes con puños para cubrir muñecas. _____

b.— Sombrero con ala ancha para dar sombra en los ojos. _____

c.— Zapatos con punteras reforzadas. _____

d.— Una camiseta de polo o camisa sin mangas (como ropa exterior). _____

16.— ¿Aprobaría andar sin camisa?

Sí _____ No _____

¿Por qué sí o no? _____

17.— La principal razón para recoger las herramientas del piso del equipo es (marque una):

a.— Para que no se pierdan. _____

b.— Para evitar tropezarse con ellas. _____

c.— Para conservar limpias las herramientas. _____

18.— En su equipo, ¿puede alcanzar fácilmente los controles el hombre que maneja la línea de izar en el cabrestante?

Sí _____ No _____

19.- En cada uno de los siguientes espacios libres, mencione por lo menos una forma en que se puede lesionar un miembro de la cuadrilla:

a.— En la cabeza _____

b.— En un ojo _____

c.— En un pie _____

20.— ¿Cómo podría impedirse la lesión mencionada?

a.— En la cabeza _____

b.— En el ojo _____

c.— En el pie _____

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 1

HACIENDO AGUJERO

1980

INSTITUTO
MEXICANO
DEL
PETROLEO

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 1

HACIENDO AGUJERO

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

1980

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

LISTA DE TITULOS

UNIDAD I I

Este manual es traducción de la serie titulada: Rotary Drilling, Unit II Lesson 1, - Making Hole, editado por Petroleum Extension Service, the University of Texas Division of Extension, Austin, Texas, en colaboración con la American Association of Oilwell Drilling Contractors, quien concedió la autorización correspondiente al - Instituto Mexicano del Petróleo, en fecha 15 de abril de 1969, para su traducción y edición en español. El Instituto Mexicano del Petróleo, agradece dicha colaboración.

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

Unidad II - Lección 1

Haciendo Agujero

UN CURSO PARA ESTUDIAR EN CASA

editado por:

SERVICIO DE EXTENSION DE PETROLEO
UNIVERSIDAD DE TEXAS - DIVISION DE EXTENSION

AUSTIN - TEXAS

EN COOPERACION CON

ASOCIACION AMERICANA DE CONTRATISTAS DE
PERFORACION DE POZOS PETROLEROS
DALLAS, TEXAS.

1969

INTRODUCCION

El comité de educación y capacitación de la Asociación Americana de Contratistas de Pozos de Petróleo es el patrocinador de cuatro unidades de material elemental de capacitación sobre la perforación de pozos de petróleo y gas. Estas representarán aproximadamente cuatro años de estudio en la casa, aunque algunos hayarán que es posible completar el estudio en una fracción de ese tiempo.

Esta es la lección I de la Unidad II.

La lista completa de las cinco lecciones que constituyen la Unidad II está impresa en el interior de la cubierta frontal de esté manual. La lista de las doce lecciones que constituyen la Unidad I está impresa en el interior de la cubierta posterior.

Los patrocinadores comprenden que la mayor parte del aprendizaje logrado por los hombre que trabajan en la industria de perforación necesariamente tendrá lugar en el trabajo. Se espera que estas lecciones impresas breves ayudarán al novato a obtener una ventaja en este trabajo y acelerar así el procedimiento de aprendizaje.

El comité de educación y capacitación estará dispuesto a hacer sugestiones sobre la manera más apropiada para usar estas lecciones. La AADCPPP también estará en condiciones de proporcionar materiales suplementarios en forma de películas, guías de estudio, otras publicaciones y otros por el estilo.

Todas las partes interesadas se comprometen formalmente con la meta de hacer que el estudio del trabajo vital de perforación de pozos de petróleo y gas sea tan remunerativo como sea posible para el usuario de las lecciones.

John Woodruff, Director asociado
Servicio de extensión de petróleo
Universidad de Texas.

Austin, Texas
Abril, 1968

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

LISTA DE TITULOS

UNIDAD I

El equipo y su mantenimiento

I N D I C E.

PERFORACION ROTATORIA - UNIDAD I I

LECCION 1 : HACIENDO AGUJERO

INTRODUCCION:

Hay una regla vieja, muy vieja, para perforar: Coloque la barrena en el fondo y gire a la derecha.

Esta expresión exageradamente moderada es típica del humor satírico que con frecuencia es la característica de los trabajadores de los trabajadores de los campo petroleros. Dice algo, pero deja sin decir mucho más.

Los innumerables factores que toman partes para hacer agujero tienen que reconocerse y considerarse seriamente cuando llega el tiempo de empezar a hacer agujero en un pozo. Muchos de estos factores se mencionarón o se trataron ligeramente en las diez lecciones de la unidad I de esta serie.

La unidad I trató principalmente de toda la "chatarra" que se necesita ensamblar para hacer un equipo rotatorio. Esta lección se ocupará principalmente de cómo se usa el equipo para hacer agujero de tal manera que el contratista pueda ganar dinero.

Como verá en los párrafos siguientes hay muchas posibilidades de un buen desempeño, y casi tantas también de mal funcionamiento que darán por resultado perforación defectuosa y algunas veces un desastre completo.

LOS FACTORES DE PERFORACION

No es frecuente que todo pueda ser ideal en perforación. Las decisiones sobre el curso correcto para hacer agujero implica muchos compromisos. Ilustremos ésto con solo un ejemplo:

Una determinada sección que se va a perforar es en su mayor parte de fácil excavación - esquisto suave por ejemplo. Por lo tanto se mete una barrena de dientes largos. En la excavación suave se presenta una sección delgada de roca dura. La barrena se desafila y la saca antes de que pase la veta dura. Decide meter una barrena para formación dura. Perfora unos cuantos pies y sale al esquisto suave y pagajose otra vez. Su barrena para formaciones duras más no lo cortará. Así es que la saca. Ahora, ¿ que hacer ? Podría ser que transija con una barrena que haga agujero en el material suave, aunque no tan aprisa como quisiera. Pero también le durará más si toca otra vetilla dura.

Esta es una barrena de compromiso que no es la ideal ni para la excavación suave ni para la dura.

El asunto de hacer agujero con frecuencia es una larga serie de esos compromisos. Para hacer la decisión correcta el perforador y el jefe de pozo tienen que darse cuenta de los factores que implica la perforación. Los más importantes de éstos se mencionan aquí y se estudiarán mas adelante.

1,- La sección geológica. Esto se refiere a la naturaleza de la formación que se va a perforar.

2.- La capacidad del equipo.

3.- El programa de fluido de perforación.

4.- La barrena.

5.- Tres factores críticos :
Peso de la barrena
Operación rotatoria
El factor hidráulico

LA SECCION GEOLOGICA.

La naturaleza de las formaciones que se va a perforar en cualquier pozo se estableció hace mucho tiempo probablemente millones de años. Nadie va a cambiarla. El perforador tiene que adaptarse a ella, siempre que pueda. Puede hacer un trabajo mejor de adaptación ni sabe de ella lo más que sea posible . Es sorprendente la cantidad de información que se puede sacar acerca de la formación o formaciones que se van a penetrar en la perforación de un pozo con la posible excepción de un pozo de exploración de primer orden.

Si el pozo va a estar a un paso de la producción establecida, o es uno interior en un campo en desarrollo puede superarse que el representante del contratista que concursa para el trabajo no está trabajando en la obscuridad. Si el operador falló y no dío datos, siempre hay otras fuentes donde conseguirlos. Existen registro de barrenas generalmente disponibles cuando otros pozos se han perforado en la vecindad. Muchas colecciones de registros de pozos estan accesibles al público. Excepto en pocos casos en los que la información se considera confidencial, para los fabricantes de barrenas y de materiales para lodo pueden dar valiosa información.

No se sugiere que el perforador necesite dedicarse a obtener alguna -- ayuda; pero, por otro lado, si está en territorio nuevo si es aconsejable que aprenda lo más que sea posible antes de iniciar la excavación, y con frecuencia puede aprender mucho solamente preguntando.

Además de obtener una idea general de la clase de condiciones para perforar en la sección en donde se va a perforar, hay ciertos detalles muy específicos que valen la pena de tomarse el trabajo de recogerlos.

Fluido y presiones de la formación.

Una de las primeras cosas que debería tener presente el perforador es que presiones subterráneas de gas y/o agua que fluyan se han registrado en el área. Si estás han demostrado que son críticas, ¿ a qué profundidad es probable que ocurran ? ¿ Es posible que las formaciones que se van a penetrar puedan contener volumenes peligrosos de agua o gas con las que se tenga que luchar ? Si es así ¿ Que es lo que ésto sugiere respecto al equipo preventor de emergencia ? ¿ Que hay de flujos de agua salada y el mantenimiento de la condición del lodo?

El problema del agujero torcido.

¿ Está el pozo que va a perforar en región de agujeros - torcidos ? Si es así, ¿ a que profundidad se presenta primero el problema? ¿ Cuál es la política del operador referente a la desviación del agujero del pozo? ¿ Que es lo que está escrito en el contrato respecto a la desviación del agujero, ya sea con referencia al ángulo total hecho o de desviación máxima en cualquier sección de cien pies (la " pata de perro)

Marcas o señales geológicas (Fig 1 - 1)

En la mayoría de las áreas en las que se ha perforado - abundantemente hay marcas o señales subterráneas bien conocidas con las cuales correlacionar los estimados de las "altas" y "bajas" en que se pueden encontrar más profundamente en los pozos.

Por ejemplo, en la cuenca pérmica del oeste de Texas y Nvo. México la anhidrita de Rustler es una marca ampliamente reconocida. Después de que se ha penetrado, se ha registrado la profundidad de su sub-superficie y se conoce su posición "alta " y "baja" relativa, muchas de las secciones productoras potenciales que están debajo de ella pueden localizarse en cuanto a su profundidad.

Fallas (Fig 1 - 2)

La falla es un accidente geológico en una gran cantidad de

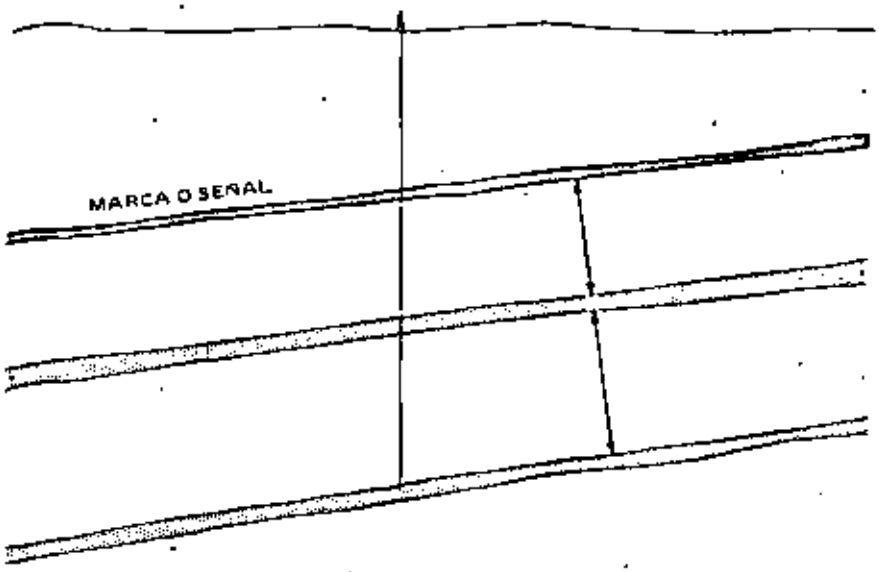


Fig. 1–1.– Las marcas o señales geológicas puntualizan las zonas de interés

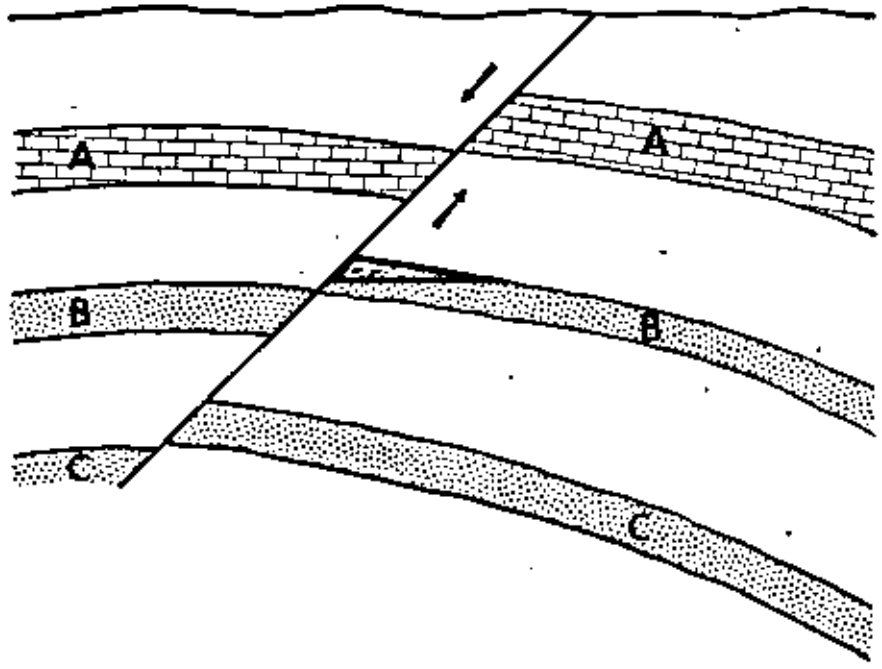


Fig. 1–2.– Las fallas algunas veces controlan las acumulaciones de aceite

campos. De hecho, la falla muy comúnmente juega un papel importante en la acumulación de aceite y gas que forman un campo. El perforador no necesita ser siquiera un aficionado a la geología con objeto de comprender el papel determinante que una formación con falla; puede significar en el negocio de la perforación.

Las fallas y las fracturas pueden ser características locales confirmadas a una parte de un solo campo (como en el campo Conroe de las costas de Texas) o un sistema de fallas que puede extenderse sobre grandes distancias y ser responsable de una " tendencia" que comprende muchos campos petroleros potenciales. Uno de los ejemplos más famosos de esto es la zona de fallas Balcones que cruza Texas desde el noreste hasta el sureste.

La perforación en algunos campos con fallas se caracteriza por ocurrencias tan extraordinarias como perforar la misma formación lo esperado y encontrar algunas formaciones de deberían haberse perforado totalmente inexistentes.

Formaciones inestables.

Esquistos fangosos

Por casi medio siglo los perforadores en ciertas áreas han estado muy bien familiarizados con formaciones que se conocierón primero como "esquistos desplazantes". Cuando se hemedecen con el agua del lodo de perforación estas formaciones tenían una propiedad de hincharse y llenar el agujero del pozo. El resultado usual era un trabajo de pesca. Un resultado frecuente era la pérdida del pozo y por lo menos parte de la columna de perforación.

Aunque ahora se conoce mucho más de esas formaciones, todavía se deben perforar en algunas áreas y todavía merecen atención especial.

Zonas de pérdida de circulación

Las zonas ladronas que se llevan el fluido de perforación se pueden encontrar casi en cualquier lado. También se encuentran a muy diferentes profundidades, de las "raices del pasto" a formaciones muy profundas. No solamente desbaratán la perforación mientras se restrablece la circulación sino que causan trabajos de pesca tan frecuentes como eventuales.

Mientras que no es posible perforar alrededor de ellas, no pueden tomar medidas preventivas con anterioridad a la perforación de las mismas.

Una acción correctiva inmediata puede tambien reducir al mínimo las - dificultades que se presentan con frecuencia como resultado de perforar dentro de ellas.

Capas de sal.

En Kansas, Texas, Oklahoma y Nuevo México hay miles de millas cua - dradas y muchos campos petroleros en donde el agujero del pozo pene - tra depósitos de sal de roca. Algunas de estas capas alcanzan un espe - sor de 1500 pies. Además hay muchos depósitos que varían en espesor de unos cuantos a cientos de pies.

No es probable que algún perforador esté en un pozo don - de ocurren las capas más masivas y a pesar de ello no darse cuenta de su existencia. Ni tampoco es poco probable que se tengan que hacer - preparativos especiales para perforarlas. El programa de fluidos de - perforación generalmente se planea teniendo en cuenta estas capas de - sal. En algunos casos se pueden adoptar procedimientos especiales con respecto a la " limpieza " para reducir al mínimo de corrosión de la - tubería de perforación y el equipo de las líneas de flujo.

En todo caso, donde existen capas de sal, el perforador deberá estar alerta respecto a ellas y prepararse para resolver cualquier problema que pudiera presentarse.

LA CAPACIDAD DEL EQUIPO

Un equipo de perforación tiene dos capacidades para el - propósito de nuestro estudio. Una podría llamarse la " capacidad total" y la otra la " capacidad para hacer agujero ".

Capacidad Total

Como lo sugiere el título, esta sección se refiere a la ca - pacidad del equipo para hacer todas aquellas cosas que contribuyen a - descender en un pozo. Casi todo en el equipo debe considerarse.

La capacidad de elevación es seguramente una parte de - viajes redondos espeditos así como el manejo de sartas de tubería de a - deme. Un equipo de frenos adecuado es una parte esencial de la eleva - ción. La capacidad de las unidades motrices que se usan para la eleva - ción es una parte del aspecto de conjunto.

Las cribas de lodo, los preventores de reventones, las - poleas de la corona y viajera, el equipo mezclador de lodo - todo esto es una parte del cuadro.

En contraste con la capacidad total, veamos los compo - nentes que son críticos en lo que es realmente hacer agujero - hacer - bajar el vástago cuadrado de transmisión, si lo prefiere.

CAPACIDAD PARA HACER AGUJERO.

Supongamos que llega al piso un perforador. Releva a una cuadrilla que acaba de poner en el fondo una barrena afilado. Pone la mano en el freno, Lo afloja y encuentre el fondo. Este es el "momento de la verdad". Durante las siguientes ocho horas queda cara a cara con la proposición de hacer algún metreje y ganarse su salario.

Esta a punto de emplear la capacidad total del equipo para hacer agujero, por lo menos hasta donde se lo permitan sus conocimientos y su habilidad.

Hasta que baje el vástago cuadrado se preocupa de :

1.- Las bombas (y las unidades motrices).
2.- La rotaria (y su motor principal).
3.- La sarta de perforación y la barrena.

Tan pronto como baja el vástago cuadrado habrá un corto período de tiempo cuando se suspende la ejecución del agujero. Esto es para hacer una conexión y regresar el vástago cuadrado para que pueda bajarlo otra vez.
Así continuará - es su esperanza - durante el resto del turno:

Hacer agujero - hacer conexión - hacer agujero, etc. etc.

Finalmente, más tarde o más temprano, llega un viaje redondo para una barrena nueva. La ejecución del agujero interrumpe nuevamente - durante un período más largo esta vez. Mientras dura el viaje se paran las bombas.
La sarta de perforación y la barrena son solamente peso muerto. Ahora es cuando se preocupa con la capacidad total, o más especialmente, de la capacidad de elevación del equipo.

Pospongamos el viaje por el momento y volveremos con el perforador con una barrena nueva en el fondo. El viaje vendrá después.

Requerimientos del equipo para hacer agujero

Arranca la bomba. ¿ Cuanto bombea ?
Suelta el peso ¿ Cuanto Peso ?
Arranca la rotaria ¿ Cuantas rpm ?
La barrena está en el fondo. ¿ Está el fondo donde se supone que debiara estar?
La barrena empieza a perforar . ¿ Que clase de barrena?
El lodo empieza a circular. ¿ Que clase de lodo?

El nivel del lodo sube o baja ¿ Cual era el nivel del lodo?

Para constestar una de estas preguntas necesita las respuestas de una o más de las otras primero. El perforador que sale del turno le indicó sobre las más críticas, eso esperamos.

Tal vez este perforador toma las cosas con calma durante unos cuantos minutos mientras empieza a leer u obtener algunas de las respuestas por la acción de la barrena y ajusta su mente a cualquier nueva indicación que advierta.

La cuestión proncipal que debe tener en mente es ésta:

¿ Que puede hacer con el equipo, la sarta de perforación, programa de lodo, aparatos acondicionadores de lodo, barrena, boquillas de la barrena, y la instrumentación del equipo a su disposición ?.

Requerimientos para hacer viajes.

Cuando no tiene que hacer la primera conexión, se empieza a usar el aparato de elevación del equipo. Tal vez habrá un corto viaje para probar la posibilidad de un reventón - en caso de que el pozo esté actuando anormalmente. Luego viene el suceso principal, el viaje redondo completo.

¿ Como se compara la potencia en caballos de fuerza con el peso de la sarta que se va a levantar ?

¿ Cuantas líneas están ensartadas en la polea?
¿ Cuanto jalón aguantarán la torre o mástil ?
¿ Cuales son las capacidad y la condición de los frenos ?
Por lo anterior ¿ que tanto tiempo estará la barrena fuera del fondo con la bomba parada ?

Requerimientos de elevación.

El tiempo de elevación para viajes redondos y conexiones es uso no productivo de un equipo de perforación para su propósito principal, pero este trabajo es esencial para cambiar barrenas, para agregar tubería al perforar el pozo y para sacar la columna para registros, etc. El malacate, poleas, ganchos, etc. deberán tener el tamaño para el trabajo y que se muevan con máquinas apropiadas para la tarea, para reducir al mínimo el tiempo fuera del fondo. Los agujeros grandes requerirán lastra barrenas pesadas y tubería de perforación también pesada y los agujeros profundos implicarán cargas pesadas debido a la longitud de las sartas de perforación; ambos necesitarán más fuerza para trabajar efectivamente con eficiencia que los pozos de diámetro pequeño y poco profundos. La figura 1-3 tomada del Boletín D 10 de A.P.I. (Instituto Americano del Petróleo) , " Selección de equipo de perforación rotatoria " muestra la fuerza del gancho necesaria para levantar varias cargas a diferentes velocidades. Deberá tenerse en cuenta que esta es fuerza requerida en el gancho: se necesita fuerza adicional de maquinas para compensar las pérdidas mecánicas debidas a la fricción en el diferencial, malacate, cable de acero y poleas.

El arreglo usual en el que se emplean varias máquinas - perderá 15 % o más entre las máquinas y el tambor elevador. Otro 15% se perderá entre el tambor y el gancho. La gráfica muestra que se necesitan cerca de 700 caballos de fuerza para jalar una carga de 300,000 libras de 75 pies por minuto. La fuerza de la máquina para esta carga con diez líneas ensartadas sería aproximadamente de 1000 HP (C.F.) La fuerza para elevación se hace más importante en agujeros en los que muchas barrenas perderán su filo, por lo que habrá muchos viajes, como en los pozos profundos del oeste de Texas. Se usan menos barrenas en los pozos del Sur de Lousiana y el movimiento de la tubería con frecuencia se retarda deliberadamente con objeto de reducir al mínimo el efecto de cuchareo cuando se usa lodo pesado. Si se reduce la velocidad de elevación a 50 pies por minuto, una potencia de máquina de 800 HP en la salida sería la necesaria para una carga de 300,000 libras.

La elevación de las cargas dependerá de la profundidad, el tamaño y el peso de la tubería, lastrabarrenas, etc., que forman la sarta de perforación. Un margen razonable, generalmente de cerca de 30 % , se permite para el jalón adicional que podría necesitarse por la fricción en el agujero. Los pesos de los conjuntos que se usan generalmente incluyendo los lastrabarrenas y las uniones de tubería son como sigue:

Profundidad del agujero	Tamaños y peso de la tubería	Pesos de la columna: En lodo de 10 lb/gal	Pesos de la columna: En el aire
10,000 pies	5" D.E.19.5 lb/pie	275,000 libras	325,000 libras
12,000 pies	4-1/2 D.E. 16.6 lb/pie	250,000 libras	300,000 libras
15,000 pies	3-1/2" D.E.13.3 lb/pie	220,000 libras	260,000 libras

El peso de los lastrabarrenas se necesita para proporcionar carga a la barrena de manera que perfore, algunas veces hasta 10,000 libras por pulgada de diámetro de la barrena. A medida que se han mejorado las barrenas de rodamiento el peso de perforación ha aumentado de unos cuántos miles de libras a más de 100,000 libras en una barrena de 12 - 1/4 de pulgada. Recomendaciones en general de la compañía Hughes Tool para barrenas de dientes laminados.

COMBINACIONES OPTIMAS DE PESO Y VELOCIDAD DE ROTARIA

Clasificación de la formación	Libras por pulgada de diámetro de barrena	Velocidad de rotaria R.P.M.
Suave	4,500	250
Mediana	6.000	60
Dura	8,000	40

Las cifras de peso de perforación para las diferentes formaciones se convierten en requerimientos de lastrabarrenas como sigue, permitiendo un 16 % de flotabilidad en lodo de 10 libras por galón y 10 % adicional para asegurar que la tubería de perforación esté en tensión.

Diametro del agujero	Peso deseado en la barrena	Peso de lastrabarrenas: En lodo de 10 lb/gal.	Peso de lastrabarrenas: En el aire
12-1/4 pulg.	4.500 lb/pulg.	65,000 libras	75,000 lb.
	6.000 lb/pulg.	84,000 libras	100,000 lb.
	8,000 lb/pulg.	115,000 libras	130,000 lb.
8-1/2 pulg.	4,500 lb/pulg.	50,000 libras	60,000 lb.
	6.000 lb/pulg.	60,000 libras	70,000 lb.
	8.000 lb/pulg.	75,000 libras	90,000 lb.

Estas cifras muestran claramente que una cantidad consi_

derable del peso se debe manejar para obtener la carga deseada en la barrena, dependiendo de su diámetro. Los conjuntos que se ven arriba pueden formarse con lastrabarrenas de distintos diámetros, pero generalmente incluyen 21 - 30 tramos unidos (7 a 10 panadas).

Reglas empíricas.

Los requerimientos reales de caballos de fuerza para perforar no se pueden determinar con extremada precisión, simplemente porque hay muchas variables de un pozo a otro o de una profundidad a otra.

Mucha gente con experiencias en el campohan encontrado reglas empíricas que han dado buenos resultados. Estas reglas son estimadas basadas en experiencias anteriores. El hecho de que continuen existiendo en la ciencia de la perforación es un testimonio de su utilidad Algunas más comunes son:

1.- Para elevación : Necesitamos 100 HP por cada 1000 pies de profundidad del pozo. Esto no se limita únicamente a un solo tamaño de columna de perforación pero se aplica más aproximadamente a 4-1/2 pulgadas que otros tamaños.

2.- Para la rotaria : Necesitamos 100 HP para 10 RPM de la rotaria a 10,000 pies de profundidad usando tubería de perforación de 4-1/2 pulgadas.

3.- Toma en HP para la bomba : 10 D^2 = Toma de HP requerida. Esto quiere decir, tómese el diámetro del agujero (o de la barrena), multipliquelo por sí mismo y multiplique el producto por diez.

4.- Requerimiento de fuerza para la bomba : De 3 a 6 caballos de fuerza hidráulicos en la barrena por pulgada cuadrada de área de agujero. Como un ejemplo, tomemos un agujero de 10 pulgadas 10 x 10 x 0.7854 4 HPHB = 314 HPHB necesarios.

Medida práctica del funcionamiento de un equipo.

Además de las"reglas empiricas" que se acaban de mencionar, no hay " especificaciones " que establezcan el funcionamiento mínimo de un equipo.

Un equipo general de los procedimientos que se seguian en 1968 en una variedad de trabajos de perforación sugiere que cualquier equipo que puede funcionar como sigue, ciertamente no está listo para echarlo a la chatarra; de hecho puede darle a ganar a su dueño muchos más pesos todavía:

Elevación : Empezando por la profundiad y la tubería e -

jemplo 12,500 pies con tubería de 4-1/2 pulgadas un promedio de una parada de 120 pies sacada cada 60 a 80 segundos.

Bombeo: Suministre 400 caballos de fuerza hidráulicos a la boquilla de la barrena con una velocidad anular ascendente de 110 a 150 pies por minuto del fluido de perforación.

Rotación: Gire la rotaria a una velocidad controlada desde 50 R P M hasta 250 R P M bajo condiciones variables de peso en la barrena y requerimientos variables de torque.

El Intituto Americano del Petróleo editó un boletín D 10 en diciembre de 1967. El título es " Procedimiento para seleccionar equipo de perforación rotatoria ". Es un ejercicio valioso seguir este procedimiento según se aplique a un determinado equipo. Casi nunca necesitaría toda esa información respecto a su equipo, pero se puede aprender mucho en el proceso de hacer el estudio .

EL PROGRAMA DEL FLUIDO DE PERFORACION

La lección 2 de la Unidad I I - la siguiente lección de esta serie se dedicará exclusivamente a fluidos de perforación. En esta lección, en las páginas inmediatamente anteriores a ésta, ha habido considerable estudio del fluido de perforación por lo que respecta a la -- acción real de la barrena en la perforación. Por lo tanto, el estudio en esta sección se limitará para evitar una duplicación innecesaria.

Responsabilidad para planear el programa.

El contrato de perforación generalmente señala la responsabilidad por el programa de lodo. Esto incluye el acondicionamiento - del fluido de perforación durante todo el proyecto de perforación. Generalmente hay una cláusula de pesos y centavos que estipula quien pagará los productos comerciales para lodos que se usen. Algunos contratos establecen que el contratista pagará una determinada cantidad máxima- 500.00 pesos por ejemplo - y el operador pagará la diferencia si la hay.

En los pozos profundos más difíciles el operador puede elegir, pagar todas las facturas del lodo y estipular que un ingeniero de la compañia o un ingeniero de una compañía de servicio dirigirá el acondicionamiento del lodo con objeto de mantener el sistema dentro - de ciertas normas a cada una y todas las profundidades.

Cualquiera que sea el arreglo puede suponerse que los - detalles se darán a conocer al perforador y al jefe de pozo en el trabajo La gente del operar y la gente del contratista pueden no siempre estar

de acuerdo con la clase de lodo que debiera usarse, pero las diferencias se reconcilian y el trabajo sigue adelante.

Lodo para hacer agujero

La mayoría de los perforadores estarán de acuerdo que el lodo que hace más agujero en un número dado de horas de rotación - es el agua limpia. En un mundo perfecto esto sería la verdad, SI.

Si los recortes se sacaran del agujero tan rápidamente - como se cortan.

Si los viajes redondos se pudieran hacer sin peligro de que se tape el agujero y agarre la tubería.

Si las arenas aisladas cargadas de gas no se encontraran.

Si los sedimentos no se asentaran alrededor de los las - trabarrenas y la barrena mientras se hace una conexión.

Todos estos "si" tienen que equilibrarse uno contra otro para producir un fluido de perforación que representa un compromiso. Si todos los factores se valoran sablamente, con sentido común y algo de suerte el perforador encontrará que puede hacer agujero sin meterse en problemas hasta el fondo.

La tendencia al lodo de bajos sólidos

Las modas en lodos de perforación vienen y se van. Durante un determinado tiempo en el último tercio del siglo un observador podría advertir una tendencia que se aleja de un estilo anterior. Y debe decirse que en un momento dado el sistema que está ganando aceptación era una mejoría.

Sin embargo, cerca de la última década la tendencia hacia los lodos con pocos sólidos no solamente se ha sostenido - ha ganado cada vez una mayor aceptación. Dos fenómenos extraordinarios en este desarrollo son merecedores de observar:

El perforador ha podido hacer más agujero más aprisa que con cualquier sistema previo de lodos.

Al mismo tiempo, el perforador ha podido permanecer sin dificultades mejor que nunca, antes, cuando considera lo complejo de su ocupación al perforar pozos más profundos y difíciles.

Algunos principios básicos

La mayor parte del estudio de los fluidos de perforación aparecerá en la siguiente lección (lección 2 de la Unidad II) de esta - serie. Ahí todo el asunto de relación entre la perforación y los fluidos

de perforación se tratará con algún detalle. Sin embargo es conveniente mencionar unos cuantos de los principios básicos aquí con atención especial a su efecto en la velocidad de perforación.

1.- El mantenimiento del lodo de bajos sólidos depende no solamente del cuidado ejercido en la adición de materiales sólidos (bentonita y barita, por ejemplo) al lodo, sino también en el retiro sistemático del lodo de los sólidos finos que se arrastran durante el proceso normal de perforación. Se asientan o se quitan con "desazolvadoras".

2.- El lodo de alta densidad (lodo "pesado") es un enemigo natural de la perforación rápida. Hay muy buenas razones para que eso sea así, tales razones se explicarán un poco más tarde en esta lección. Lo mismo sucede con lodo de alta viscosidad.

3.- El lodo de baja viscosidad requiere una velocidad anular más alta para sacar los recortes fuera del agujero. El asentamiento de los recortes en el agujero mientras se paran las bombas se vuelve un problema que se debe tener presente, como se estudiará en la lección 2.

4.- Con lodo más ligero y más delgado el problema de que la tubería de perforación se pegue en las parades se reduce. También, la perdida del retorno ocurre con menos frecuencia en las formaciones " Incompetentes ". Estas ventajas pueden desbancarse por la posibilidad de los reventones debidos a zonas de alta presión insospechadas.

5.- Resumiendo las observaciones anteriores, el perforador puede efectuar una perforación más rápida con el lodo de perforación mantenido cuidadosamente. Al mismo tiempo, un control más estricto de las características del lodo es un necesidad absoluta. Esto requiere más conocimientos del lodo y más cuidado para atenderlo. Con esto es probable que una bonificación por mayor velocidad de perforación sea la recompensa. Si estas, pérdidas de circulación, tuberías pegadas o un reventón pueden muy bien ser los castigos.

Flúidos aeroformes de perforación

El termino "aeroforme" se ha introducido aquí para cubrir todo el campo de operaciones en el que el fluido de perforeción puede consistir de aire comprimido, gas natural o algún otro gas "sintétizado". Este término intenta distinguir todos éstos como una clase general en contraste con los "lodos" que están formados de líquidos (agua, aceite, etc.) con sólidos en solución o en suspensión.

Mientras que los fluidos de perforación aeroformes ya no se consideran experimentales y ya que su uso ha producido algunas

áreas todavía no se ha establecido que sean fluidos de perforación de - uso general en el sentido en que los son los lodos con base líquida.

Adaptación del equipo

Para convertir un equipo de perforación con lodo a perforación con fluidos aeroformes son necesarios los siguientes cambios. Si se ha de conservar en el lugar el equipo de lodo para su posible uso posterior, la conversión consiste únicamente de adiciones y cambios pequeños;

1.- Agregue las compresoras con más o menos el mismo número de caballos de fuerza en las unidades motrices como en el caso de la bombas de lodo.

2,- Agregue una conexión de aire al tubo vertical.

3.- Agregue una cabeza giratoria o un dispositivo equivalente para empacar alrededor del preventor de reventones superior para evitar la fuga de aire con ese punto.

4.- Agregue una línea de descarga al múltiple de descarga del lodo y extienda la línea de descarga del aire por lo menos 200 - pies alejado del equipo. El extremo de la línea necesitará un mechón piloto para encender el gas descargado del espacio anular si se usa -- gas como fluido de perforación. El extremo de la línea de descarga - la línea de " soplado " en lenguaje común no deberá estar hacia la dirección de donde viene el viento con respecto al equipo si hay vientos predominantes en una dirección general en el área.

5.- La línea de entrada de aire deberá tener conexiones múltiples para permitir la inyección de productos químicos si se presentara la necesidad.

6.- Se puede pensar un equipo de extinción de incendios adicional si el fluido de perforación va a ser aire. El oxígeno del aire cuando se mezcla con el gas producido puede dar por resultado una -- mezcla combustible que de otra manera no existiría.

7.- Algún personal de perforación con experiencia en - este tipo de perforación hace hincapíe en la importancia de enfriar el aire cuando lo descargan las compresoras. El enfriamiento puede - hacerse entre pasos en una compresora de dos etapas, o puede ser un procedimiento de post-enfriamiento en equipo de una sola etapa.

Los requerimientos de volumén y presión de las compresoras no se estudiará aquí. Ambos dependen del trabajo de perfora -

ción que se va a hacer: profundiad del agujero, diámetro del agujero veolocidad estimada de perforación y otras cosas.

Mantenimiento del equipo

La introducción de las compresoras de la capacidad requerida para la perforación con aire trae consigo algunos problemas de mantenimiento de equipo que no se encuentran en el equipo convencional. Los problemas principales que se pueden esperar pueden deberse a:

1.- La tendencia de las compresoras a sobrecalentarse.

2.- Ruptura de válvulas de descarga en máquinas reciprocantes.

3.- Taponamiento de filtros de entrada.

4.- Generalmente problemas severos de lubricación.

Como en el caso de otros equipos de la torre, el abastecedor de compresoras proporcionará manuales de operación cubriendo éste y otros puntos. La gente de la cuadrilla responsable de las compresoras deberá estar familiarizado con el contenido de esos manuales.

El registro de los fluidos de perforación aeroformes.

Fué en los años 1940 cuando la perforación con aire y gas se anunció inicialmente a la industria. Los pozos perforados crearon una impresión tan tremenda en la industria que fué fácil creer que la mayoría de los problemas económicos de la perforación se habían resuelto. Como consecuencia, casi todo el mundo participó en el asunto. El hermoso globo se desinfló pronto. Algunos pozos se iniciarón con información inadecuada, equipo inadecuado y casi una completa inexperiencia para manejar el agua producida en el agujero del pozo.

El sistema de perforación aeroforme había generado suficiente presión para sacar del olvido una herramienta de golpe que había sido diseñada para actuar como martillo en el extremo de sartas de perforación rotatoria. Falló en lo que se esperaba de ella en la perforación con lodo, pero con flúidos de perforación con aire y gas, regresó y ha recuperado terreno hasta que llegó a tener la mejor reputación que en toda época de su historia.

Mientras tanto, los investigadores han estado atacando la gran desventaje que tienen los fluidos aeroformes de perforación, es decir, la inconveniencia de controlar con éxito el agua. Digamos que se ha alcanzado algún progreso. Todo el tiempo se ha estado ahorrando

tiempo y dinero con la perforación con fluidos aeroformes en condicio - nes que hubieran sido imposibles solo unos cuantos años atras. Se -- ahorrará mucho más tiempo y dinero cuando se puedan resolver algunos de los problemas de agua que aún persisten.

Breviario del problema de agua.

En un trabajo de perforación aeroforme los recortes deben regresar a la superficie en literalmente una nube de polvo. Cuando la barrena penetra en una formación que contiene agua el resultado natu - ral es que el polvo se convierte en lodo. Si el flujo de agua es pequeño el lodo resultante no es un lodo líquido que pueda fluir sino más bien - una masa plástica que obstruye los mecanismos. Estos pueden incluir la barrena y el espacio anular.

A veces la solución puede ser inyectar más agua y convertir el plástico en líquido y sacarlo soplandolo fuera del agujero. Otras veces la solución puede ser agregar un espumante y convertir el agua que entra en una buena espuma dura estable que se pueda soplar - fuera del agujero con aire o gas.

Otra medida correctiva puede ser forzar un gas. (tetra - fluoruro de silicio) dentro de la formación que contien agua. Cuando se pone en contacto con el agua forma un sello que tapa el agua.

Por las notas anteriores y las que siguen se puede ver que se ha progresado en formas numerosas para resolver el problema del agua. Se debe recordar, sin embargo, que todos los remedios cuestan dinero y tiempo del equipo y desmerecen algunas de las ventajas de la perforación con gas o con aire, como fluidos de perforación.

LA BARRENA

La barrena es un factor importante en la perforación. Si tuviéramos barrenas que no se desgastarán, o que perforán perfecta - mente sin importar como se operen, no tendríamos perforadores ni -- jefes de pozo.

Todo el proceso podría ser automático y programarse para suspenderse cuando el agujero estuviera perforado lo bastante pro - fundo. No necesitariamos grandes equipos para viajes rápidos para - sacar barrenas romas, o cuadrillas de cinco o seis hombres por que - solo se necesita uno o dos hombres para hacer las conexiones. Desgraciadamente, las barrenas si se gastan, con frecuencia demasiado aprisa, y algunas veces ocurren cosas inesperadas. Necesitamos un hombre para reconocer que algo ha salido mal, para analizar la situación y tomar la decisión correcta. Algunas veces la barrena.

buena está en el agujero en el momento indebido. Por ejemplo, el tipo de dientes largos que era justamente la correcta para formaciones suaves está muy mal para vetas de caliza dura o venillas de areniscas. Las altas RPM de la rotaria hacen mucho agujero en formaciones suaves si otros factores son los debidos, pero una alta velocidad de rotaria causará cargas repentinas en rocas duras que quebrarán los dientes de un tipo para formaciones suaves rápidamente. En las rocas duras una barrena de dientes laminados cortará los esquistos más rápidamente que una de tipo de inserciones de carburo, pero una venilla de pedernal destruirá la barrena de dientes laminados. El perforador debe ser capaz de reconocer estos problemas y tomar la acción apropiada. Algunas veces el perforador y el jefe de pozo tendrán que "adivinar como es la formación " con objeto de tener la barrena correcta en el agujero en el momento en que se necesite.

Las barrenas deben meterse en la formación que sea más apropiada para su construcción y en una forma en que se obtenga consistentemente el mejor resultado. La lección 2 de la Unidad I, " La barrena ". explicó que los tipos para formaciones suaves se fabrican con dientes largos, protegidos contra la abrasión con inserciones de carburo de tungsteno. Esto trabaja muy bien para las formaciones más suaves, pero el metal endurecido se astillará y los dientes se romperán cuando se corre aún en formaciones moderadamente duras. Las barrenas del tipo para formaciones suaves se construyen con desplazamiento de los conos. Esto es muy malo para las formaciones duras, que rápidamente desafilarán una barrena que tenga tanto desplazamiento. La falla por compresión, es decir, trituración, es la única manera en que se pueden perforar formaciones duras y densas. Las barrenas que hacen agujero por la acción trituradora de sus diente deberán usarse con pocas RPM de la rotaria por dos razones.

1.- Debe haber suficiente tiempo para que cada diente realmente triture una cuña del material abajo del diente, luego penetre y así forme astillas por la fuerza lateral.

2.- Las cargas repentinas creadas por una rotaria rápida causarán daños muy serios a la barrena, la tubería de perforación y los lastrabarrenas.

Las barrenas que hacen agujero cortando o haciendo muescas en la formación, como es el caso con las barrenas de arrastre y del tipo de conos rodantes para formación suave, se pueden correr a altas velocidades rotatorias sin un efecto perjudicial.

Las barrenas de diamantes funcionan igual que las barrenas de arrastre, como se explicó en la lección 2 de la Unidad I, especialmente por el hecho de que tanto el peso como la velocidad rotatoria están directamente relacionadas con la velocidad de perforación.

Los diámantes se deben mantener limpios y fríos, por lo tanto el efecto hidráulico es tan importante para el funcionamiento de la barrena de diámantes como lo es para cuando se usan barrenas de rodillos. Bajo ciertas condiciones las barrenas de diamente pueden perforar casi tan aprisa como las barrenas de rodillos. Con frecuencia estarán en buenas condiciones varias veces más tiempo, que lo que el costo del agujero por pie será menor a pesar del más alto costo de la barrena de diamante. El análisis del funcionamiento usando el costo total por pie es importante cualquiera que sea el tipo de barrena empleada.

Las barrenas romas deberán sacarse cuando sea conveniente, basándose en la reducción de la velocidad de perforación, torque de la tubería de perforación o alguna otra indicación. El tiempo de perforación, relacionado con el peso y las RPM empleados y a los trabajos anteriores bajo condiciones similares es una buena referencia de la condición en general de la barrena. La opinión del perforador respecto a ésto es generalmente la mejor guía.

PRUEBAS DE TIEMPO DE PERFORACIÓN

Los perforadores hace mucho tiempo que se han dado cuenta que la velocidad con que perfora una barrena es una buena indicación de su condición, es decir, afilada o roma, el tipo de formación que se está perforando, o si los factores de peso, RPM de la rotaria y el esfuerzo hidráulico se están utilizando convenientemente. Una barrena afilada que se use en el tipo de formación para la que fué diseñada, y que se corre apropiadamente, perforará más aprisa que una barrena desgastada, en la clase de rocas indebida o que se este corriendo indebidamente. Hasta este punto, el perforador hará una observación periódica de cuanto tiempo se necesita para perforar un pies, diez pies o bajar el vástago cuadrado. Este tiempo generalmente se transforma, mentalmente en pies por hora, la base usual para comparar el funcionamiento de las barrenas. Muchos equipos están provistos de registradores de velocidad de perforación que permiten un resumen rápido y la comparación de las velocidades de penetración que se estén obteniendo. Si no se cuenta con dispositivos automáticos, el perforador verificará el tiempo requerido para perforar un pie o más marcando el vástago cuadrado, tomando en cuenta que el peso aflojado es el mismo al terminar la prueba que el que tenía la barrena cuando empezó la prueba. El tiempo en minutos, (o en segundos) para hacer un pié o un intervalo más largo, se anota para compararlo con pruebas de tiempo de perforación que se ha hecho antes o se harán después. La manera de tomar el tiempo de la velocidad de penetración se entiende fácilmente y es la forma más común de juzgar el funcionamiento. Generalmente será suficiente para estimar aproximadamente el comportamiento de la barrena, pero está sujeto a errores que pueden ser engañosos.

Una manera más exacta para medir la velocidad de penetración es la técnica de " Perforación suspendida ", originalmente sugerida por Arturo Lubinski (1958). Este método se vale del hecho de que la sarta de perforación es un medio elástico tal como un resorte - cuya longitud varía con su tensión. El método se emplea aflojando una cantidad determinada de peso en la barrena y fijando el freno. La - circulación y la velocidad rotatoria se mantienen constantes. Se permite que la barrena perfore suspendida parte del peso aplicado, es decir, más peso de la sarta de perforación queda suspendido de la polea de la corona, por lo que se impone menos peso en la barrena. La observación cuidadosa del tiempo necesitado para perforar suspendida una -- cierta cantidad de peso se hace generalmente con incrementos de 2000 a 5000 libras. Los tiempos de la determinación se pueden obtener mejor usando cronógrafos, especialmente para velocidades rápidas de -- perforación, anotando el número de segundos requeridos para perforar suspendida el incremento de peso. El peso en la barrena cambiará en cada prueba de perforación suspendida a menos que se afloje un peso - adicional. Las pruebas de perforación para determinar el mejor peso que se ha de emplear se pueden obtener rápidamente con corridas de perforación suspendida como se ve en la tabla que se da abajo. Es importante repetir el proceso varias veces con objeto de obtener valores promedios buenos a pesar del efecto de los pequeños cambios de las características de la perforación.

Pruebas de perforación suspendida en esquisto arenoso

Peso de la barrena (miles de libras)	Segundos para perforar
70-65	26
65-60	26
60-55	25 (mejor corrida)
55-50	28
50-45	31
45-40	34
40-35	36
35-30	52
30-25	70

El tamaño del agujero era 9-5/8" , profundidad 10,360 pies, lastrabarrenas 630 pies, tubería de perforación de 5" D.E. 9730 pies, RPM de rotaria 130,135 y potencia hidráulica en la barrena, 434 HPH. Estas pruebas mostrarón que la mejor corrido fué de 25 segundos, usando peso en la barrena de aproximadamente 60,000 libras.

Las pruebas de perforación suspendida se pueden convertir de segundos para perforación suspendida de una cantidad determinada de peso haciendo una gráfica de " levantamiento" y "soltura", según la Figura 1 -4 . Esta gráfica, basada en las condiciones del ejemplo -

$$\text{Movimiento del vástago cuadrado/1,000 lb.} = \frac{2.9 - 0.5'}{430 - 190}$$

$$= \frac{2.4'}{40\ (1{,}000\ \text{lb})}$$

$$0.06'/1{,}000\ \text{lb.}$$

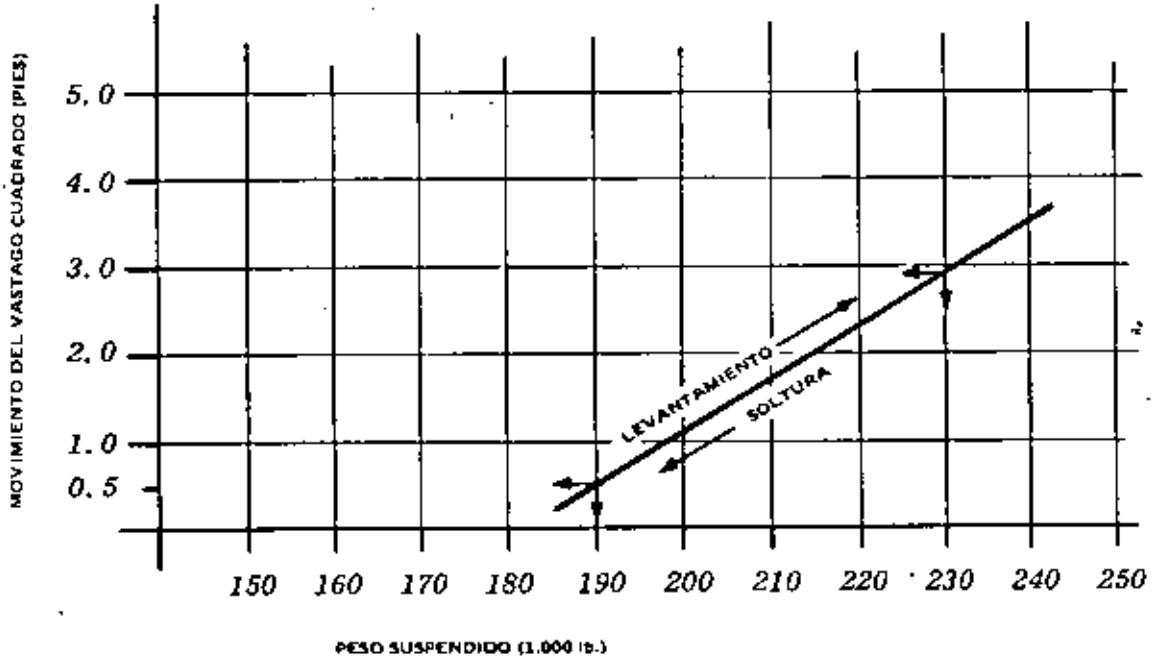


Fig. 1—4.— Gráfica de levantamiento y soltura

que se dió antes muestra que se obtiene un movimiento del vástago cuadrado de 0.06 de pie por cada 1,000 libras de peso que se perfora. Esto se puede convertir a pies por hora de velocidad de penetración, usando la mejor corrida de 25 segundos para perforar suspendidas 5,000 libras como se ve en la tabla, de la siguiente manera:

$$\text{Veloc. de Penetración (pies/hr.)} = 3600 \times \frac{0.06 \times \text{peso perforado} = (\text{lb})}{\text{Segundos para perforar}}$$

$$= 3600 \times \frac{0.06 \times 5}{25}$$

$$= 43 \text{ Pies/hr.}$$

Las pruebas de perforación suspendida se pueden usar para determinar la mejor velocidad de rotaria que se debe emplear variando las R P M mientras se mantiene constante el peso en la barrena y el esfuerzo hidráulico. Similarmente, el efecto de la fuerza hidráulica incrementada en la barrena puede medirse variando ese factor mientras se mantiene constantes el peso en la barrena y la velocidad de la rotaria.

Costos por metraje (por pie)

Los pesos más grandes desafilan las barrenas más aprisa que cuando se usan pesos más bajos en la barrena. La Figura 1-5 muestra la relación entre el peso en la barrena y desgaste de los dientes y la 1-6 muestra el incremento de desgaste del cojinete al aumentar el peso en la barrena. Generalmente el peso en la barrena deberá aumentarse a medida que los dientes se vuelven progresivamente romos. Un estudio cuidadoso de los registros de barrenas pueden ser de gran ayuda para determinar el tipo apropiado de barrenas y el mejor peso de operación y RPM que se deben emplear. El metraje por barrena y la velocidad de penetración hace mucho tiempo que se han aceptado como regla para valorar el funcionamiento de las barrenas. Estas son dos unidades de comparación diferentes; su empleo debe combinarse con una base económica para que se puedan hacer las comparaciones apropiadas. Esto puede hacerse calculando los costos por pie como sigue:

$$\text{Costo por pie} = \frac{B + R(T + t)}{F} \quad *$$

B=Costo de la barrena en dólares .
R=Costo de operación del equipo por hora.
T= Tiempo de perforación en horas.
t =Tiempo del viaje en horas.
F= Agujero perforado por la barrena en pies.

* En esta ecuación las unidades utilizadas pueden ser pesos y metros.

El costo por pie de agujero perforado es una buena base de comparación. La velocidad de penetración así como la vida de la barrena deben usarse en este cálculo. Las barrenas de insertos de carburo y de cojinetes sellados son más caras pero con frecuencia duran más para dar mayor metraje. Este tipo de cálculo se vuelve muy importante en agujeros que requieren muchas barrenas para alcanzar la profundidad final. Aún cuando un viaje redondo pudiera representar 1000 dólares, con frecuencia el caso para equipos grandes, el costo más bajo por pie con un tipo diferente de barrena algunas veces justifica el viaje cuando el costo del agujero es de 100 dólares por pie o más, usando el cálculo anterior.

Los registros de funcionamiento de perforación, especialmente los de barrenas, son de primera importancia para la selección de barrenas apropiadas y procedimientos (prácticas) de operación, incluyendo peso en la barrena, R P M de rotaria y la hidráulica de la barrena. La figura 1-7 ilustra un tipo de registro de perforación y de barrenas utilizado por un contratista de la Costa del Golfo.

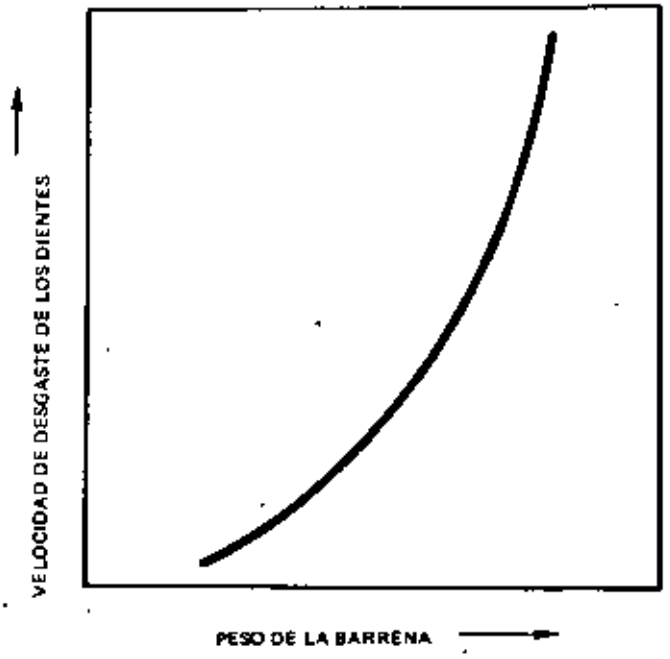


Fig. 1—5.— Los dientes de las barrenas se desgastan más aprisa al aumentar el peso de perforación.

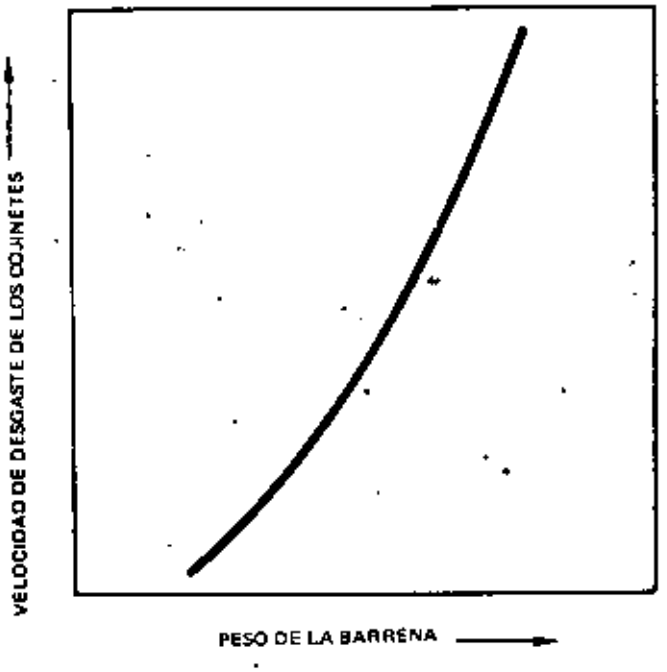


Fig. 1—6.— Los cojinetes de las barrenas se desgastan más aprisa al aumentar el peso de la perforación.

EQUIPO No. 4

REGISTRO DE FUNCIONAMIENTO DE PERFORACION

COMPAÑIA _____

CONCESION Y No. DE POZO: _____ SECCION: _____ T _____ R _____

CAMPO: Bahía de Copano MUNICIPIO: Aransas ESTADO: Texas

REGISTRO DE BARRENA

2:00 P.M. Acondicionado Agujero
11:00 P.M. Agujero Superficial

3:30 P.M.

INICIA EXCAVACION: 11/8/64 SUPERFICIAL: 11-9-64 INTERMEDIO _____ T.D. 11-15-64

MARCA DEL EQUIPO: Beth. 1213 BOMBA No. 1: D-1350 BOMBA No. 2: G-85

DIAMETRO TUBERIA PERFORACION: 5" XH NUMERO LASTRABARRENAS 18 DIAM. EXT. 7 1/2 DIAM. INT. 2 13/16 LONGITUD: _____

TIPO DE LODO: Q-Broxin JEFES DE POZO: Pitric y McGee

CORRIDA No.	TAMAÑO	MARCA	TIPO	TAMAÑO DE CHORROS	PROFUNDIDAD ALCANZADA	PIES	HORAS	PESO EN 1000 DE LIBRAS	RPM	DESVIACION VERTICAL	PRESION DE LA BOMBA	PROPIEDADES DEL LODO			
												PESO	VISC.	FILTRADO	%ACEITE
1	15	HTC	DSCJAJ	3 1/2	1624	1624	8	30	300	1/4	2200	9	34	—	—
2	9 7/8	HTC	DSCJAJ	2-11, 1-10	4548	2924	18	50	250	1/4	2750	9.4	35	—	—
3	15	HTC	DSCJAJ	2-11, 1-10	5664	1116	10	65	250	1	2750	9.4	35	23	5
4	15	HTC	DSCJAJ	3-11	6596	932	8 1/2	65	250	1/4	2300*	9.5	36	16	7
5	15	HTC	DSCJAJ	2-11, 1-10	7462	866	8 1/2	65	250	1/4	2500*	9.6	38	6	9
6	15	HTC	DSCJAJ	2-11, 1-10	8032	570	9	65	250	3/4	2850	10.6	41	3.8	10
7	15	HTC	DSCJAJ	2-11, 1-10	8561	529	9 1/2	65	225	—	2850	11.0	44	3.6	10
			TOTAL DE HORAS GIRANDO 71 - 1/2												

* Se experimentó espuma en el lodo dando por resultado eficiencia más baja de la bomba y menor presión.

Todas las barrenas se usaron completamente con excepción de la barrena de superficie de 15". Se usaron estabilizadores en la columna para controlar las secciones de desviación y arcillas de bloqueo.

Fig. 1-7.- Registro de funcionamiento de perforación y barrenas.

Esta forma permite registrar los hechos pertinentes de la localización del pozo, el equipo de perforación, tipo de lodo y detalles de las barrenas realmente empleadas. Se notará que están registrados el tipo de barrena, tamaños de las boquillas de chorro, metraje perforado y horas trabajadas El peso en la barrena era de 65.000, la rotaria se movío a 250 R P M la mayor parte del agujero y la presión de la bomba fué 2850 lb/pulg.^{2} a 8,000 pies y más profundidad. El peso del lodo fué de 11.00 libras por galón y el contenido de aceite fué de 10 % cuando el pozo alcanzó su Profundiad Total. Usando la fórmula que se da arriba y suponiendo que el costo del equipo era de 100 dólares por hora, el costo del agujero por pie para las dos últimas barrenas fué como sigue:

$$\text{Costo / Pie} = \frac{\$\,250 + \$\,100\,(9+5)}{550}$$

$$= \$\,3.00 \text{ / Pie.}$$

Costo de la barrena = $ 250

Costo del equipo = $ 100 / hora

Tiempo de perforación = 9 horas

Viaje = 5 horas

El registro ilustrado en la Figura 1-7 y los cálculos que se dierón arriba muestran que el costo del agujero puede ser bastante bajo cuando el funcionamiento del equipo es alto.

La acción de la barrena

Aunque el peso en la barrena, la fuerza rotatoria y el esfuerzo hidráulico son factores principales para hacer agujero bajo el control del perforador, la habilidad de la barrena para hacer agujero se reduce drásticamente por un alto diferencial entre la presión hidrostática (del interior del agujero) y la presión del fluido en los poros de la formación. Este efecto, de " cascajo aguantador de fondo" hace que las rocas ganen en resistencia requiriendo así cargas de compresión más grandes antes de aplastarse y las astillas que se forman son más difíciles de remover.

Los perforadores han sabido durante largo tiempo que las formaciones más profundas eran más difíciles de perforar que las rocas profundas: ésto se atribuyó a que era un hecho que se podían esperar rocas más antiguas a más profundidad. Generalmente las formaciones geológicas más viejas tienen resistencias a la compresión mayores que las rocas más jóvenes. El granito y las dolomitas no se pueden aplastar hasta que se aplican cargas de 30,000 - 40,000 lb/pulg.^{2} estas cifras se comparan con las de 5,000 - 10,000 lb/pulg.^{2} de fuerza compresiva para el yeso y las calizas. Se ha encontrado por experimentos de laboratorio que muchas rocas aparentemente ganan resistencia compresiva cuando se sujetan a presión hidráulica. Los siguientes parrafos tomados de " Barrenas para perforación rotatoria." publicado por la Compañía Hughes Tool ilustran los efectos de la alta presión en la resistencia de la roca y retención de cascajo en el fondo.

" Se han hecho pruebas de laboratorio en un intento para determinar el comportamiento de ciertas formaciones bajo condiciones atmosféricas normales para compararlas con su comportamiento a alta presión. Una bola de 5mm de diámetros de carburo de tungsteno se usó como penetrador; y aplicando un peso muerto a la roca a través de esté penetrador, fué posible observar la reacción de ciertas rocas bajo presiones atmosféricas normales. Para obtener información sobre el comportamiento de estas rocas bajo presiones que se parecieran lo más posible a las condiciones que existen en el fondo del pozo, se hicieron pruebas similares con las mismas rocas en una atmósfera de aceite a 5000 libras de presión por pulgada cuadrada. Primero se cubrieron estas rocas con plástico para evitar que el aceite se metiera a los poros de la roca, lo que relevaría la presión contra su superficie."

" Durante la aplicación de esta carga al penetrador bajo presión atmosférica, algunas rocas sufren una serie de sonidos de chasquido acompañados de ligeró agrietamiento en la roca que es visible a simple vista. A medida que progresa la carga, el material debajo del penetrador cede repentinamente en forma de pequeñas astillas y roca pulverizada, dejando un agujero donde se sacó el material. Este tipo de falla en la roca es indicativo de su reacción de la acción de trituración de la barrena para roca. Sin embargo, cuando algunas de estas rocas se probaron a presión de 5,000 libras por pulgada cuadrada de presión , su reacción a esta acción trituradora fué completamente diferente. La roca mostró una marca Brinell muy clara como la que aparecería en acero suave. Quedo en la roca una depresión con la forma del penetrador con el material extraido amontonado alrededor de los bordes ".

La Figura 1 - 8 muesta los resultados de las pruebas hechas en un núcleo de arenisca de Rush Springs. Las dos fracturas a la izquierda se hicieron con la roca a presión atmosférica normal y

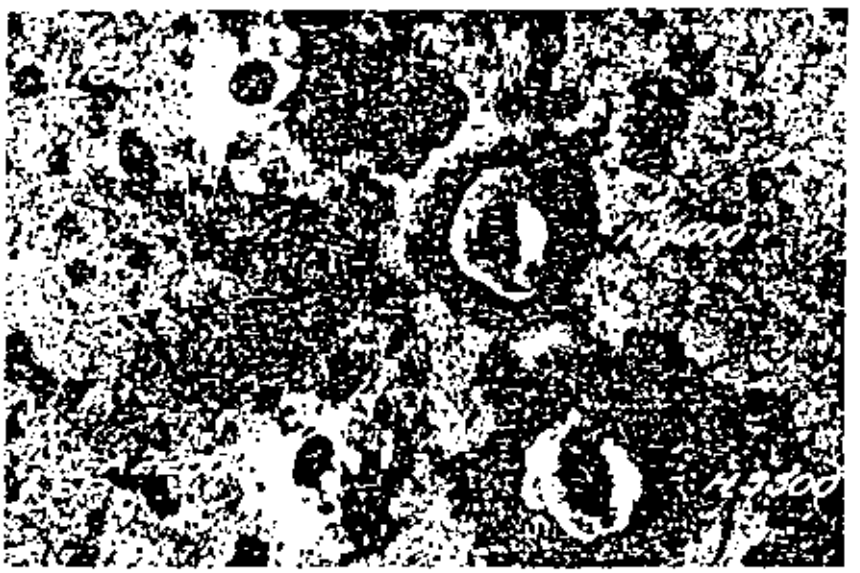


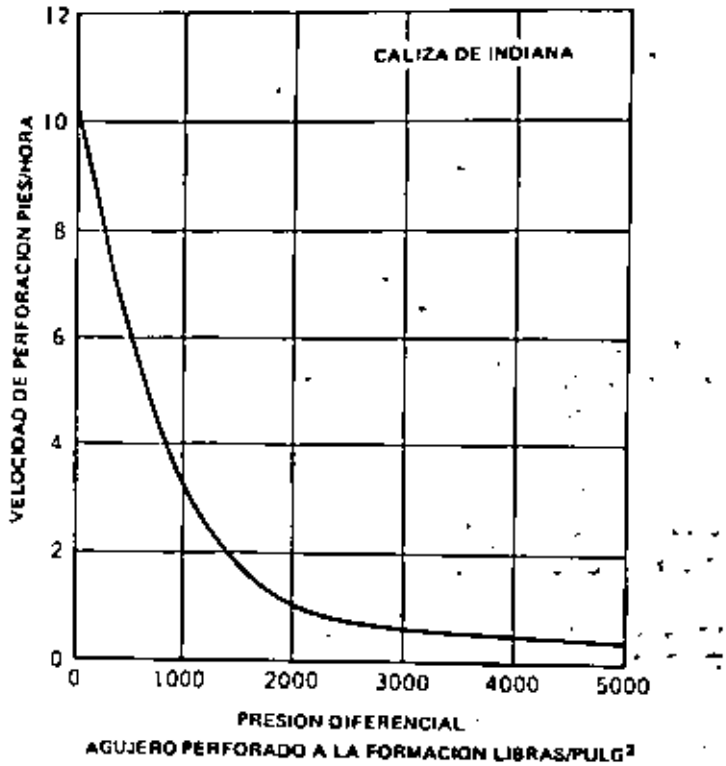
Fig. 1–8.— Pruebas de penetración en areniscas de Rush Springs

los números ' 1600 ' y '2200' representan las cargas en libras necesa - rias para producir las impresiones que se ven. Estas astillas aunque todavía están en su lugar, se quitarón fácilmente. Las dos muescas a la derecha se hicieron en un atmósfera de aceite bajo 5000 libras por - pulgada cuadrada de presión y los números '4000' y 3500' son las cargas necesarias para producir las impresiones. El material parecía - hasta cierto punto que fluía al formar las marcas hemisféricas Brinell. Este material extruído no se quitaba facilmente. Los halos obscuros alrededor de estas impresiones eran granos de roca que estaban ligeramente arancados pero todavía se sotenían fuertemente en su lugar, Estas porciones se podían escarbar con un instrumento puntiagudo pero se necesitaba un esfuerzo considerable."

" No todas las rocas que se probarón, mostraron esta - inversión de las características. Algunas rocas, tales como la cuarcita, granitos y dolomitas mostrarón el mismo tipo de fractura a alta - presión como lo hicieron a la presión atmosférica. Sin embargo en todos los casos se indicó que la carga requerida para producir la fractura a alta presión era de 50 a 100 por ciento mayor que a las condiciones atmosféricas."

La mayoría de las formaciones de roca fallarán en proporción con la unidad de esfuerzo aplicado. Si el peso en la barrena se duplica, la velocidad de penetración puede casi doblarse, pero la presión hidráulica puede hacer más resistentes las rocas y las eliminación de los recortes tendrá mayores proporciones. El trabajo de laboratorio, similar al ensayo de Hughes Tool, ha confirmado todavía más que la resistencia a la compresión de las rocas tiene que excederse para - que una barrena haga agujero y que la presión hidrostática hará las rocas mas difíciles de perforar. trabajo de investigación más reciente con condiciones simuladas de abajo del agujero de presiones hidrostáticas y de formación ha probado concluyentemente que la velocidad de penetración se disminuye a medida que la diferencial entre las presiones del agujero y de la formación aumenta, La Figura 1 - 9 muestra los resultados obtenidos en caliza de Indiana con diferenciales que aumentan hasta 5,000 libras/pulg. cuad., usando peso de perforación de 1000 libras y 50 R P M en una barrena de rodillos de 1 - 1/4 pulgadas. Entre mayor es la diferencial mas lentamente se perfora la formación. La acción mecánica de la barrena hará que se forme una astilla, pero a la astilla aparentemente la mantiene en su lugar la presión interior del agujero. La acción del ahorro, como se explicará mas adelante, ayuda a desprender las astillas del fondo. Los esquemas en la Figura 1 - 10 ilustran diagramáticamente como una formación de roca se fractura - por la falla por compresión debajo de un diente de barrena. El material pulverizado, indicado como " cuña triturada " empuja lateralmente hacia afuera para hacer que la formación se parta horizontalmente y - forme así astillas planas.

Fig. 1–9.— La velocidad de perforación se reduce con la presión diferencial.



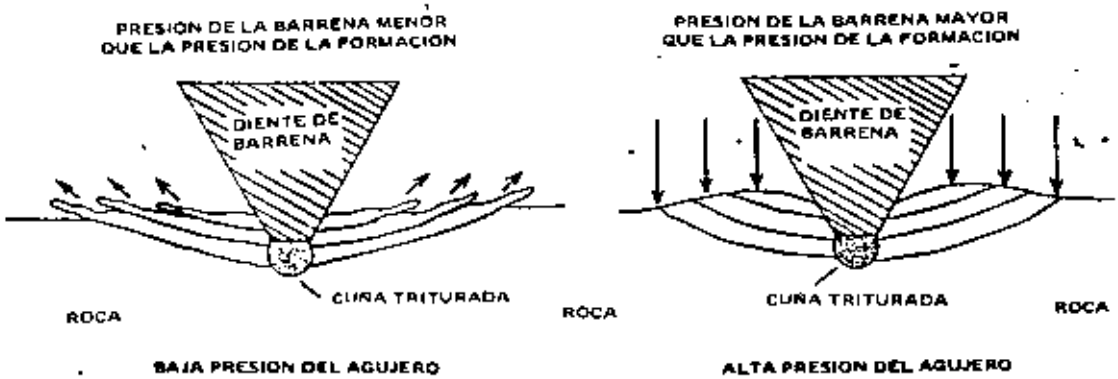


Fig. 1–10.— Formación de recortes por la acción de los dientes de la barrena

Estas serán numerosas y en pedazos pequeños cuando hay una pequeña cantidad de presión interior en el agujero. Las astillas serán más grandes y se apretarán fuertemente a su lugar cuando existe una presión diferencial grande entre el interior del agujero y la formación. En este último caso las astillas se pueden aflojar por la acción del chorro para contrarrestar la presión diferencial que las sostiene abajo. Esto se ha demostrado con experimientos de laboratorio controlados, como se ve en la Figura 1 - 11 que muestra que la velocidad de perforación disminuye con el aumento de la presión diferecial, pero se pueden obtener velocidades de perforación más altas con todas las diferenciales elevando la velocidad del chorro. Este trabajo se hizo hace algunos años cuando las velocidades del chorro eran más bajas que las comunmente empleadas actualmente. La conclusión todavía es válida, la acción del chorro relevará la sujeción en el fondo de las astillas debida a la presión diferencial.

Factor de peso en la barrena.

Los perforadores siempre han sabido que el peso de la columna de perforaciónsoltado sobre la barrena la hará perforar más aprisa, dentro de los límites de la capacidad del equipo. Durante muchos años la limitación principal era la barrena; tan pronto como el "borde de alambre" se desgastaba, las barrenas dejaban de avanzar excepto con una cantidad prohibitiva de peso.
Se reconció que un agujero torcido podría resultar por demasiado peso en una barrena desafilada. Sin embargo , el peso en la barrena todavía es el único factor mecánico más importante para hacer agujero. Las barrenas de rodillos se han mejorado ampliamente, con la exclusión virtual de los tipos de arrastre exceptuando la perforación poco profunda, y el peso en las barrenas ha aumentado a cifras muy altas.

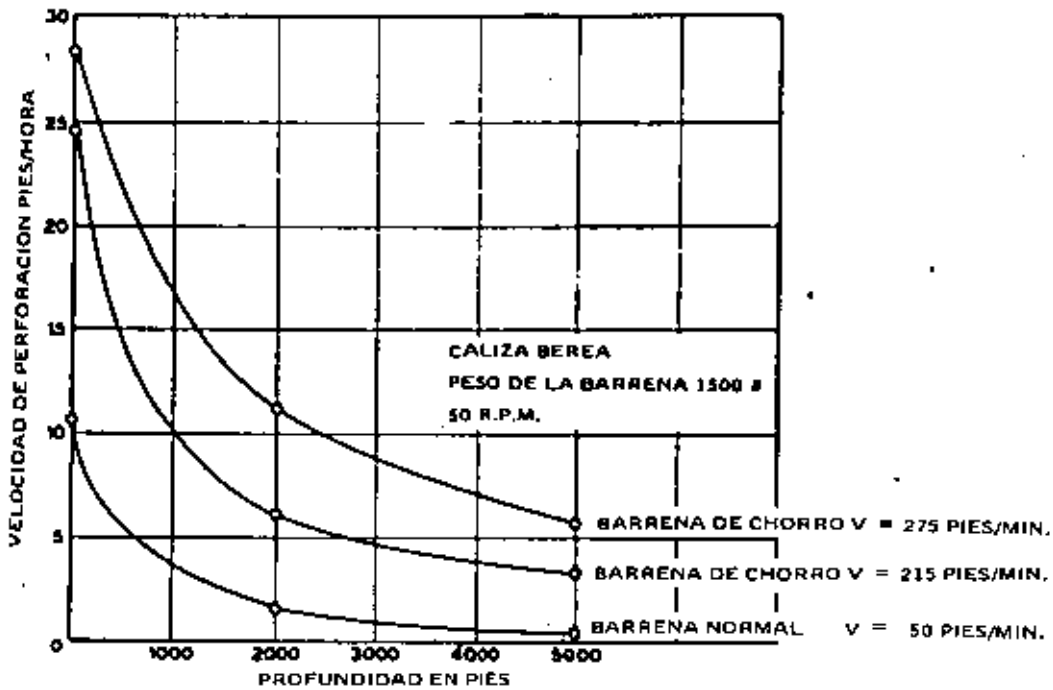


Fig. 1—11.— La velocidad en el chorro de la boquilla de la barrena aumenta la velocidad de perforación.

Las velocidades de penetración han aumentado con la adición de peso, suponiendo que los factores hidráulicos para la limpieza del fondo se entienden correctamente. La selección de la velocidad de rotaria más económica cuando se emplea un alto peso de perforación se hace más crítica en formaciones más duras y abrasivas que cuando se perforán rocas más suaves. Es necesario usar mucho peso en la barrena con objeto de exceder la resistencia compresiva de las rocas, pero una velocidad excesiva rotatoria puede dar por resultado que haya cargas de golpe repentinas demasiado grandes para los dientes de la barrena, los lastrabarrenas y las conexiones de la tubería de perforación. La compañia Hughes Tool recomienda 4500 libras por pulgada de diámetro para formaciones suaves, 6000 libras para rocas medio suaves tales como pizarras y arcillas rojas en capas y 8000 libras para formaciones duras, usando barrenas de dientes laminados.

El peso adicional en la barrena generalmente permitirá que se perfore un agujero más aprisa, dentro de los límites señalados arriba, pero puede resultar la desviación del agujero, a menos que la barrena y los lastrabarrenas estén correctamente estabilizados. Cuando las formaciones están inclinadas, o las vetas alternativamente suaves y duras, evitan el empleo efectivo de estabilizadores, resulta aún con cargas ligeras en la barrena. La mejor manera de perforar un agujero recto vertical es con una barrena afilada, es decir, una barrena que haga agujero con carga ligera. La limpieza del fondo tiene el mismo efecto, ya que la hidráulica del chorro permite que una barrena perfore con menos peso en ella. El empleo de los estabilizadores correctamente colocados, y los lastrabarrenas de díametro grande permiten reducir al mínimo las patas de perro, mantener un agujero recto, reducir el ángulo de un agujero torcido y conservar buenas condiciones en el agujero para colocar la tubería de ademe.
Las barrenas correrán bien cuando están correctamente estabilizadas, mejorando la vida de los cojinetes y reduciendo el desgaste de los dientes. Se obtendrá mejor metraje porque la vida de la barrena se extenderá por ambos motivos.

Como se ha mejorado la construcción de los dientes de barrenas y se ha extendido la vida de los cojinetes por los sellos y la lubricación, se ha incrementado el peso permisible. Lo óptimo para rocas muy duras ahora es de 8000 libras y será probablemente 10,000 libras por pulgada en el futuro.
El peso adicional significa más lastrabarrenas que no solamente son caros cuando se compran y mantienen en buenas condiciones, sino también introducen tiempo extra para manejarlas en los viajes redondos. Los lastrabarrenas son pesados y dificiles de manejar en la torre; se tiene que usar collarines de seguridad y uniones tubulares sustitutas, requiriendo así más trabajo en la rotaria. Algunas veces se usan conjuntos de treinta lastrabarrenas o más que llegan a ser diez o más parradas.

Aún cuando cada parada se maneje en cinco minutos, se pueden necesitar dos horas para desconectar y conectar los lastrabarrenas durante un viaje redondo. La selección de las conexiones de los lastrabarrenas puede simplificar este trabajo; el empleo de un collarín de seguridad para evitar que caiga la columna en caso de una falla de deslizamiento es de valor dudoso.

EL FACTOR DE LA ROTARIA.

En el sistema de herramientas de cable el perforador acelera el balancín para obtener más golpes por minuto, y por lo tanto para golpear más aprisa en el fondo. En el sistema rotatorio se acelera la velocidad de la mesa, dando más RPM, para obtener más vueltas por minuto de la barrena en el fondo. Generalmente más RPM incrementarán la velocidad de penetración. La Figura 1 - 12 muestra que la velocidad de perforación en formaciones suaves aumentará al aumentar las R P M , suponiendo que la columna de perforación pueda manejar el incremento de torque, que hay suficiente potencia para girar la rotaria y que se pueden lograr velocidades más altas sin vibración excesiva del equipo y de la sarta de perforación .

Como se puede ver en la Figura 1 - 12 se puede esperar menos beneficios en formaciones duras con más R P M. De hecho, como se ha señalado antes, las cargas repentinas de golpe pueden dañar seriamente la barrena y la sarta de perforación a altas velocidades de la rotaria. Las cargas de golpe romperán los dientes de la barrena y causarán falla prematura en las conexiones roscadas de la columna de perforación. Estos hechos físicos imponen un límite superior en la velocidad de la rotaria que se pueden emplear económicamente cuando se perforan rocas duras. La Figura 1 - 13 muestra el efecto de las RPM de la rotaria en el desgaste de los dientes. El desgaste de los dientes de la barrena asume un significado crítico cuando se perforan rocas duras abrasivas, y en otra de las razones por las que la velocidad lenta de la mesa es más económica cuando se peforan esas formaciones. La potencia para la rotaria requerida para velocidad de rotación lenta (40 60 R P M) no es de importancia.

El torque rotatorio - resitencia a girar aumentará al imponer mayor peso en la barrena y/o el incrementar las R P M . La figura 1 - 14 muestas los requerimientos de toma en caballaje para una rotaria a diferentes velocidades y a varios torques. Como una cuestión de información, la resistencia torsional de los tamaños, pesos y grados comúnmente empleados de tuberías de perforación son los siguientes:

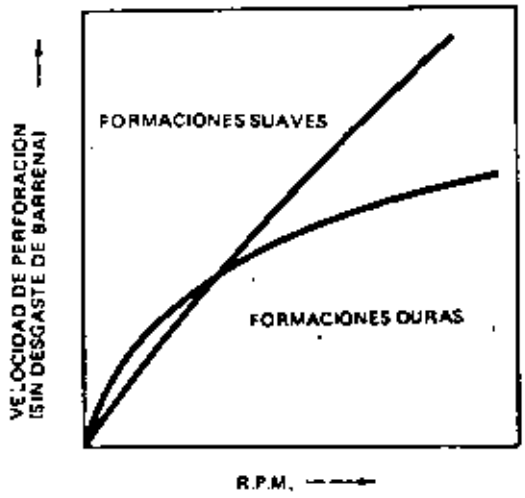


Fig. 1—12.— Los efectos de las RPM de la rotaria en la velocidad de perforación.

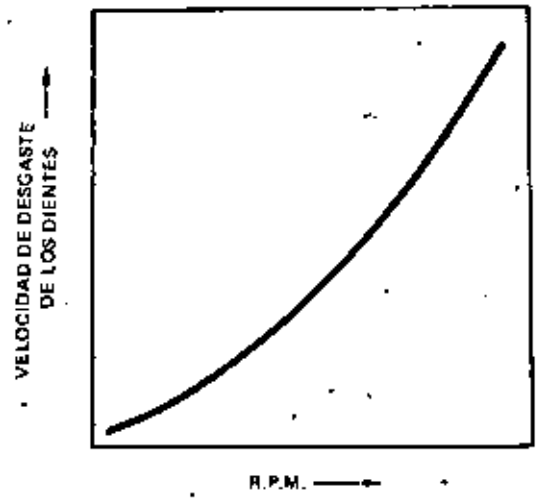


Fig. 1—13.— El desgaste de los dientes aumenta al aumentar las RPM.

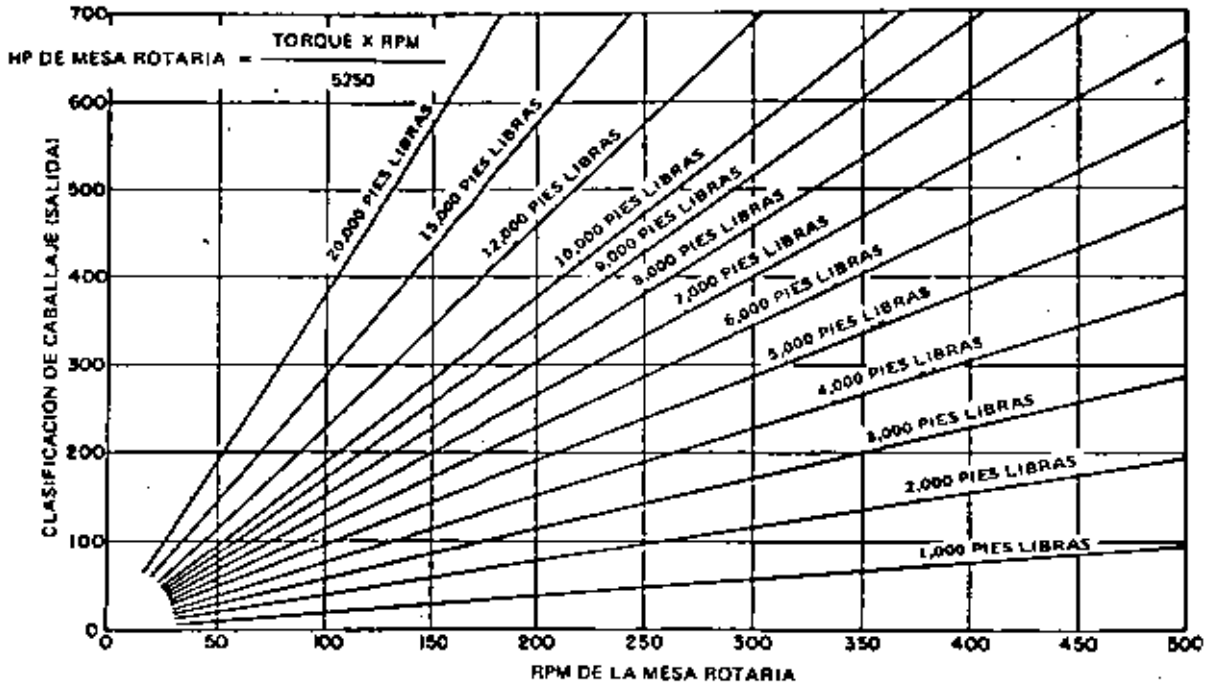


Fig. 1—14.— Toma de fuerza del propulsor de la mesa rotaria a varias cargas de torque y velocidad de la mesa

TUBERIA DE PERFORACION RESISTENCIA TORSIONAL

Tamaño	Peso por pie	Grado	Resitencia mínima a punto cedente
5"	19.50	E	35,670 pies - libras
4-1/2"	16.60	E	26,700 pies - libras
	16.00	D	19,580 pies - libras
3-1/2"	13.30	E	16,080 pies - libras
2-7/8"	10.40	E	10.010 pies - libras.

En la realidad la tubería de perforación pocas veces falla debido al torque excesivo; la mayoría de las fallas ocurre por la fatiga del metal debida a mellas, imperfecciones o corrosión más bien que a cargas torcionales. Los requerimientos de torque rotarios raras veces exceden de los 10,000 pies libras, excepto para barrenas muy grandes. Las barrenas de dientes largos por lo general requieren mas torque rotatorio que las barrenas de diente cortos para perforar las mismas formaciones. Un torque mayor, como lo muestra la Figura 1 - 14 significa que se requieren más caballos de fuerza para jalar la rotaria a una velocidad dada de la masa. Los agujeros inclinados y los pozos con patas de perro agudas, requieren más torque rotatorio que los agujeros verticales porque hay mayor fricción entre la sarta de perforación y la pared del pozo. Hay aditivos especiales para el fluido de perforación para disminuir este efecto de rozamiento.

La potencia necesaria para girar la rotaria variará de acuerdo con el torque y la velocidad de rotación. Parte del requerimiento se debe a la fricción entre la sarta de perforación y las paredes del pozo a altas R P M parece que cerca del 50 % del total puede deberse a fricción del agujero. La Figura 1 - 15 es una gráfica preparada de las observaciones de caballos de fuerza reales a varias R P M de la mesa y varias cargas en barrenas de 12 1/4 pulgadas. Esta gráfica muestra que se necesita cerca de 350 HP para 200 R P M con un peso en la barrena de 50,000 libras. El doble de esta velocidad se emplea algunas veces en el Sur de Lousiana por lo que el requerimiento de fuerza puede ser del orden de 600 HP. En equipos grandes esta cantidad de fuerza es poca importancia, pero el esfuerzo en la tubería de perforación puede ser considerable.

El perforador debe darse cuenta del esfuerzo desarrollado por el torque rotatorio y conocer la capacidad de su equipo. A altas R P M mucha energía se acumula en la masa giratoria de la sarta de perforación; un atascamiento repentino de la barrena para "fijar" la sarta de perforación puede causar mucho daño a la columan debido a fallas de las conexiones y a torceduras. El límite superior práctico de velocidad de la rotaria parece ser de 300 RPM para pefforar formaciones

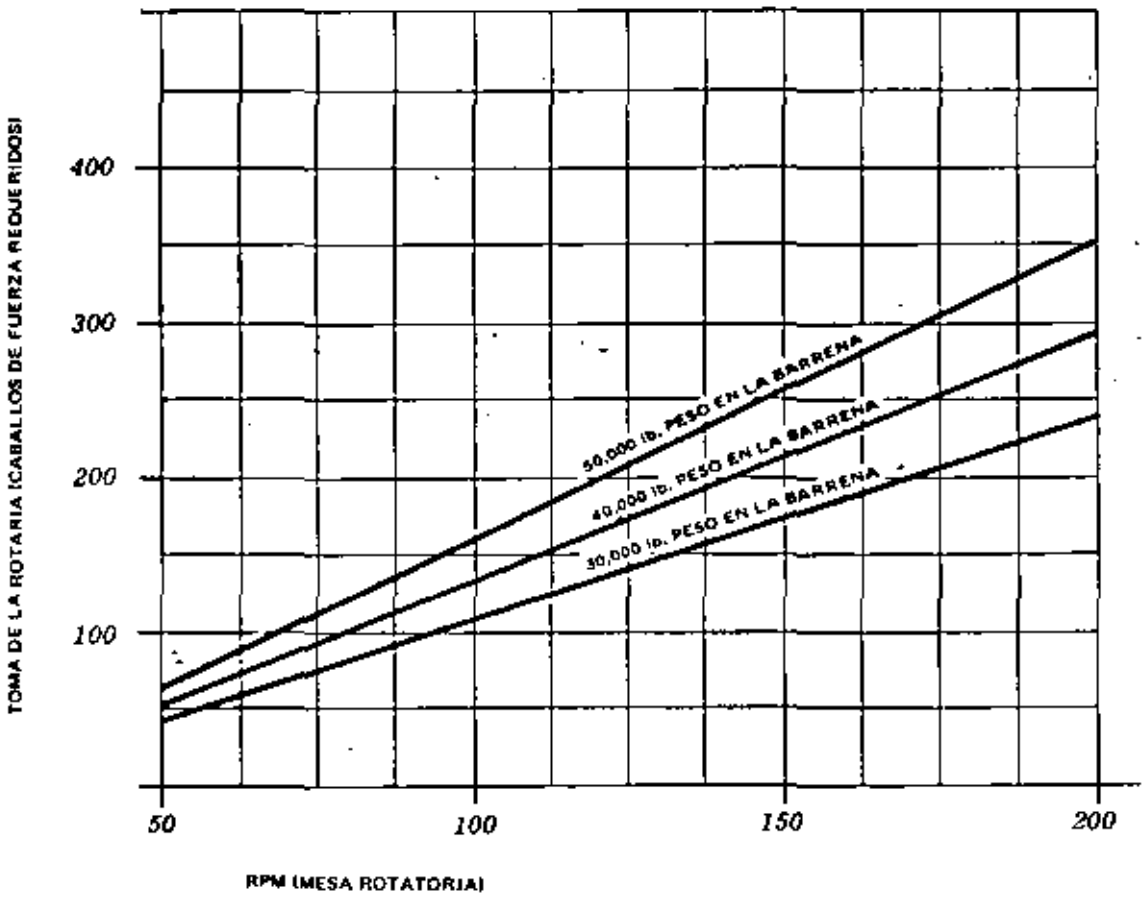


Fig. 1–15.— Caballos de fuerza en la rotaria aproximados usando varias velocidades rotatorias y pesos en la barrena

suaves a poca profundidad o mediana profundidad en la Costa del Golfo. Para emplear con utilidad esta velocidad la sarta de perforación debe correr alineada ; las fuerzas centrífugas desbalanceadas pueden causar vibraciones severas en la columna de perforación y se incrementará la fricción del agujero. En algunos casos se encontrará que 250 R P M puede ser la velocidad máxima rotatoria que pueda emplearse debido a las fallas de la tubería de perforación que causa la vibración excesiva con cifras más altas. El empleo de uniones amortiguadoras en la columna de perforación reducirá la vibración causada por la barrena.

FACTOR HIDRAULICO PARA HACER AGUJERO

El caballaje hidráulico o fluido, en la barrena es el tercer factor importante para el funcionamiento de la barrena rotatoria. Las bombas de baja potencia, operadas con baja presión, pueden ser la causa de que el progreso de la perforación sea penosamente lento ; las bombas de alta potencia operadas correctamente tendrán el efecto de hacer muchas formaciones relativamente " suaves ", es decir que se perforan fácilmente. Con baja potencia hidráulica en la barrena se encontrará que es imposible hacer más agujero con incremento de peso y fuerza rotatoria. No se " perforará " la formación sin importar que tan duro trabaja el perforador en esa tarea. Contrariamente, se encontrará que más peso en la barrena y más rotación producirán mas agujero cuando el esfuerzo hidráulico mayor se hace a través de los chorros de la barrena. La cantidad de fuerza hidráulica realmente entregada a la barrena dependerá de la bomba, la toma de fuerza y la presión de operación. La tubería de perforación de diámetro mayor con restricciones mínimas permitirá que llegue a la barrena más fluido a presión más alta que se puede bombear a través de una sarta de perforación de diámetro menor. La tubería de perforación revestida de plástico interior ofrece menos resistencia al peso del fluido que la tubería sin recubrimiento, por lo tanto llegará a la barrena más de la energía de presión puesta en la corriente de fluido. Las restricciones mínimas en el espacio anular, consistentes en el tamaño de la tubería de perforación permitirán el retorno del fluido a la superficie con contra presión mínima en el fondo del agujero. Se puede bombear más lodo de densidad ligera con una cantidad dada de fuerza de lo que es posible usando lodo más pesado. Las emulsiones de aceite y los fluidos con base de aceite son mas fáciles de bombear que el lodo sin aceite u otros lubricantes.

En el arreglo bien diseñado de máquina - bomba cerca del 75 % de la toma de fuerza mecánica se pondrá en el sistema circulatorio como fuerza hidráulica en forma de volumen y presión. Si el circuito hidráulico está convenientemente arreglado cerca de las dos terceras partes de la presión del fluido cuando sale de la bomba se disipará a través de las boquillas de la barrena. La Figura 1 - 16 es una gráfica que muestra la relación entre el volumén circulado (G P M), la presión (Lb/pulg2) en la barrena y la potencia hidráulica en caballos de fuerza en la barrena (HPHB). La velocidad del chorro está directamente relacionado con la caída de presión a través de la toberas de la barrena. Si se desean 400 pies por segundo a través de las boquillas, nótese que se requerirán 1435 lb/pulg^2. Suponiendo una circulación de 480 GPM (galones por minuto) cerca de 400 caballos de fuerza hidráulica se gastarán. Aplicando la regla de las dos terceras partes, anterior, se requerirán cerca de 2200 lb/pulg^2 en la bomba. La Figura 1 - 17 muestra como disminuye esta presión debido a la fricción a medida que el fluido circula alrededor del pozo.

Los tres factores para hacer agujero - peso, fuerza rotaria y fuerza hidráulica en la barrena son independientes, es decir, depende unos de otros si se ha de obtener el beneficio máximo. La mejor velocidad de penetración se obtiene cuando estos factores relacionados tienen los valores óptimos dentro de las capacidades del equipo del faro. Las cifras altas de peso en la barrena y fuerza rotatoria no producirán agujero más rapídamente a menos que la fuerza hidráulica en la barrena sea suficiente para mantener limpio el fondo del agujero. La fuerza hidráulica en la barrena depende de la disponibilidad de fuerza en la toma de la bomba, la operación de la bomba a alta presión, pérdidas mínimas en el circuito hidráulico y volumen y presión óptimos en la barrena. Ya se ha explicado que la mayor parte de la presión disponible de la bomba se gasta en la barrena en un circuito hidráulico correctamente diseñado. El sistema hidráulico de un equipo rotatorio incluye pérdidas en las conexiones superficiales, la sarte de perforación, las boquillas de las barrenas y el retorno por el espacio anular. Estas pérdidas pueden calcularse separadamente usando tablas o gráficas pero un sistema simplificado que relaciona al diámetro del agujero con la presión para la selección tentativa de boquillas de barrena se ilustra en la tabulación que muestran las Figuras 1 - 18 y 1 - 19.

Suponiendo un agujero de 9-7/8 pulgadas, por ejemplo, y usando la tabla que se ve en la Figura 1 - 18, el uso de una presión de circulación de 2200 lb/pulg^2 requeriría el empleo de tres boquillas (toberas) de 13/32 de pulgada. Si la presión de 2200 lb/pulg^2 es permisible, el tamaño de la camisa se puede seleccionar de la placa de especificaciones del fabricante de la bomba. La barrena y los lastrabarrenas se corren dentro del agujero y se arranca la bomba; si se obtie

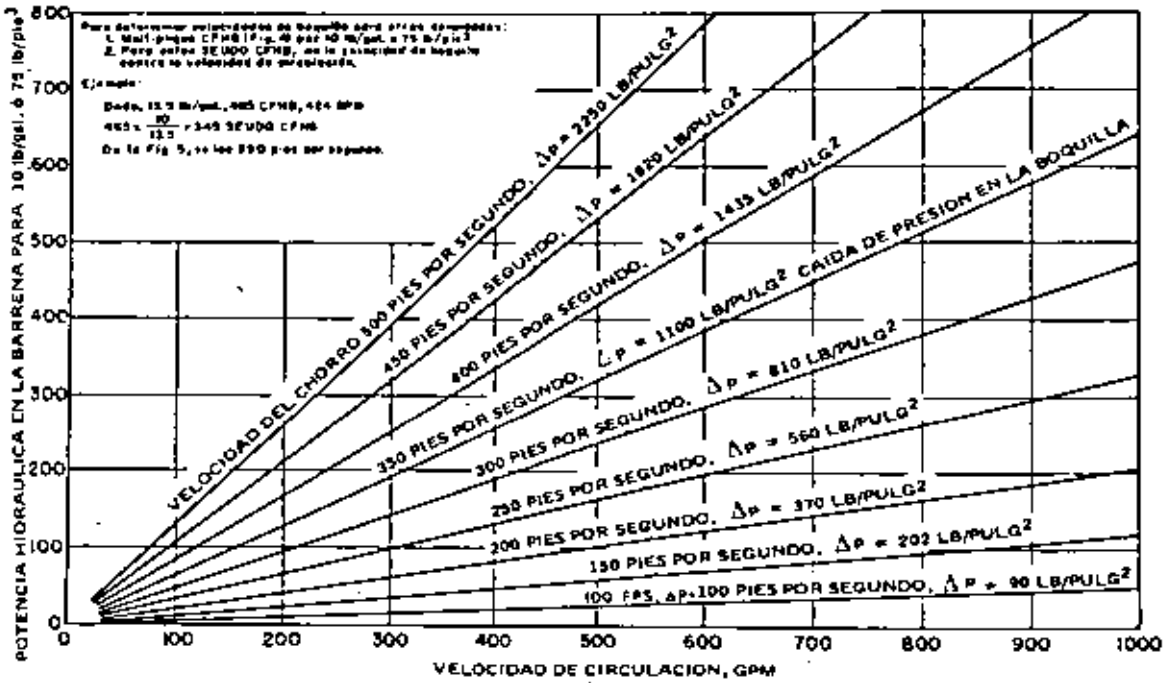


Fig. 1—16.— Factores hidráulicos de barrena de chorro. La velocidad de circulación y la caída de presión en la barrena producen caballos de fuerza hidráulicos en la barrena. La velocidad del chorro es proporcional a la caída de presión a través de las boquillas.

Resumen de caídas de presión:

Equipo de superficie y tubería de perforación	700
En boquillas de la barrena	1435
Por el espacio anular	100
Total en la bomba:	2235 lb/pulg²

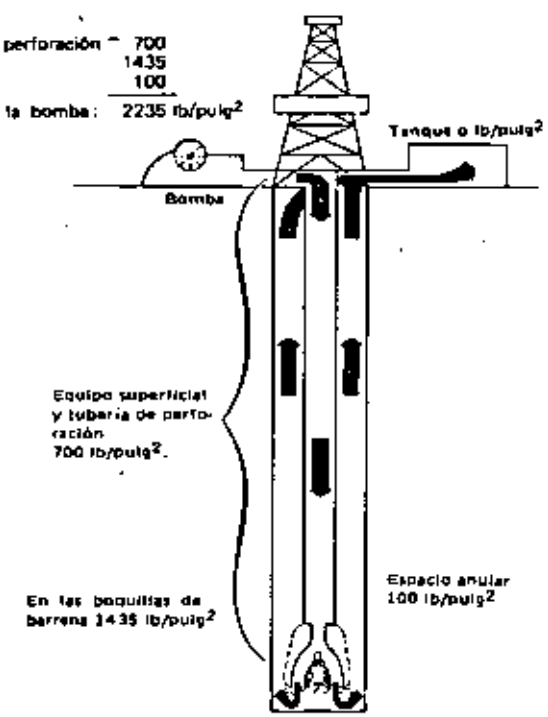


Fig. 1—17.— Pérdidas de Presión en el Circuito Hidráulico.

PRESIÓN lb/pulg² / DIAM. AGUJERO	2000	2200	2400	2600	2800	3000
6"	9/32 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4
7 7/8"	8/32 11/32 11/32	11/32 5/16 5/16	9/32 5/16 5/16	9/32 9/32 9/32	1/4 9/32 9/32	9/32 1/4 1/4
8 1/2"	3/8 3/8 3/8	3/8 11/32 11/32	11/32 5/16 5/16	5/16 5/16 5/16	5/16 9/32 9/32	9/32 9/32 9/32
9 7/8"	7/16 7/16 7/16	13/32 13/32 13/32	3/8 3/8 3/8	5/8 11/32 11/32	5/16 11/32 11/32	11/32 5/16 5/16
10 5/8"	15/32 15/32 15/32	7/16 7/16 7/16	13/32 13/32 13/32	13/32 3/8 3/8	11/32 3/8 3/8	11/32 11/32 11/32
12 1/4"	9/16 17/32 17/32	1/2 1/2 1/2	15/32 15/32 15/32	7/16 7/16 7/16	7/16 13/32 13/32	3/8 13/32 13/32

Fig. 1—18.— Ensayos recomendados de boquillas para bombas normales que usan lodo de 10 lb/gal.

PRESIÓN lb/pulg² / DIAM. AGUJERO	1200	1400	1600	1800	2000	2200
6"	1/4 9/32 9/32	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4
7 7/8"	11/32 3/8 3/8	11/32 5/16 5/16	5/16 9/32 9/32	1/4 9/32 9/32	1/4 1/4 1/4	1/4 1/4 1/4
8 1/2"	13/32 3/8 3/8	11/32 11/32 11/32	5/16 5/16 5/16	5/16 9/32 9/32	1/4 9/32 9/32	1/4 1/4 1/4
9 7/8"	15/32 7/16 7/16	13/32 13/32 13/32	11/32 3/8 3/8	5/16 11/32 11/32	5/16 5/16 5/16	5/16 9/32 9/32
10 5/8"	1/2 15/32 15/32	13/32 7/16 7/16	3/8 13/32 13/32	3/8 11/32 11/32	5/16 11/32 11/32	5/16 5/16 5/16
12 1/4"	17/32 9/16 9/16	1/2 1/2 1/2	15/32 7/16 7/16	7/16 13/32 13/32	13/32 3/8 3/8	3/8 11/32 11/32

Fig. 1—19.— Ensayos recomendados de boquillas para bombas de baja capacidad que usan lodo de 10 lb/g.

nen 2200 lb/pulg 2 con la bomba corriendo a toda su velocidad entonces las boquillas tentativas son satisfactorias. Si se obtiene demasiada - presión con la bomba corriendo a toda su velocidad, entonces una de - las boquillas se puede cambiar al tamaño siguiente más grande; si es - muy poca presión, se deberá quitar una boquilla e instalarse una más chica. Este método de selección de tamaño de boquillas debería permitir fuerza máxima hidráulica en la barrena para la mayor parte del a - gujero que se va a perforar. A medida que se profundiza el pozo, la - tubería de perforación que se agrega a la columna introducirá resistencia friccional adicional al paso del fluido y por lo tanto pérdidas de - presión incrementados, mientras que el volumen del fluido sea el mis - mo. Las perdidas de presión en el sistema pueden reducirse bajando la velocidad de la bomba, pero manteniendo una presión constante en - la descarga de la bomba.

Esta manera de operar la bomba dará por resultado un volumen menor de fluido pero casi tanta presión en la barrena (y por lo tanto caballos de fuerza) como sería posible corriendo la bomba a mayor velocidad. La alta velocidad de la bomba para mantener un volu - men constante significaría una presión más alta. En ese caso, puesto que la presión de clasificación para un tamaño determinado de camisa se excedería, sería necesario cambiar a tamaños más pequeños de ca - misas.

El factor limitante para el volumen del fluido es la velocidad de retorno por el espacio anular, ya sea que se obtenga con emboladas por minuto más lentas (EPM) usando camisas más grandes o una operación a más alta velocidad con camisas más pequeñas. La Figura 1-19 puede usarse para la selección de las boquillas cuando se emplean bombas con poca potencia.

El requisito principal de un sistema hidráulico rotatorio - es proporcionar, suficiente fuerza hidráulica a la barrena para limpiar el fondo del agujero en condiciones para la perforación y los viajes redondos. La fuerza hidráulica en la barrena se obtiene principalmente con las boquillas de chorro que ejercen contra presión en el fluido. La fórmula para caballos de fuerza hidráulicos usando términos de galones por minuto y libras por pulgada cuadrada es la siguiente.

$$\text{Caballos de fuerza hidráulicos} = \frac{\text{Volumen (GPM)} \times \text{presión (lb/pulg}^2)}{1714}$$

Para el circuito hidráulico de un equipo de perforación es mejor emplear el menor volumen práctico porque las pérdidas del sistema debidas a la fricción son menos con menor volumen. Esto se i - lustra con las siguientes:

Relaciones :

Volumen (G P M)	Perdida de Presión (lb/pulg.^{2})	Perdida de Fuerza (CFH)
200	350	41
300	700	123
480	1435	400

La Figura 1 - 20 muestra la fuerza obtenida en la barrena con un sistema bien diseñado, notese que menos de la mitad de la fuerza entregada en la bomba se emplea en la barrena, debido a pérdidas en la bomba y en el sistema circulatorio. Las pérdidas del sistema serán mayores para tubería de perforación más pequeña, mayores volumenes de fluido, mayor profundidad del pozo o densidad del lodo más alta. El volumen del fluido deberá ser el mínimo necesario para transportar los recortes en el espacio anular. Las presiones en la bomba deberán ser 2,000 - 2;500 lb/pulg ^{2} para un pozo de mediana profundidad. La operación a alta presión de las bombas de lodo puede dar por resultado costo más alto por hora pero se puede obtener más metraje, por lo que el costo por pie resultante será menor.

La fuerza de la bomba utilizable está relacionada con el diámetro del agujero que se va a perforar. Basandonos en presiones de operación de 2,000 a 2,500 lb/ pulg^2, se puede usar la siguiente fórmula para calcular los caballos de fuerza de entrada necesarios para pozos de profundidad moderada:

Caballos de fuerza de entrada a la bomba = 10 D^2
D= Diámetro del agujero en pulgadas.

Esta fórmula, con las boquillas de la barrena de un tamaño que produzca la presión deseada a la velocidad máxima de la bomba con la barrena cerca de la superficie, descargará 5 - 8 caballos de fuerza hidráulica a la barrena por cada pulgada cuadrada de fondo del agujero . A medida que se profundiza el pozo las bombas deberán operarse a presión constante; esto significará cerca de un 10 % de reducción de la velocidad de la bomba a profundidad moderada del pozo pero la fuerza hidráulica para la limpieza del fondo y el retorno por el espacio anular estarán dentro de límites aceptables. La expresión matemática puede invertirse y usarse para determinar el diámetro del agujero que puede perforarse con mayor ventaja con una bomba determinada, es decir.

$$\text{Diametro del agujero} = \sqrt{\frac{\text{Toma en HP}}{10}}$$

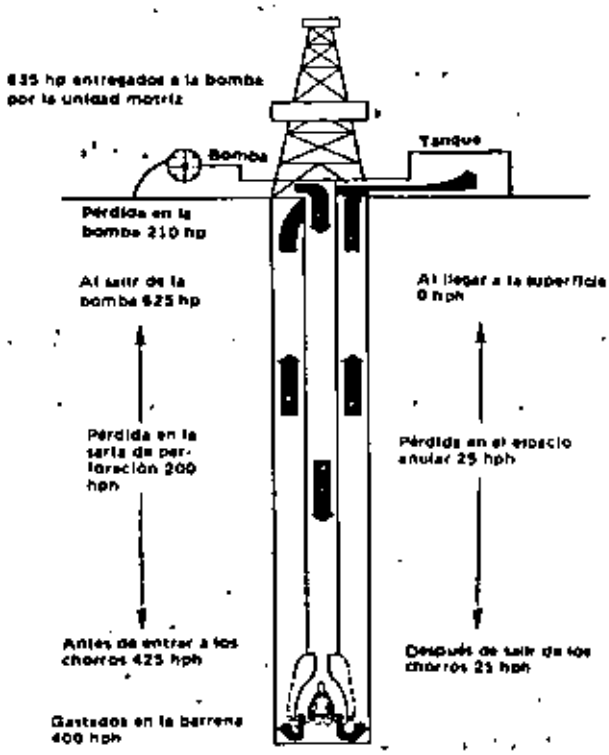


Fig. 1–20.– Pérdidas de potencia hidráulica en un sistema de circulación rotatoria.

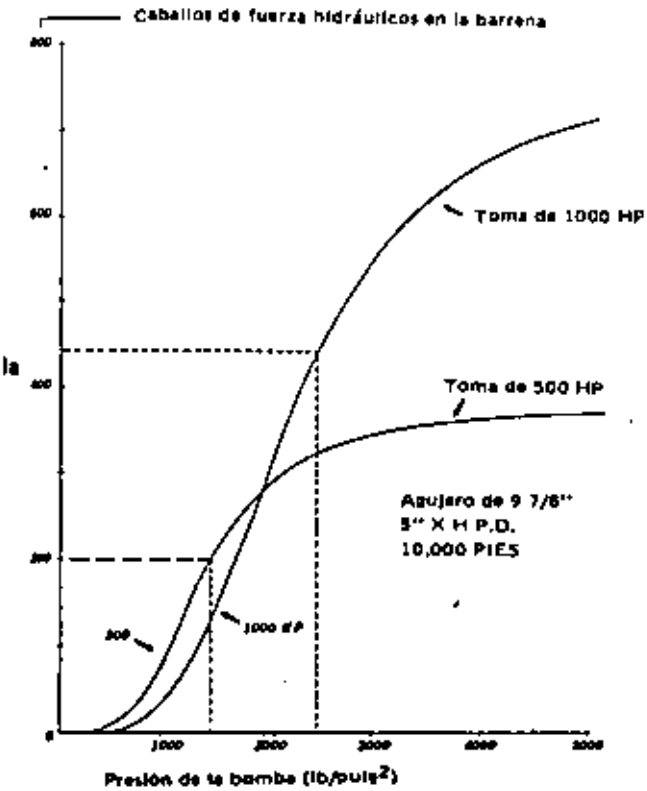
Usando esta fórmula los siguientes tamaños de agujero se pueden perforar con diámetros de camisa diferentes y los conjuntos usuales de perforación, para una limpieza satisfactoria del fondo.

Caballos de fuerza de entrada a la bomba	Diámetro del agujero	
360	6	Pulgadas
450	6-3/4	"
600	7-3/4	"
700	8-3/4	"
800	9	"
1000	9-7/8	"
1500	12-1/4	"

El propósito de la fuerza hidráulica en la barrena es obtener el incremento en la velocidad de penetración que se hace así posible con las fuerzas mecánicas de peso y rotación. Se debería establecer claramente que el chorro a alta velocidad realmente no "muerde" el agujero nuevo excepto en formaciones suaves generalmente encontradas a poca profundidad. La fuerza hidráulica suficiente en la barrena producirá corrientes de alta velocidad de fluido que limpiarán el fondo del agujero de manera que el peso adicional y la fuerza rotatoria se puedan aplicar con provecho. La Figura 1 - 21 muestra que una bomba de 1000 HP permitirá más de 440 HPH (caballos de fuerza hidráulica) en la barrena si se opera a 2,500 lb/pulg^2 una bomba de 500 HP descargará 200 HPH usando 1,500 lb/pulg^2. La operación a alta presión de la bomba dará por resultado que llegue más fuerza de la bomba a la barrena de lo que sería posible con baja presión.

Los caballos de fuerza hidráulicos mantenidos en los valores óptimos limpiarán el fondo del agujero y dejarán que las fuerzas mecánicas de peso y rotación en la barrena hagan un agujero más aprisa. El uso del fluido de perforación de baja densidad es propio para mejores resultados, con lo que se reduce la presión hidrostática en la cara de las rocas del fondo del agujero y por lo tanto la presión diferencial entre el interior del agujero y la formación. El agua pura permite una perforación más rápida que el lodo porque tiene menor densidad menor presión hidrostática y la ausencia de una torta de filtro en el fondo que evite sacar las astillas con la acción del chorro . Aún los sólidos finos en el fluido de perforación retardará la perforación; se puede hacer una penetración más rápida cuando se emplean desarcilladores para eliminar partículas muy finas del fluido de perforación.
Las contrapresiones en el fondo causadas por el lodo viscoso, o por restricciones en el espacio anular reducirán la velocidad de perforación que se obtiene para condiciones determiandas de peso en la barrena y -

Fig. 1—21.— Efecto de los caballos de fuerza de la bomba.



fuerza rotatoria e hidráulica.

Las pruebas de campo han demostrado positivamente que la fuerza hidráulica adicional en la barrena puede convertirse en perforación más rápida, si se pone en la barrena adicional. La Figura 1 - 22 muestra la relación entre peso en la barrena, caballos de fuerza hidráulicos y las subsecuentes velocidades de perforación que se obtuvieron realmente en esquisto arenoso a 7,500 pies - así,

Peso en la barrena	Caballos de fuerza en la barrena	Velocidad de perforación
30,000 libras	200 HPH	22 pies/hora
40,000 libras	300 HPH	37 pies/hora
50,000 libras	400 HPH	50 pies/hora

Estas fueron pruebas reales con una barrena de 9-7/8 pulgadas, variando la entrada a la bomba de caballos de fuerza hidráulicos, pero corriendo la rotaria a la velocidad que se requiriera para obtener la velocidad de penetración máxima al variar el peso. Se podrían esperar resultados similares en la mayoría de las circunstancias. Las rocas duras, por supuesto, se perforarán más lentamente y se necesitará más peso en la barrena del que se ve en estos experimentos pero se pueden esperar incrementos proporcionales de velocidad de perforación.

Las limitaciones prácticas de caballos de fuerza hidráulicos que se pueden poner en la barrena son:

1) La cantidad de fuerza disponible para mover la bomba Este es un factor de control que no puede descuidarse.

2) La presión de descarga permisible de la bomba. Esta dependerá de la clasificación de presión de la bomba, el tamaño de camisa que se use, o las órdenes del contratista.

3) Velocidad mínima de rotorno por el espacio anular. Ciento veinte pies por minuto puede ser suficiente en rocas duras, pero algunas veces se necesitarán 200 pies por minuto para formaciones suaves fáciles de perforar. Generalmente se puede emplear una velocidad de perforación más lenta.

Otras condiciones que limiten la cantidad de fuerza hidráulica que se puede bombear a la barrena son profundidad del pozo, tamaño de la tubería de perforación y densidad del lodo. Con un caballaje en la bomba y una presión de operación dadas se encontrará que llega menos fuerza a la barrena a medida que el pozo se perfora a mayor profundidad. Esto es por las mayores pérdidas dentro de la tubería de perforación debi

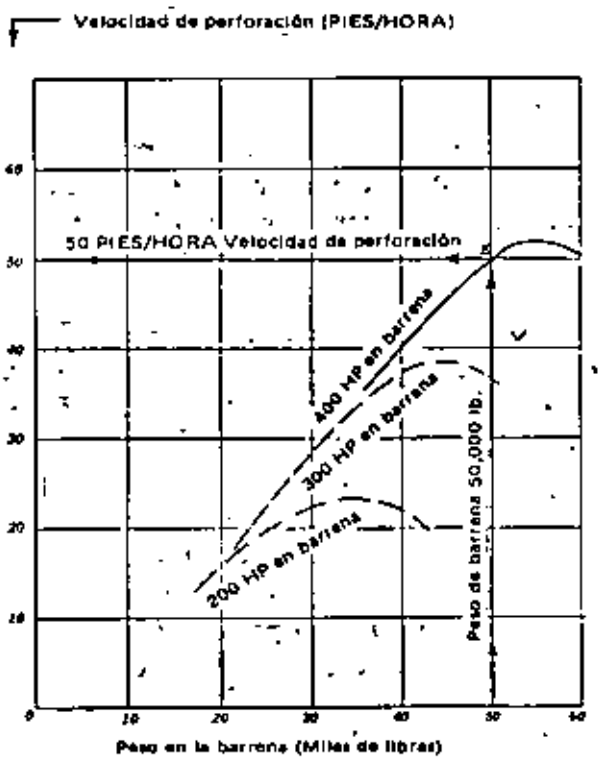


Fig. 1–22.– Objetivo de una buena hidráulica.

das a la distancia más larga que el fluido tienen que recorrer. Segundo, la tubería de perforación pequeña obviamente tendrá pérdidas en la lí - nea mayores debido a más fricción por la turbulencia en la columna de perforación pequeña. Tercero, se requerirá lodo más pesado y más - energía para bombear un volumen dado.

Fluidos para perforación aeroformes

El aire o el gas cuando las formaciones no contengan mucha agua y no se derrumben permitirán la perforación más rápida. Esto es debido a la falta de presión hidrostática y por lo tanto retención mínima. De hecho un efecto de retención " negativo ", es decir, de la formación al inte - rior del agujero, con frecuencia se pone en operación cuando se circu lan fluidos aeroformes. Esta apreciación ha sido substanciada por lo menos de dos modos: 1) Fotografías a alta velocidad han mostrado que las partículas o astillas parecen literalmente " explotar " del fondo del agujero después de que solo han sido tocadas por los dientes de la ba rrena, y (2) una barrena absolutamente roma a veces perforará tan rá pidamente como una afilada. El metraje total por barrena es general mente mejor y la velocidad de penetración es mucho más rápida con - aire o gas que cuando se usa agua o lodo.

Desafortunadamente, hay solo unos cuantos lugares don de el aire o el gas o algunas modificaciones pueden emplearse con éxito Además el equipo especial necesario para trabajo aeroforme con fre- cuencia es demasiado caro para justificar las economías que se pueden hacer por el agujero más rápido. Si se puede obtener un equipo de per foración para circulación regular por $ 1200 al día y las compresoras, etc., para aire o gas cuestan $ 1000 al día, entonces el agujero perfora do con aire deberá bajar casi al doble de rápido para pagar por el equi po adicional. Los productos químicos para espuma y para evitar la co rrosión algunas veces son caros. Los pozos poco profundos, en rocas que son relativamente viejas, en sentido geológico, pueden a veces cali ficar para perforación aeroforme. Generalmente cualquier pozo que - tenga que perforarse lo bastante profundo, encontrará agua, más tarde o más temprano.

La Figura 1 - 23 muestra un ejemplo de las economías de tiempo del equipo que se pueden hacer perforando con aire. Deberá notarse que se colocó tubería de ademe protectora a una profundidad - menor en el pozo perforado esencialmente con aire. La reducción del costo por tubería de ademe, lodo y tiempo del equipo a veces inclinarán la balanza en favor del aire o del gas a pesar de los cargos adicionales por equipo adicional del faro. El gasto por pérdida de circulación será mínimo cuando se emplea gas o aire. De hecho, el aire puede usarse para obtener circulación cuando se perfora con agua en formaciones que son demasiado porosas para soportar una columna de agua. Esto se lo

POZO A.— Perforado esencialmente con aire
POZO B.— Perforado esencialmente con lodo

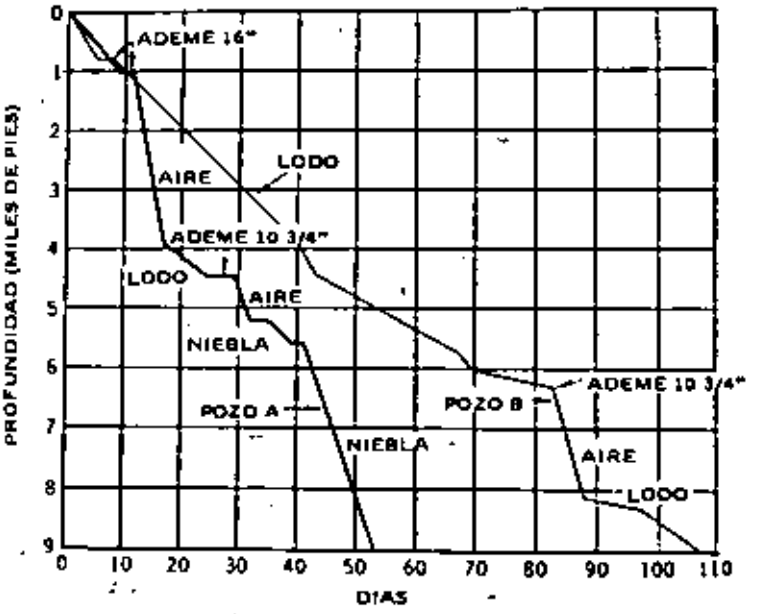


Fig. 1—23.— El fluido aeroforme puede permitir velocidades más rápidas de penetración.

gra inyectando aire a alta presión dentro de la corriente de fluido de la bomba de circulación ; el aire en el espacio,anulará la columna lo suficiente para permitir la circulación.

Fluido de perforación con bajos sólidos.

El fluido bajo en sólidos algunas veces casi agua pura - permitirá velocidades de penetraciónmás rápidas que el lodo ligero aún cuando se empleen el mismo peso en la barrena, fuerza rotatoria y esfuerzo hidráulico. El empleo de lodo bajo en sólidos generalmente se encuentra cuando el peso del lodo menor de 10.0 lb/galon se puede usar; la pérdida elevada de fluido no es perjudicial y las velocidades de circulación son lo bastente altas para arrastrar la cantidad de recortes que haya, es decir, que no se requiera lodo más viscoso.

El fluido bajo en sólidos permitirá una perforación más rápida porque (1) Hay menos enjarre de pared en, las hendeduras donde se fractura la roca cuando se forma una astilla por lo que el efecto de retención no es tan marcado y (2) La pérdida más alta de fluido se - meterá en las fracturas para ayudar al proceso de arrancar las astillas La Figura 1 - 24 muestra como los sólidos del lodo pueden taponear - las fracturas de las que se ha arrancado una astilla de la formación de roca del fondo. El fluido que penetra la fractura para llegar debajo de la astilla relevará la presión diferencial de retención y la acción de - chorro de las corrientes de fluido de las boquillas de la barrena opera para levantar las astillas después de que han sido formadas por la — acción mecánica de los dientes de la barrena.

La Figura 1 - 25 muestra un ejemplo de la reducción del tiempo de perforación que es posible reduciendo los sólidos en el lodo. Además de las economías por el tiempo del equipo requerido, el número de barrenas se redujo cerca de un tercio y hubo una reducción correspondiente de gastos por lodo. Si la densidad del fluido es crítica, el - peso del lodo puede aumentarse usando agua salada. Para mantener - los fluidos con bajos sólidos los medios usuales son presas de asenta - miento grandes, es decir, la práctica de circular a través de la presa de reserva o el empleo de equipo centrifugador para eliminar los sóli - dos finos. Los desarcilladoresde tipo de cono pueden usarse para eliminar partículas finas de lutita y otros sólidos del fluido de circulación. Se pueden usar productos químicos para lodo para hacer que las partículas finas se unan y se asienten fuera de la corriente del fluido, de esta manera se separan. En la Costa del Golfo la perforación de " agua pura" se emplea con frecuencia para trabajo superior de agujero usando agua de la bahía o agua de mar, que se tiene disponible por las bombas grandes que hay generalmente disponibles. Se emplea velocidad en el espacio anular algo más alta de lo que sería el caso de otra manera y se bombea en el agujero un tapón de lodo gelatinizado antes de sacar la tu-

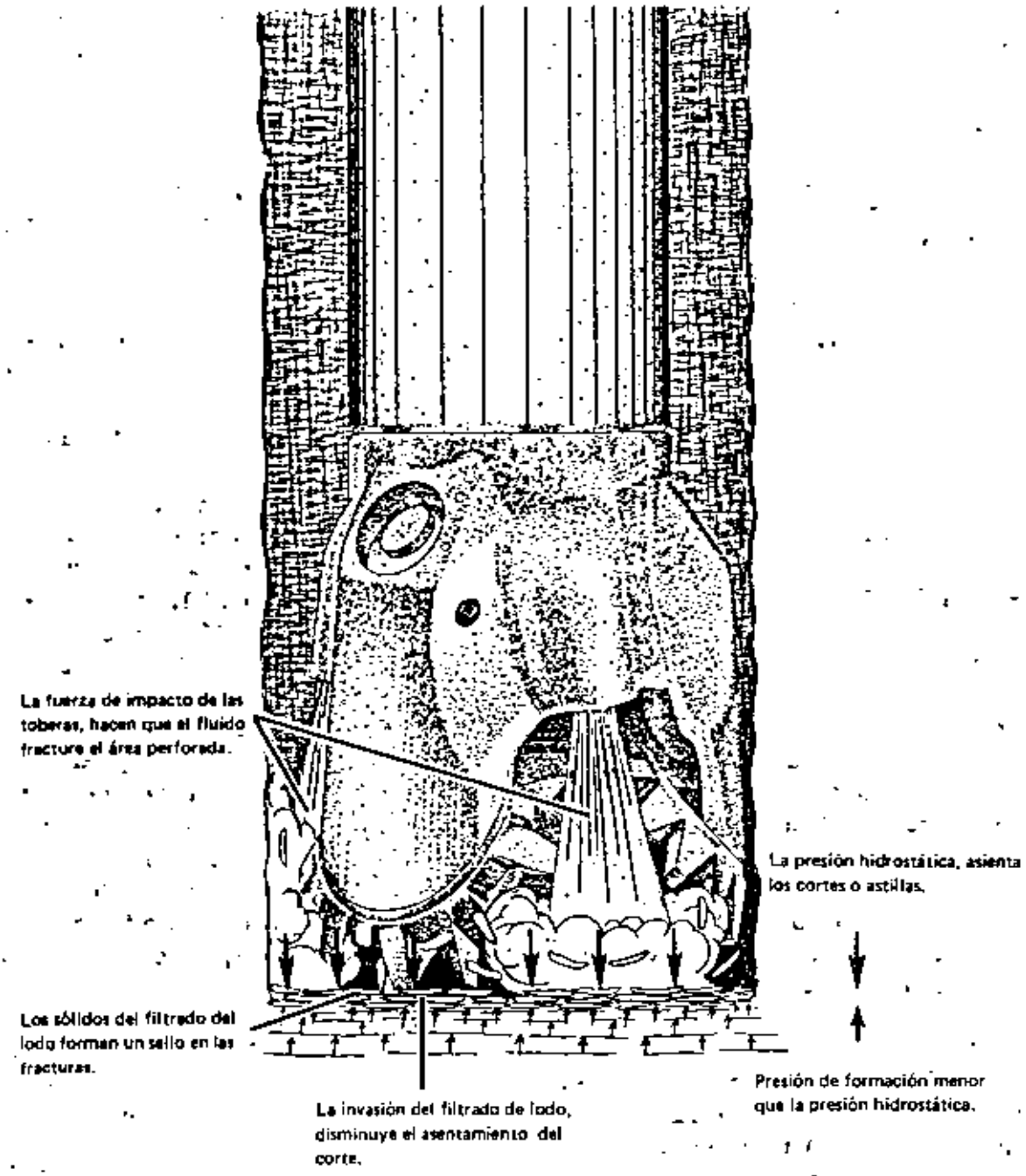


Fig. 1–24.– La alta pérdida de fluido y la velocidad de chorro, ayudan a relevar la retención de astillas

bería para sostener los recortes en suspensión mientras esté fuera del agujero.

Lodo ligero contra lodo pesado

El fluido de perforación de peso ligero permitirá una -- perforación más rápida porque hay menos presión hidrostática en el fondo de lo que sería el caso con lodo pesado. La presión hidrostática baja permitirá que se formen las astillas con menos peso en la barrena y menor fuerza rotatoria porque las rocas tendrán menos resistencia a la compresión. En segundo lugar, menor presión hidrostática significará menos presión diferencial, por lo tanto menos retención de astillas de lo que será el efecto que se obtiene con fluido más pesado en el pozo por lo tanto las astillas se pueden arrancar más fácilmente del fondo.

La experiencia en el campo ha establecido definitivamente que el fluído de perforación más ligero, permitirá un progreso de perforación más rápida, ni otros factores son los mismos. La Figura 1- 26 ilustra el efecto de reducir el peso del lodo de 10.4 libras por - galón a 9.6 libras por galón, en velocidades de perforación en el sur de Misisippi . Se obtuvieron tres registros en pozos rutinarios de - campo donde la variación principal fué el peso del lodo. Puede verse que el tiempo de rotación a 9000 pies se redujo de 550 a 250 horas. Además de la reducción de tiempo de perforación se pueden esperar - economías por barrenas y materiales para lodo. El lodo ligero cuesta menos que el fluido pesado, no solo de costo inicial sino que es menos caro de mantener en condiciones adecuadas. La barita para elevar la cantidad del lodo costará cerca de $ 1.50 por cada libra por galón de - incremento por barril de fluido. El costo de la barita para un incre — mento de una libra por galón para el volumen de lodo requerido en el pozo común será de cerca de $ 2000 (dólares).

El lodo de densidad ligera no solo permitirá una perforación más rápida de lo que es posible con fluido más pesado sino que -- también habrá menos ocurrencias de pérdida de circulación y otras interrupciones del trabajo. Con equipo de cabeza de pozo adecuado se encontrará que es más fácil manejar una cabeceada que restaurar la pérdida de circulación. El lodo pesado crea alta presión diferencial entre la presión hidrostática y la presión de los poros de la formación. Esto no solo reduce seriamente la velocidad de perforación, sino que también causa que se pegue la tubería y requiere que la sarta de perforación se maneje lentamente para evitar elevaciones súbitas de presión - en el agujero.

ALTA PRESION DIFERENCIAL

Se han llevado a cabo experimientos de laboratorio en rocas porosas y permeables con diferenciales hasta de 5000 lb/pulg^2 entre el interior

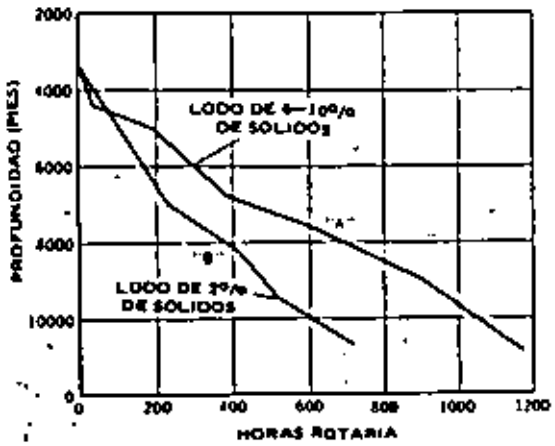


Fig. 1–25.– El lodo con contenido bajo de sólidos permitirá perforación más rápida.

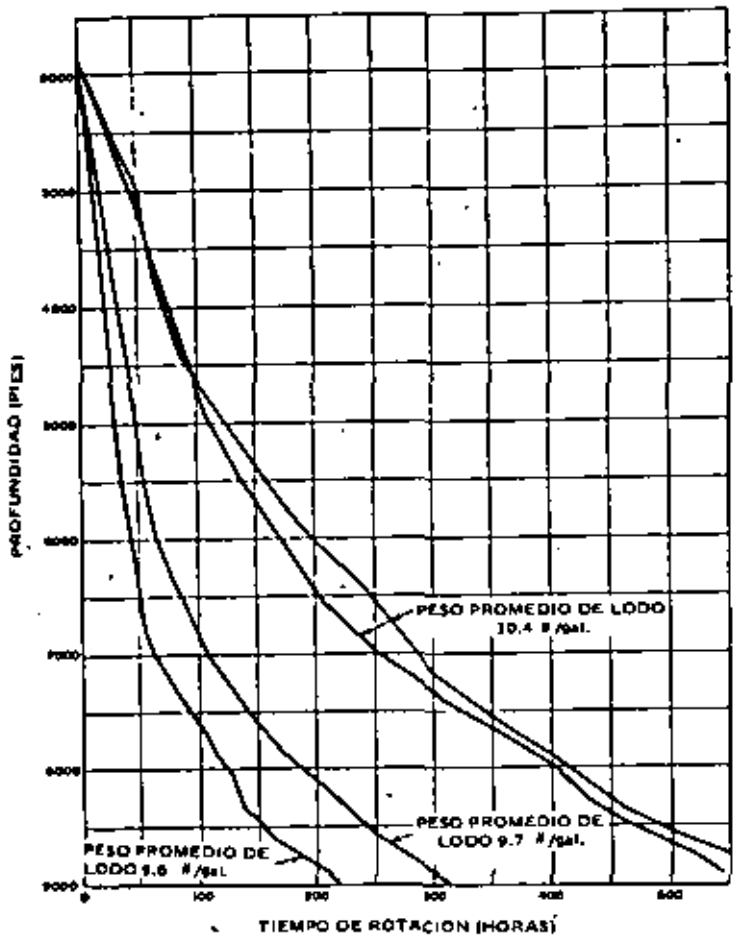


Fig. 1–26.– El peso reducido del lodo, hace posible la perforación más rápida.

del agujero y la presión de la formación. Esos experimentos han demostrado que usando lodo para la circulación se deposita un colchón de enjarre de filtro en el fondo del agujero entre los conos de la barrena. El efecto de los conos rodando sobre el colchón de enjarre de filtro es una acción de amasijo; los dientes de la barrena no pueden fracturar la formación sino que los granos de arena que estan inmediatamente adelante de la barrena se pulverizan en un polvo fino. A 3000 lb/pulg^2 de diferencial la barrena para todo propósito práctico, dejaría de hacer agujero.

Este efecto se ha observado cuando se perfora a profundidad considerable en el Sur de Lousiana La densidad del lodo comúnmente empleado creará una presión hidrostática de cerca de 1.0 lb/pulg por pie de profundidad y las presiones de la formación pueden ser de 0.8 lb/pulg^2 por pie de profundidad. Esas combinaciones de presiones hidrostáticas y de la formación a 15,000 pies pueden crear hasta 3,000 lb/pulg^2 de diferencial de presión.

Los perforadores prácticos han creido de este asunto cuando las barrenas prácticamente dejaron de perforar que se trataba de un problema de " ceniza volcánica ", por las partículas finas de material recuperado en el lodo.

En realidad el material era de granos de arena pulverizados. La Figura 1 - 27 ilustra una gráfica compuesta de velocidad de perforación, registro eléctrico (la curva SP), registro de calibre y litología tomada de un agujero profundo en el sur de Luisiana. Puede verse que la velocidad de penetración disminuyó a un pie por hora en el intervalo 15952 - 15974 correspondiente a una arena demostrada por la curva SP y las muestras litológicas. Este intervalo se probó después de colocar el tubo de revestimiento y se encontró que la diferencial que existió entre las presiones hidrostáticas y de formación era de 2000 lb/pulg^2. Adviértase que el enjarre de pared era de 3/8 de pulgada de grueso al tiempo en que se corrió el registro de calibre. El fluido de perforación de agua pura habría impuesto considerablemente menos presión hidrostática y habría eliminado prácticamente el enjarre de pared, y asi la barrena podría perforar en la formación en vez de en un colchón de enjarre de filtro.

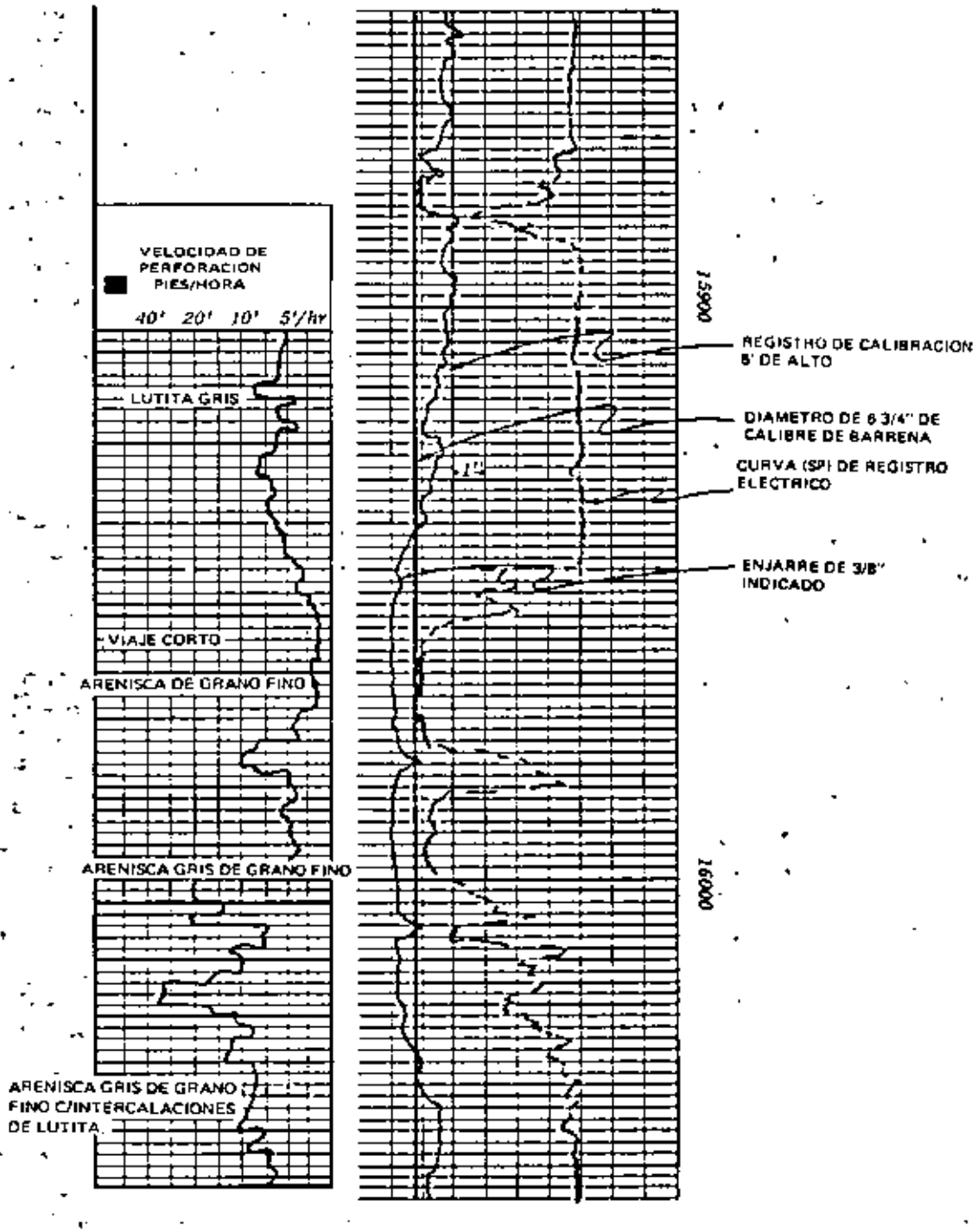


Fig. 1—27.— Perforando con presión diferencial extremadamente alta. S.P. potencial espontáneo.

El fluido de perforación de agua pura, por supuesto, no habría reventado debido a la presión hidrostática más ligera. Por otra parte unos cuantos barriles de agua bombeados dentro de la tubería de perforación como un tapón con fluido adelante y atrás habría lavado mucho del enjarre de pared del fondo del agujero. La barrena habría empezado a perforar mientras el tapón de agua lavará el agujero adelante de la barrena. Unos cuantos tapones de agua bombeados de esta manera permitirán suficiente adelanto para perforar a través del intervalo de arena cuando se encontró este problema de perforación. Se debe tener cuidado cuando se mete agua a la tubería de perforación porque el fluido en la tubería de perforación puede no contrarrestar el lodo del espacio anular y se necesitará alta presión en la bomba para bombear el tapón de agua a la barrena.

PRACTICAS DE PERFORACION EN EL SUR DE LUISIANA

Los contratistas de perforación y las compañias petroleras han estudiado cuidadosamente los factores para hacer agujero en el Sur de Luisiana, incluyendo la utilización máxima del equipo de perforación existente y para eliminar trabajo innecesario; con ello se han establecido marcas excepcionales de perforación rápida. En algunas áreas se están perforando pozos a 10,000 pies en cinco dias o menos y a 15,000 pies en 15 a 20 dias. Esto se ha logrado poniendo en operación los principios presentados en esta lección.

Los faros mas frandes están equipados con malacates de 2,000 HP, propulsores de rotaria de 600 HP (algunas veces más) y bombas de lodo de la clase de 1,000 - 1,500 HP. La circulación tiene presión promedio de cerca de 2,000 lb/pulg ^{2} y muchos contratistas regularmente trabajan con 3,000 lb/pulg^2. La mayoría de estós faros están equipados con elevadores movidos con aire, en roscadores para tubería y vástago cuadrado, deslizadores neumáticos y otros dispositivos que ahorran trabajo. Los preventores de neventones son apropiados para una presión de trabajo de 5,000 lb/pulg^2 o más y las cuadrillas están alertas con el riesgo de los reventones.

Los programas hidráulicos generalmente se planean de manera que se pueda obtener el beneficio máximo de las bombas. Esto por lo general da por resultado que se tengan hasta 400 caballos de fuerza hidráulicos en la barrena, obteniendo con frecuencia velocidades de chorro de 400 - 450 pies por segundo. Las velocidades rotatorias de 250 R P M o más son muy comunes y peso de 50,000 libras en una barrena de 9- 7/8 se emplean por lo general. Las barrenas de cojinetes sellados y dientes largos son la regla para este tipo de trabajo.

El fluido de perforación es prácticamente agua pura mientras las velocidades de penetración de 200 - 300 pies por hora se pue -

dan mantener. Ordinariamente se emplea agua de la bahía (o agua de mar) para los primeros centenares de metros (varios miles de pies). Cuando es necesario sacar para un cambio de barrena o para colocar la tubería de revestimiento se mete al agujero lodo gelatinizado para soportar los recortes. Se emplean rutinariamente desarenadores y desarcilladores para conservar los sólidos finos tan bajos como sea posible. Estas medidas tienen el efecto de reducir la presión hidrostática a la cifra más baja posible con lo que la retención de astilla o recortes es mínima y el efecto máximo de peso en la barrena y esfuerzo rotatorio puede por lo tanto lograrse.

La capacitación de la cuadrilla ha hecho posible la reducción del tiempo de conexión de cinco minutos o menos. El tiempo de manejo de lastrabarrenas se ha reducido con el uso de uniones mejoradas y la eliminación de los collarines de seguridad. El tiempo promedio a 10,000 pies de una compañía petrolera se redujo en 50 % usando estos métodos. Resultados similares se han obtenido en otras áreas de la Costa del Golfo.

POZOS PROFUNDOS EN EL OESTE DE TEXAS.

Los pozos de 20,000 pies, o más de Ellenberger en la cuenca Delawere del oeste de Texas anteriormente requerían un año o más para perforarlos. Este tiempo se ha reducido a menos de ocho meses; el costo del trabajo se ha reducido en 50% aplicando los principios que se han estudiado en esta lección. Esto ha requerido el empleo de algunos de los mejores equipos de perforación que se han ensamblado hasta ahora, fluido de perforación de peso mínimo bajo de sólidos, la eliminación virtual de pérdida de circulación y programas de barrenas cuidadosamente pleaneadas. El peso del lodo más bajo que la presión de la formación se usa hasta donde es posible, con lo que ocurre efecto de retención negativo y algo de arrastre de esquisto.
Esto ha requerido un equipo preventor de reventones especial con objeto de poder manejar el pequeño volumen de gas a alta presión que entra al fluido de perforación. Los supervisores y las cuadrillas de perforación han aprendido a seguir el trabajo de rutina con presión de 1000 lb/pulg^2 en la cabeza del pozo mientras circulan para eliminar el exceso de gas después de un viaje. La técnica de perforar con una diferencial no equilibrada entre la presión hidrostática y la de la formación se ha confirmado en el campo en los pozos profundos del oeste de Texas.

Los equipos de perforación para 20,000 pies que trabajan en el oeste de Texas se caracterizan por tener subestructuras de 25 - 30 pies de altura para proporcionar espacio libre a las pilas de preventores de reventones que se emplean que son extremadamente altas, malacates de 1000 H_p y bombas de 1000 HP. Las presas de lodo estan dispuestas para que sea posible el asentamiento de sólidos finos

y para permitir una capacidad de tanque de1000 barriles para el fluido de perforación. Se usa salmuera saturada para perforar a través de las capas de sal y agua salobre que pese cerca de9.0 libras por galón se emplea abajo de ese punto, con lo que los sólidos se mantienen tan bajos como es posible. Aún cuando puede necesitarse lodo con peso - hasta de 16.0 libras por galón en la sección Pensilvaniana la densidad se conserva hasta 2 - 4 libras por galón más ligera confiando en los - preventores de reventones para manejar los golpes de gas. El fluido - más ligero a través de esta sección permite el funcionamiento mejor de la barrena porque la carga hidrostática será menor que la presión de la formación.

Las barrenas para formación dura del tipo de insertos, son la regla, aunque algunas secciones se pueden perforar económicamente con barrenas del tipo medio suave. Los costos por pie, usando tiempo de viaje y horas de barrena en el cálculo, se emplean para determinar cual es la mejor barrena que se selecciona y los programas de peso/ R P M que hay que seguir. La habilidad técnica y la experiencia de los supervisores y perforadores son factores muy importantes.

APENDICE A

NOTAS DIRECTRICES PARA CLASIFICAR EQUIPOS

En esta página y las siguientes hay extractos del Boletín D 10 de la A P I ."Procedimiento para seleccionar equipo de perforación rotatoria". Primera Edición, Diciembre, 1965. Se recomienda el boletín completo a cualquiera que deseé hacer un estudio amplio de la clasificación de equipos. En enero de 1966, Drilling Magazine (revista de perforación) hizo una reimpresión especial del boletín con muchas notas explicativas. Esto simplifica el uso del boletín.

CLASIFICACIONES DE CARGA SEGURA.

Los fabricantes de torres, mástiles y subestructuras, en cooperación con A P I suministran al usuario de tal equipo clasificaciones de carga segura aplicable. Si no se exceden las clasificaciones de carga segura especificadas para condiciones determinadas, no es probable que haya ninguna falla. Si se exceden estas clasificaciones es posible una falla. A mayores sobrecargas, la falla es probable y con algunas cargas críticas la falla es segura. Para torres de acero, esta carga crítica es aproximadamente un 200 por ciento de la capacidad clasificada.

Torres de Acero

Las clasificaciones para torres de acero normalmente se llaman de " Capacidad Bruta Nominal ", siendo la capacidad para la carga segura vertical, aplicada centralmente a los soportes de la masa de agua. Las cuatro piernas en total de la torre se designan como columnas iguales, cada una para soportar una carga igual a un cuarto de la capacidad bruta clasificada de la torre. La carga excéntrica o diagonal puede alterar significativamente la capacidad neta de una torre de acero. En la perforación rotatoria la línea muerta está anclada normalmente cerca de una de las esquinas de la torre opuesta al malacate. Esa pierna entonces debe soportar la carga más pesada, siendo un cuarto de la carga neta de la corona más una carga igual a la carga suspendida dividida entre el número de líneas ensartadas a la polea viajera. La capacidad bruta nominal clasificada de una torre, apropiada para manejar seguramente una carga estática en el gancho determinada, puede calcularse como sigue (vea la nota en la pág 6 norma 4 A de la A P I):

$$\frac{D}{4} = \frac{C + S + H}{4} + \frac{S + H}{N}$$

$$= \frac{N(C+S+H) + 4(S + H)}{4N}$$

$$D = \frac{N + 4}{N}(H + S) + C$$

6

$$H = \frac{N}{N = 4}(D - C) - S$$

En donde:

D = Capacidad nominal bruta clasificada de la torre, lb
C= Peso muerto de la polea de la corona, lb
S = Peso muerta del equipo de suspención misceláneo, lb
H = Capacidad neta estática de carga en el gancho, lb
N = Número de líneas ensartadas en la polea viajera

Mástiles de acero de posición libre

Los mástiles generalmente están diseñados para una capacidad en el gancho clasificada cuando se usan un número especificado de líneas y con una posición establecida para el ancla de la línea muerta. Cualquier cambio en el número de líneas ensartadas o movimiento de la posición del ancla puede alterar materialmente la capacidad de carga en el gancho. La capacidad nominal bruta clasificada de un mástil es solo un equivalente calculado con el proposito de comparación con las capacidades clasificadas de las torres normales.

Subestructuras de acero

La Norma 4 D de A.P.I. establece, entre otras cosas, que las subestructuras de los mástiles lleven placas de fabricante que señalen información específica incluyendo:

Peso máximo de tubería recargada, _____ libras

Carga máxima de la mesa rotaria, _____ libras

Aún cuando las subestructuras de los mástiles están diseñadas para soportar estas dos cargas actuando simultáneamente, nunca deberá suponerse que la capacidad no utilizada en una área puede transferirse, total o parcialmente, a la otra área. Cada una de esas clasificaciones en el máximo para su área cualquiera que sea la carga en la otra área.

Cables de acero

Cargas y factores de seguridad: Cuando un cable de acero se pasa por un número de garruchas en un sistema de aparejo de poleas la carga en la línea rápida es mayor que la carga total dividida entre el número de partes de línea, debido a la pérdida causada por la fricción en las garruchas y en el doblez del cable alrededor de las garruchas. El factor de eficiencia de varias partes de línea para garruchas de cojinetes de rodillos se ha establecido como sigue:

6 partes de línea, factor de eficiencia = 0.874
8 partes de línea, factor de eficiencia = 0.841
10 partes de línea, factor de eficiencia = 0.810
12 partes de línea, factor de eficiencia = 0.770

La carga máxima en la línea rápida puede determinarse con la siguiente fórmula:

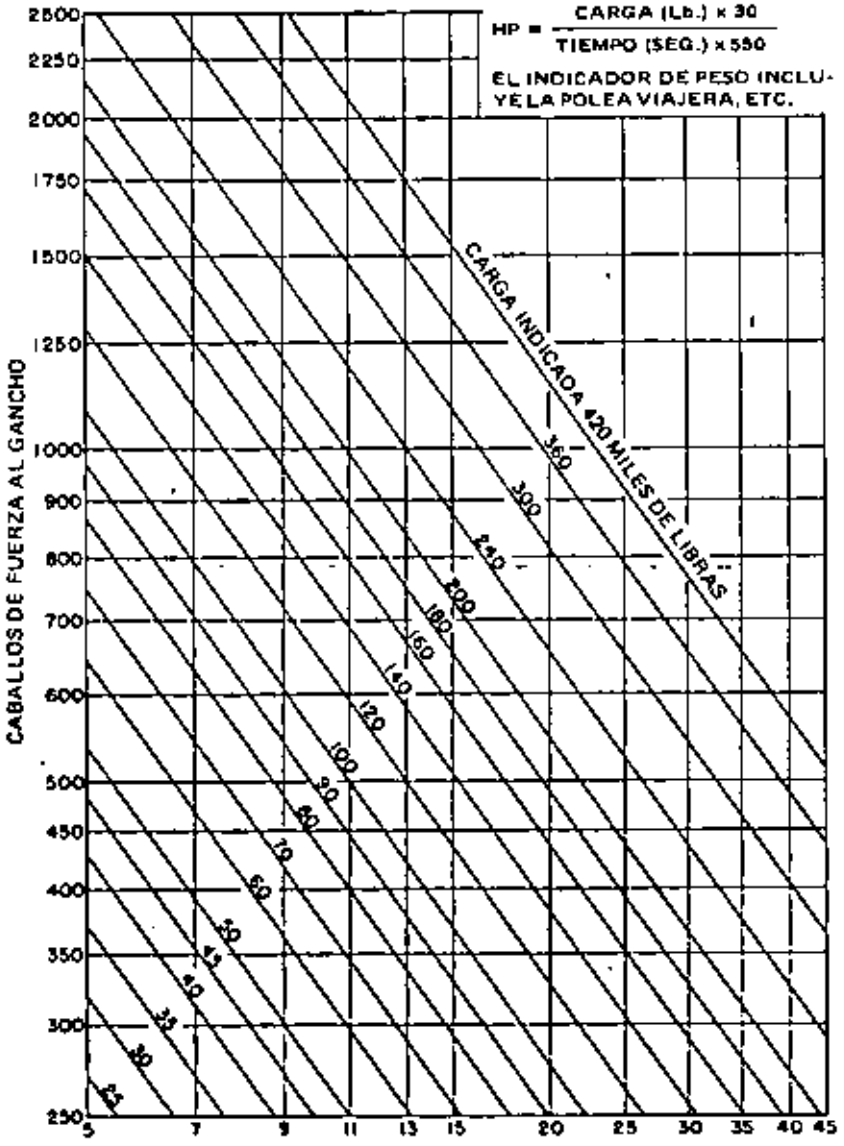
$$P = \frac{W}{N \times E}$$

En donde:

P = Carga en la línea rápida
W = Carga en el gancho, en libras, incluyendo la polea viajera.
N = Número de partes de línea (líneas ensartadas a la polea viajera)
E = Factor de eficiencia.

DETERMINACION DE LOS CABALLOS DE FUERZA DEL GANCHO

Los caballos de fuerza del gancho se pueden determinar durante las operaciones de viajes observando las lecturas del indicador de peso y marcando el tiempo con un cronógrafo la elevación de los tramos sencillos de enmedio de varias paradas y refiriendo estos valores a la Figura 1 - 28. La gráfica está basada en la siguiente ecuación normal, suponiendo que la longitud media de un tramo sencillo es de 30 pies.



TIEMPO EN SEGUNDOS REQUERIDO PARA ELEVAR EL TRAMO DE ENMEDIO (30') DE UNA PARADA DE TUBERIA DE PERFORACION

Fig. 1–28

$$\frac{\text{Carga (lb) } \times 30}{\text{Tiempo (Seg) } \times 550} = \text{Caballos de fuerza}$$

La lectura del indicador de peso incluye el peso de la polea y el gancho y cualquier arrastre de tubería. Marcando el tiempo del tramo de enmedio se tiene una condición estable y permite la demostración del máximo de caballos de fuerza.

Debido a la manera como afectan los gobernadores el funcionamiento de las máquinas, si se desea demostrar el caballaje total - propulsores mecánicos de máquinas de combustión interna puede que sea necesario poner el malacate en el engrane siguiente más alto varias paradas antes de lo que es la práctica usual de operación para evitar - que las máquinas lleguen a la velocidad gobernada. Esto no se aplica a propulsores convertidoresde torque, eléctrico o de vapor.

La precisión del indicador de peso puede verificarse con valores conocidos de peso de equipo, peso de columna de perforación y flotabilidad del lodo. La precisión de la observación del cronógrafo -- puede esperarse que sea la misma para arrancar y parar al pasar la - unión de tubería por el punto de referencia. La altitud generalmente - afecta el rendimiento máximo de las máquinas de combustión interna.

FRENOS AUXILIARES.

Con el propósito principal de reducir substancialmente una partida de los gastos de operación del equipo, muchos malacates - incorparan alguna forma de freno auxiliar que permite bajar las cargas pesadas en el gancho con seguridad a velocidades retardadas sin incurrir en mantenimiento apreciable del freno. Hay dos tipos generales de frenos auxiliares generalmente en uso, o sea, hidro - dinámico y de co - rriente parásita. En ambos tipos, el trabajo se convierte en calor que luego se disipa por medio de sitemas de enfriamiento con líquido.

Las capacidades de los frenos auxiliares pueden determinarse durante las operaciones de viaje observando las lecturas del indicador de peso y tomando tiempo con un cronógrafo la bajada del tramo de enmedio de una parada mientras se aguanta la carga exclusivamente con el freno auxiliar.

Los principios de operación que se emplean son los si - guientes:

Frenos hidro-dinámicos

Un freno hidro-dinámico es un dispositivo hidráulico que absorbe fuerza convirtiendo energía mecánica en calor. La resistencia se crea exclusivamente por agitación de agua circulada entre las bol - sas vetadas de los elementos rotor y estator, como la conversión de -

energía mecánica en calor que tiene lugar directamente dentro de la propia agua. La cantidad de energía mecánica que se puede absorber en esta forma depende de la cantidad de agua y su velocidad en la cámara de trabajo.

Con cualquier cantidad específica de agua en la cámara de trabajo, la velocidad del agua circulada se incrementa con el aumento de la velocidad revolvente del rotor, con el incremento resultante en fricción del fluido. De esta manera la capacidad de torque del freno hidro dinámico aumente en proporción aproximadamente del cuadrado de la velocidad. Si la velocidad se duplica, la resistencia de torque se aumenta cuatro veces. La limitación de la velocidad revolvente del rotor es mecánica, pero la capacidad de torque del freno aumenta con la velocidad en la relación dicha antes hasta la velocidad de operación segura máxima recomendada para cada tamaño de freno.

La función principal del sistema circulatorio es suministrar agua fría a través de la entrada del freno para desplazar el agua calentada y así evitar la formación de vapor dentro del freno; también para sacar el agua caliente del sistema circulatorio.

La función secundaria del sistema de circulación es proporcionar controles para permitir que el perforador varíe la capacidad del freno para ajustarse a los requerimientos. La capacidad a cualquier velocidad es ajustable regulando la cantidad de agua que se circula entre las bolsas veteadas del rotor y los estatores en la cámara de trabajo. El sistema circulatorio incluye medios para disipar calor.

Se debe considerar muchos factores para determinar el tamaño apropiado de freno para una condición específica de operación. Para simplificar la selección de frenos, se dispone de gráficas de funcionamiento con los fabricantes de frenos hidro- dinámicos.

Frenos de corrientes parásitas.

Un freno de corriente parásita es una máquina electromagnética que incluye principalmente un elemento movido que es un rotor todo de hierro, y un miembro estacionarios que proporciona un campo magnético variable y controlable en el cual gira el elemento movido. Las fuerzas magnéticas, inducidas en el rotor, tienden a oponerse al movimiento giratorio acelerado. Las corrientes parásitas, producidas en el rotor de hierro a medida que gira dentro del campo magnético del estator, generan calor que se transfiere a un medio líquido que circula a través de la máquina.

Así la energía mecánica se convierteen calor y luego se disipa por medio de un sistema de enfriamiento. Las fuerzas magnéticas y las corrientes parásitas en el rotor de hierro aumentan con incrementos en la intensidad del campo eléctrico magnetico y hasta un grado limitado, con los incrementos de la velocidad de rotación.

El campo magnético del estator se produce con bobinas, exitadas separadamente con una fuente externa de electricidad de corriente directa.
Dentro de los límites prescritos de la máquina, la regulación de la corriente de exitación controla el efecto relativo de contra torque o freno disponible a varias velocidades giratorias del rotor.

Datos de funcionamiento de máquinas de varias capacidades se consiguen con los fabricantes de frenos de corrientes parásitas.

$$HP = \frac{\text{CARGA (Lb)} \times 30}{\text{Tiempo (SEG.)} \times 550}$$

El indicador de peso incluye la polea viajero, etc.

TIEMPO EN SEGUNDOS REQUERIDO PARA ELEVAR EL TRAMO DE ENMEDIO (30') DE UNA PARADA DE TUBERIA DE PERFORACION

FIGURA 1 – 28

APENDICE B
GLOSARIO

$$\text{Caballos de fuerza (HP)} = \frac{\text{Fuerza (lb)} \times \text{velocidad (pies/min)}}{33{,}000}$$

La velocidad para hacer trabajo (transferir energía) - equivalente a levantar 33,000 libras 1 pies por minuto (33,000 lb-pie / min). Esto es también 550 pies-libra por segundo.

Levantar un peso es un ejemplo sencilla de una fuerza en movimiento. La misma combinación de fuerza por la velocidad en cualquier direción - siguiendo la horizontal, inclinada, alrededor de una - curva o cualquier combinación - es el mismo caballaje. (También - otras transferencias de fuerza se pueden expresar en caballos de fuerza).

Caballos de fuerza hidráulicos (HPH):

$$\frac{\text{Velocidad de Circulación (GPM)} \times \text{Presión diferencial (lb/pulg}^2\text{)}}{1{,}714}$$

Caballos de fuerza eléctrico (HPE) : Kilowatts X 0.746

$$\text{Caballo de fuerza térmico (HPT)} : \frac{\text{Btu / min}}{42.42}$$

Toma de caballos de fuerza : Los caballos de fuerza que se alimentan a un sistema de operación.

Salida de caballos de fuerza: Los caballos de fuerza que descarga un sistema en operación.

Eficiencia: La relación por ciento de salida a entrada.
Eficiencia mecánica: La relación en por ciento de fuerza mecánica producida a fuerza mecánica de toma.

Eficiencia hidráulica: La relación en porcentaje de la salida en caballos de fuerza hidráulicos a la toma de caballos de fuerza mecánicos. En algunos casos esta puede incluir la eficiencia mecánica.

Eficiencia volumétrica : La relación en por ciento entre la capacidad - real entregada de una bomba y el desplazamiento calculado de la mis - ma (bomba).

Pérdida por transmición: La diferencia entre caballos de fuerza de salida y caballos de fuerza de toma o entrada. Puede expresarse conve --

nientemente como porcentaje de los caballos de fuerza de entrada.

Caballos de fuerza al freno (BHP) : La salida de caballos de fuerza de una máquina o un motor medible con un freno especial a un dinamómetro.

Caballo de fuerza hidráulico en la barrena (HPHB): El equivalente de caballos de fuerza hidráulicos de galones por minuto y la caída de presión a través de las boquillas (toberas) de la barrena.

$$\frac{GPM \times (lb/pulg^2)}{1,714} = HPHB$$

Caballos de fuerza mecánicos en la barrena: Los caballos de fuerza requeridos para girar la barrena únicamente, sin incluir los requeridos para girar la columna de perforación en contacto con las paredes.

Caballos de fuerza rotatorios (HPR): Los caballos de fuerza requeridos para girar la columna de perforación y la barrena.

$$\frac{\text{Torque (pies-libras)} \times RPM}{5.250} = HPR$$

Torque: La fuerza tangencial (libras) por la longitud del brazo de palanca.
Caballos de fuerza en el gancho (caballos de fuerza elevadores) :

$$\frac{\text{Lectura del indicador de peso (libras)} \times \text{Longitud del tramo de enmedio (pies)}}{\text{Tiempo para elevar el tramo de enmedio (Seg)} \times 550}$$

Caballos de fuerza de toma de la bomba: Caballos de fuerza mecánicos que se alimentan a la bomba.
Caballos de fuerza de salida de la bomba: Caballos de fuerza hidráulicos descargados por la bomba.
Caballos de fuerza de la máquina (Clasificación de la máquina) : Consulte la norma 7B – 11C de (API). Esta norma cubre la clasificación de máquinas de combustión interna. La clasificación MAXIMA no es utilizable. La clasificación INTERMITENTE se aplica a la elevación. La clasificación CONTINUA es aplicable al bombeo.

Capacidad de Freno: La carga que el freno del malacate y el freno auxiliar pueden retardar a una velocidad constante razonable o sostenerla.
Tubería de perforación: Una porción de la sarta de perforación que transmite fuerza a la barrena.

Lastrabarrenas: Tubería de pared gruesa para proveer rigidez y con - centración de peso en la barrena.

Sarta o columna de perforación. Una combinación de tubería de perforación lastrabarrenas y componentes accesorios.

Puerto de barrenas: Un puerto de flujo de fluido en la barrena.

Boquilla (o tobera) de chorro: Un puerto de flujo de fluido en una barrena de chorro.

Barrena de tipo de chorro: Una barrena que emplea un flujo de fluido rápido y dirigido de una boquilla o boquillas.

Hidráulica de perforación: El empleo de la ciencia de los efectos de las velocidades de fluidos y las presiones y fuerzas que intervienen.

Equipo de perforación rotatoria: Incluye las unidades motrices, elevadores, equipo giratorio de circulación y auxiliar necesarios para perforar un pozo.

Equipo de vapor: Un equipo de perforación rotatoria con calderas de vapor y equipo movido con vapor.

Equipo totalmente eléctrico: Un equipo de perforación rotatoria que usa fuerza de una línea de transmisión de energía eléctrica.

Equipo diesel-eléctrico o de gas - Eléctrico: Un equipo de perforación rotatoria que usa energía eléctrica auto generada.

Equipo mecánico - eléctrico: Un equipo de perforación rotatoria que - usa máquinas de gas o diesel para mover sus bombas y los generado - res.

Equipo mecánico: Un equipo de perforación rotatoria movido por máquinas diesel o de gas.

Propulsor mecánico directo: Máquinas de combustión interna conectadas a las cargas con embragues que pueden deslizarse una cantidad moderada.

Propulsión fluida: Unidad especial de bomba y turbina que conectan la carga a la máquina, permitiendo cierto deslizamiento y flexibilidad.

Propulsión hidráulica: Un motor movido hidráulicamente por una bomba.

Convertidor de torque: Propulsor fluido que incrementa el torque y reduce las RPM.

Número de Reynolds (R_e): Una función sin dimensiones que caracteriza la fricción del flujo de fluidos en tuberías y se define por lo siguiente:

$$R_e = \frac{V\ d\ P}{N}$$

En donde:

v= Velocidad promedio, pies/seg.
d= Diámetro del tubo, pies
p= Densidad, lb/pie cúbico
N=Viscosidad absoluta, lb/pie - seg
= 0.000672 x viscosidad en centipoises

Para unidades de ingeniería de campos petroleros:

$$R_e = \frac{v d_1\ p_1}{N_1}$$

En donde:

v = Velocidad promedio, pies/seg.
d_1 = Diámetro del tubo, pulgadas.
p_1 = Densidad, lb/gal.
N_1 = viscosidad plástica, cp

6:

$$R_e = 379\ \frac{G\ P1}{N_1\ d_1}$$

donde:

G = velocidad del flujo, gal/min
d_1= diámetro del tubo, pulgadas.
p_1= densidad, lb/gal.
N_1= viscosidad plástica, cp.

LECCIONES DE PERFORACION ROTATORIA
UNIDAD I I LECCIÓN 1

Preguntas sobre la lección 1 de la Unidad I I

" Haciendo agujero "

1. Mencione seis de los factores importes que intervienen para hacer agujero.

_____ _____

_____ _____

_____ _____

2. Mencione tres problemas de perforación que se encuentren comúnmente relacionados con la sección geológica implicada en una localización determinada.

_____ _____

_____

3. Cuales son los tres componentes principales que controlan la capacidad para hacer agujero de un equipo de perforación.

_____ _____

_____

4. Cuantos caballos de fuerza se necesitan en el gancho para elevar una carga de 200,000 libras mostrada en el indicador de peso a una velocidad de 100 pies por minuto. (100 pies /min).

_____

5. Si una sarta de tubería de perforación y lastrabarrenas pesa 150,000 libras cuando cuelga libremente en el agujero lleno de lodo de 10 libras por galón. ¿ Cual es su estimación del peso aproximado en el aire ? Subraye a su elección.

10,000 libras 200,000 libras 300,000 libras

FECHA _____

NOMBRE _____

6. (a) ¿ Que clase de lodo de perforación permitirá al perforador hacer la mayor cantidad de agujero en un tiempo dado ?

_____

(b). ¿ Cuales son dos características del lodo que causarán un progreso de perforación muy lento ?

_____ _____

7. (a) El fluido de perforación aeroforme utiliza _____ ó _____ para completarlo.

(b) ¿ Cual es la gran desventaja para usar fluidos aeroformes de perforación ?.

_____

8. Mencione los tres factores principales que permiten hacer agujero a una barrena.

a) _____ b) _____

c) _____

9. (a) Un perforador puede obtener una buena indicación de la condición de la barrena, si está afilada o roma, el tipo de formación y si los factores de peso, rpm de rotaria y esfuerzo hidráulico se estan aprovechando bien haciendo una prueba de _____.

(b) Al hacerse más dura la formación, la velocidad de rotación deberá ser más _____.

10. Si el circuito hidráulico de un equipo de perforación está bien diseñado, cerca de _____ (fracción) de la presión del fluido al salir de la bomba se disipará en las boquillas de la barrena.

11. El circuito hidráulico de un equipo de perforación incluye pérdidas en:

_____ _____

_____ _____

12. Los dos requerimientos principales del sistema hidráulico de un equipo rotatorio son:

1) _____ el fondo del agujero

2) _____ recortes a la superficie

13. Los caballos de fuerza hidráulica dependen de dos cosas relativas al fluido de perforación.

_____ _____

14. ¿ Que diámetro de agujero se esta peforando en el equipo en que trabajas ? _____ pulgadas. (No tome en cuenta el agujero para tubería conductora o tubería de ademe superficial; la sección principal es la parte importante.) ¿ Cual deberá ser la toma de caballos de fuerza para agujero de este tamaño? _____ caballos de fuerza.

15. ¿ Cuales son las tres limitaciones prácticas respecto a la cantidad de caballos de fuerza hidráulicos que se pueden poner en una barrena.?

_____ _____

_____

16. Nombre otras tres condiciones que limitarán la cantidad de caballos de fuerza hidráulicos que se pueden entregar a una barrena durante el curso de la perforación de un pozo?.

_____ _____

_____

17. El fluido de perforación de bajos sólidos dará por resultado perforación más rápida porque

1) Menos _____ a través de las grietas donde se fractura la roca cuando se forma una astilla y

2) _____ más alta invadirá las fracturas para ayudar en el proceso de remoción de las astillas.

18. El fluido de perforación de peso ligero permitirá perforación más rápida porque

1) La presión _____ más baja en el fondo significa menos diferencial,

2) Así habrá menos efecto de _____ de astillas que son con fluido más pesado en el pozo.

19. Los contratistas que trabajan en el sur de Louslana han hecho marcas de perforación rápida excepcionales. Para lograr esto, entre otras mejoras, buen funcionamiento de barrenas de 9-7/8" se ha obtenido usando:

Peso de perforación _____ libras

Velocidad de rotación _____ r p m

Caballos de fuerza hidráulicos _____ en la barrena

20. Los contratistas en el oeste de Texas han reducido el tiempo requerido para perforar pozos en Ellenberger de 20,000 pies de más de un año a menos de ocho meses. Las razones principales son:

_____ equipos de perforación.

_____ fluido de perforación

_____ pérdida de circulación

_____ programas de barrenas.

INSTITUTO
MEXICANO
DEL
PETROLEO

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II LECCION 2

LODO DE PERFORACION

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

1 9 8 0

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

K/PI/33

UNIDAD II • LECCION 2

LODO DE PERFORACION

1980

Este manual es traducción de la Serie titulada Rotary Drilling, Unit II Lesson 2, Drilling Mud, editado por Petroleum Extension Service, The University of Texas–Division of Extension, Austin, Texas, en colaboración con la American Association of Oilwell Dirlling Contractors, quien concedió la autorización correspondiente al Instituto Mexicano del Petróleo en fecha 15 de abril de 1969, para su traducción y edición en español. El Instituto Mexicano del Petróleo agradece dicha colaboración.

P R O L O G O

El Comité de Educación y Capacitación de la Asociación Americana de Contratistas de Perforación de Pozos Petroleros, es el patrocinador de cuatro unidades de material elemental de capacitación sobre la perforación de pozos de petróleo y gas. Estas representarán aproximadamente cuatro años de estudio en la casa, aunque algunos encontrarán que es posible completar el estudio en una fracción de ese tiempo.

Esta es la Lección 2 de la Unidad II.

La lista completa de las cinco lecciones que constituyen la Unidad II, está impresa en el interior de la cubierta frontal de este manual. La lista de las diez lecciones que constituyen la Unidad I, está impresa en el interior de la cubierta posterior.

La Lección 2 de la Unidad II, se ha recopilado en gran parte del manual "Principios de Control de Lodo de Perforación", onceava edición, que fue preparado por un subcomité especial del Comité de Fluidos de Perforación del Distrito Sur de A.P.I., División de Producción. Está diseñado para utilizarse al hacer pruebas normales de fluidos de perforación y en las prácticas de acondicionamiento común de sistemas de lodo más frecuentemente empleadas.

Los patrocinadores comprenden que la mayor parte del aprendizaje logrado por los hombres que trabajan en la industria de perforación necesariamente tendrá lugar en el trabajo. Se espera que estas lecciones, en forma breve, ayudarán al novató a obtener una ventaja en este trabajo y acelerar así el procedimiento de aprendizaje.

El Comité de Educación y Capacitación estará dispuesto a hacer sugestiones sobre la manera más apropiada para usar estas lecciones. La AADCPPP también estará en condiciones de proporcionar materiales complementarios en forma de películas, guías de estudio, otras publicaciones, etc.

John Woodruff, Director Asociado
Servicio de Extensión del Petróleo
Universidad de Texas

Austin, Texas,
Abril 1o. de 1968

C O N T E N I D O

Página

Página

PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 2

LODO DE PERFORACION

INTRODUCCION

El fluido de perforación, originalmente considerado únicamente como un vehículo para transportar los recortes a la superficie en la perforación rotatoria, actualmente se reconoce como uno de los factores principales para el éxito de la operación de perforación. La velocidad, eficiencia, seguridad y costo de la perforación, dependen del comportamiento del fluido de perforación empleado.

El término "fluido de perforación" propiamente incluye gases, así como líquidos y suspensiones de líquidos y sólidos en líquido. Esta lección está limitada a un estudio de suspensiones de sólidos en líquidos, "lodos" y de sólidos y un líquido en un segundo líquido, "lodos de emulsión".

A medida que se han hecho intentos para perforar pozos más profundos y más peligrosos para mejorar la explotación de las formaciones productivas, se ha esperado que el lodo de perforación ejecute más funciones. Para ejecutar estas funciones satisfactoriamente, la composición del lodo se ha vuelto más variada y las propiedades han llegado a ser más susceptibles de controlar. El costo de mantener lodo de perforación efectivo, es ahora necesariamente una partida principal en el gasto total de perforación en muchos lugares. El propósito de esta lección es discutir la necesidad de mantener un control efectivo del lodo, los métodos empleados para ello y el mantenimiento más económico.

PRINCIPALES FUNCIONES DEL LODO DE PERFORACION

MANTENIENDO EL AGUJERO LIBRE DE RECORTES

Una función básica del fluido de perforación, es arrastrar los recortes mientras progresa la perforación. El fluido debe también ser capaz de mantener los recortes en suspensión, mientras se suspende la circulación para un viaje redondo, para reparaciones o para otras operaciones.

La habilidad para acarrear los recortes sacándolos del agujero y asentándolos en una presa, dependerá en parte de la velocidad o rapidez de la corriente de fluido en el espacio

anular entre la tubería de perforación y la pared del agujero. La capacidad de la bomba es aquí una consideración, así como las características del lodo. Cuando la capacidad de la bomba es tal, que la velocidad en el espacio anular es demasiado baja para que el lodo levante los recortes adecuadamente, elevar la viscosidad del lodo puede dar por resultado un agujero más limpio.

CONTRARRESTANDO LOS FLUJOS DE GAS, ACEITE Y AGUA

La presión hidrostática ejercida por la columna de fluido de perforación, debe ser tal que evite cualquier flujo de agua dentro del agujero, gas o aceite que se encuentre en las formaciones perforadas. Mientras que el peso o densidad del fluido de perforación es de primera importancia para efectuar esta función, también deberá recibir consideración la fuerza gelatinosa del lodo, ya que afecta el achique y la práctica de llenar el agujero a medida que se saca del agujero la tubería de perforación.

EVITANDO QUE SE DERRUMBEN LAS PAREDES

La altura o presión hidrostática de la columna de lodo ejercida contra las paredes del agujero del pozo, es un factor para evitar o prevenir el derrumbe de las formaciones. Otro factor, es el efecto de enjarrar de lodo o la habilidad para revestir porciones permeables del agujero con una torta de filtro delgada y resistente. El derrumbe de las lutitas se puede aminorar usando lodo de baja filtración.

ENFRIANDO LA BARRENA Y LUBRICANDO EL VASTAGO DE PERFORACION

Prácticamente, cualquier fluido que pueda circularse por el vástago de perforación servirá para enfriar la barrena; sin embargo, en la perforación moderna, la lubricación ha llegado a ser cada vez más importante y requiere características especiales del lodo. Es un hecho que el lodo con buenas propiedades para construir la pared contribuye mucho a la facilidad para manejar y girar la sarta de perforación. Es decir, si se usan buenos lodos se asegura un agujero "libre". Los lodos de emulsión de aceite, los emulsificantes especiales y los lubricantes para presión extremada, se usan para proporcionar mejor lubricación del vástago de perforación y de la barrena cuando se necesita.

OBTENCION DE INFORMACION APROPIADA DEL POZO Y NO DAÑAR LAS CAPAS PRODUCTIVAS

Además de efectuar las cuatro funciones esenciales relacionadas con la perforación, un lodo debe hacer otras cosas. El propósito de perforar un agujero, es hacer un pozo productor de gas o aceite; por lo tanto, el lodo de perforación deberá permitir la obtención de toda la información necesaria para valorar las posibilidades de producción de la formación penetrada. Las características de lodo deben ser tales que se puedan obtener buenos recortes, núcleos y registros eléctricos. Durante la operación de perforación, el lodo debe ofrecer protección máxima a cualesquiera formaciones productivas y no dañarlas.

RELACION ENTRE LAS FUNCIONES Y LA COMPOSICION Y LAS PROPIEDADES DEL LODO DE PERFORACION

La composición y las propiedades del lodo de perforación, son de la incumbencia de todos los miembros de la cuadrilla, porque afectan su seguridad y su empleo. Sólo se puede determinar definitivamente qué tan bien satisface los requerimientos que se le han asignado por su comportamiento en el agujero. Se han desarrollado varias pruebas, sin embargo, que dan al lodero experimentado una base para relacionar las propiedades medidas con el funcionamiento. Si el lodo falla en alguna función esencial, la composición se puede alterar para lograr el cambio necesario en las propiedades, siempre que se reconozca la relación entre la función, la composición y las propiedades

LA COMPOSICION DEL LODO DE PERFORACION: UN SISTEMA SENCILLO DE TRES PARTES

La gran mayoría de los lodos se pueden clasificar como lodos a base de agua y consisten principalmente de tres partes: 1).— la fase líquida o agua; 2).— la fracción coloidal que es la porción reactiva y 3).— la fracción inerte que consiste de arena, material para dar peso y otros sólidos inertes. Los lodos a base de emulsión son simplemente lodos a base de agua, en los que se han suspendido diminutas gotitas de aceite, y el tratamiento del lodo después de la emulsificación, es generalmente el mismo que el que requiere el lodo base. La mayor parte del control de lodo se dirige a la fracción coloidal, porque está la parte del lodo que se enriquece por la adición de bentonitas y arcillas y se mejora con tratamientos químicos o se daña con la contaminación.

La composición del lodo de perforación dependerá de los requerimientos de la operación de perforación en particular. Los fluidos de perforación no necesitan ser complicados o difíciles de entender. Para algunas operaciones de perforación, el agua sucia puede ser el fluido de perforación ideal. Los agujeros deben perforarse a través de un gran número de formaciones de tipos diferentes, por lo que es natural que se espere que varias mejoras en el fluido de perforación serán necesarias para ajustarse a las diversas condiciones que se encuentren mientras el agujero se perfora más profundamente en la tierra.

En algunas áreas, la perforación puede empezarse con agua y, a medida que progresa la perforación, las arcillas y lutitas recogidas de las formaciones se dispersarán en el agua, dando por resultado un lodo de perforación razonablemente bueno. En otras áreas se pueden encontrar calizas, arena o esquistos que no formen lodo. Bajo esas condiciones, será necesario agregar arcillas que sirvan a un propósito doble: primero, dar cuerpo o viscosidad al fluido de perforación y segundo, darle buenas propiedades de filtración.

LA NATURALEZA DE LAS ARCILLAS Y LOS ESQUISTOS

Las cualidades de gelatinosidad y de esponjamiento de algunas arcillas, imparten propiedades especiales a los lodos de perforación que los hacen diferentes de los líquidos viscosos, como la miel y el aceite lubricante. Las arcillas naturales varían desde aquéllas que se hinchan y se hidratan en alto grado hasta aquéllas que lo hacen sólo muy ligeramente. La Fig. 1, ilustra las diferencias muy claramente. La bentonita de Wyoming, que se representa por la curva a la izquierda, es prácticamente una forma pura de la arcilla mineral, montmorillonita. Las arcillas nativas pobres y también las comerciales de bajo rendimiento, ilustradas por la curva a la derecha, son sólo ligeramente hidratables y cuando se agregan al lodo,

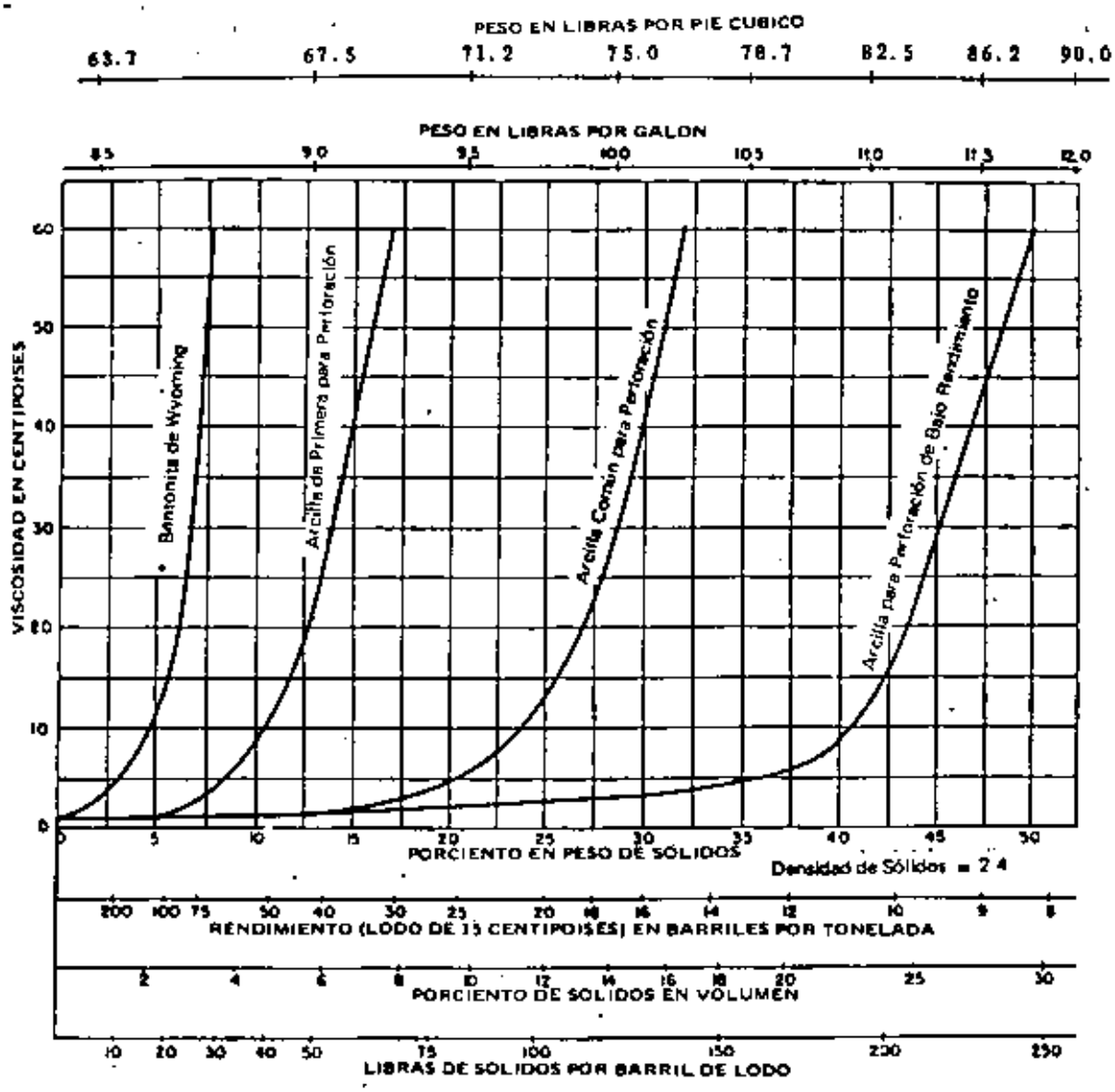


Fig. 1.– Curvas típicas de rendimiento de arcillas

* Una buena arcilla para agua salada en agua salada, se aproxima a la curva de rendimiento de la bentonita en agua dulce.

contribuyen principalmente a la fracción inerte y sólo muy poco al incremento de viscosidad. El comportamiento y las propiedades de construir paredes de algunas arcillas se pueden mejorar mucho con tratamiento químico. Esta práctica se ejecuta regularmente en pozos en los que el tratamiento químico mejora el lodo natural que se hace mientras se perfora.

RENDIMIENTO DE ARCILLAS Y ESQUISTOS

La cantidad de sólidos para lodo que se pueden agregar al agua dulce para hacer un lodo bombeable, depende de la habilidad de esos sólidos para absorber agua y del tamaño de las partículas. Si el material que se está agregando es altamente colo dal, como la bentonita, entonces de 7 a 9% de sólidos será el máximo que se puede tolerar sin tratamiento químico y el peso del lodo será de 8.8 lb/gal. (Vea la curva a la izquierda en la Fig. 1). Se dice que una arcilla así, tiene un alto rendimiento. El rendimiento de la arcilla se define como el número de barriles de lodo, de 15 centipoises, que se pueden preparar de una tonelada de material. Si el contenido hidratable coloidal del material es bajo, entonces el rendimiento será bajo, y se pueden tolerar de 25 a 50% de sólidos con pesos correspondientes de lodo de 9,8 a 12 lb/gal. (Nótese la curva a la derecha en la Fig. 1).

En todos los casos, la forma de esta curva es esencialmente la misma y la viscosidad aumenta en proporción no directa con el contenido de sólidos, es decir, el incremento de viscosidad no es directamente proporcional al contenido de sólidos. Los sólidos suspendidos tienen muy poco efecto sobre la viscosidad hasta un punto crítico de cerca de 15 cp. El contenido de sólidos en este punto crítico, es descriptivo del tipo particular de arcilla o esquisto y es indicativo de su tendencia a hidratarse. Arriba del punto crítico en la curva, la adición de pequeñas cantidades de sólidos tiene un efecto relativamente grande sobre la viscosidad.

Cuando se usa agua suave, dulce, buena para mezclar, la cualidad hidratante de la arcilla usada gobierna el rendimiento y el funcionamiento. Las aguas duras mineralizadas para mezclar y las salmueras (aguas saladas), sin embargo, retardan el rendimiento de las arcillas, generalmente dando por resultado características pobres de comportamiento del lodo. La naturaleza de las aguas para mezclar, es por consiguiente importante y puede decretar la selección del tipo de arcilla que hay que usar y el tratamiento químico correcto para el lodo formado.

Si el agua de repuesto contiene 5% o más de sal, las arcillas nativas y la bentonita de Wyoming pierden sus buenas propiedades de gel y de viscosidad y se deberá usar una arcilla para agua salada. Esas arcillas se minan en el norte de Florida y en el sur de Georgia y están compuestas principalmente de la arcilla mineral, atapulgita. Estas arcillas desarrollan viscosidad y gelatinosidad en agua saturada de sal comparables a las de la bentonita de Wyoming en agua dulce.

Una comprensión de las características de viscosidad de los lodos de arcilla en agua, como se muestra en las curvas típicas de rendimiento en la Fig. 1, es sumamente importante para el control del lodo de perforación. Estas curvas muestran la importancia de la concentración de sólidos. Las buenas propiedades del lodo pueden mantenerse únicamente con el control correcto de la concentración y calidad de los sólidos de baja densidad. Los sólidos los recoge el lodo mientras se está perforando. Con una acumulación indeseable de sólidos, se debe agregar agua o controlarse los sólidos mecánicamente, de acuerdo con la buena práctica para lodos.

HACIENDO LODO

La adición de bentonita o arcillas al lodo en un pozo de perforación, es una cuestión de atención cuidadosa y generalmente sólo se requieren pequeñas cantidades de material. Las formaciones que se perforan, raras veces proveen sólidos coloidales adecuados para un buen control del lodo. Sin embargo, se debe poner atención a la cantidad y naturaleza de los sólidos en el lodo antes de agregar bentonita u otras arcillas. Cuando se agregan arcillas, no es correcto que si agregar pocas es bueno, agregar muchas será mejor, porque en muchos casos una gran cantidad de arcilla puede producir un lodo inconvenientemente grueso.

PRUEBAS DE CAMPO DE FLUIDOS DE PERFORACION

El éxito de cualquier operación de perforación, depende directamente de las propiedades del fluido de perforación. Por lo tanto, se presenta un estudio completo de los aparatos y los procedimientos para probar lodo de perforación. Las propiedades que generalmente mide la cuadrilla de perforación son peso del lodo, viscosidad en el embudo y pérdida por filtro. Las cuadrillas también pueden medir la arena, alcalinidad y contenido de sal. En pozos profundos y costosos, todas las propiedades físicas del lodo se revisan a intervalos frecuentes y también los iones solubles presentes. El arte de la ingeniería de lodos es la conexión meditada de las propiedades del lodo con la manera en la que el lodo se comporta y desempeña sus diversas funciones bajo las condiciones encontradas en el pozo.

PRUEBAS DE DENSIDAD O PESO DEL LODO

La densidad es el peso por unidad de volumen. Una vez que se determina la densidad, puede expresarse en cualquier unidad conveniente; por ejemplo, en libras por galón, libras por pie cúbico, peso específico, o en libras por pulgada cuadrada por cada 1,000 pies de lodo en el agujero. Esta última unidad es importante, porque se puede usar rápidamente para calcular la altura hidrostática de la columna de lodo para cualquier profundidad del agujero en las mismas unidades que la presión de la bomba (lb/pulg^2) y la presión del yacimiento o fluido de la formación. Esto facilita el control cuando se combate la presión de la formación o la pérdida de circulación. Una comparación de la densidad expresada en estas unidades, se da en la Tabla I.

LA BALANZA DE LODO

La Fig. 2 muestra ejemplos de dos balanzas de lodo en uso común. La balanza de lodo consiste de una base de soporte, una copa, una tapa y un brazo graduado que lleva una pesa corrediza. Un filo de cuchilla en el brazo descansa en la base de soporte.

La densidad se mide como sigue:

1. Llene la copa con el lodo que se va a pesar.

2. Ponga la tapa en la copa y asiéntelo firmemente, pero con lentitud con un movimiento de enroscar. Asegúrese de que algo de lodo sale por el agujero de la tapa.

3. Con el agujero de la tapa tapado con un dedo, lave o limpie todo el lodo del exterior de la copa y del brazo.

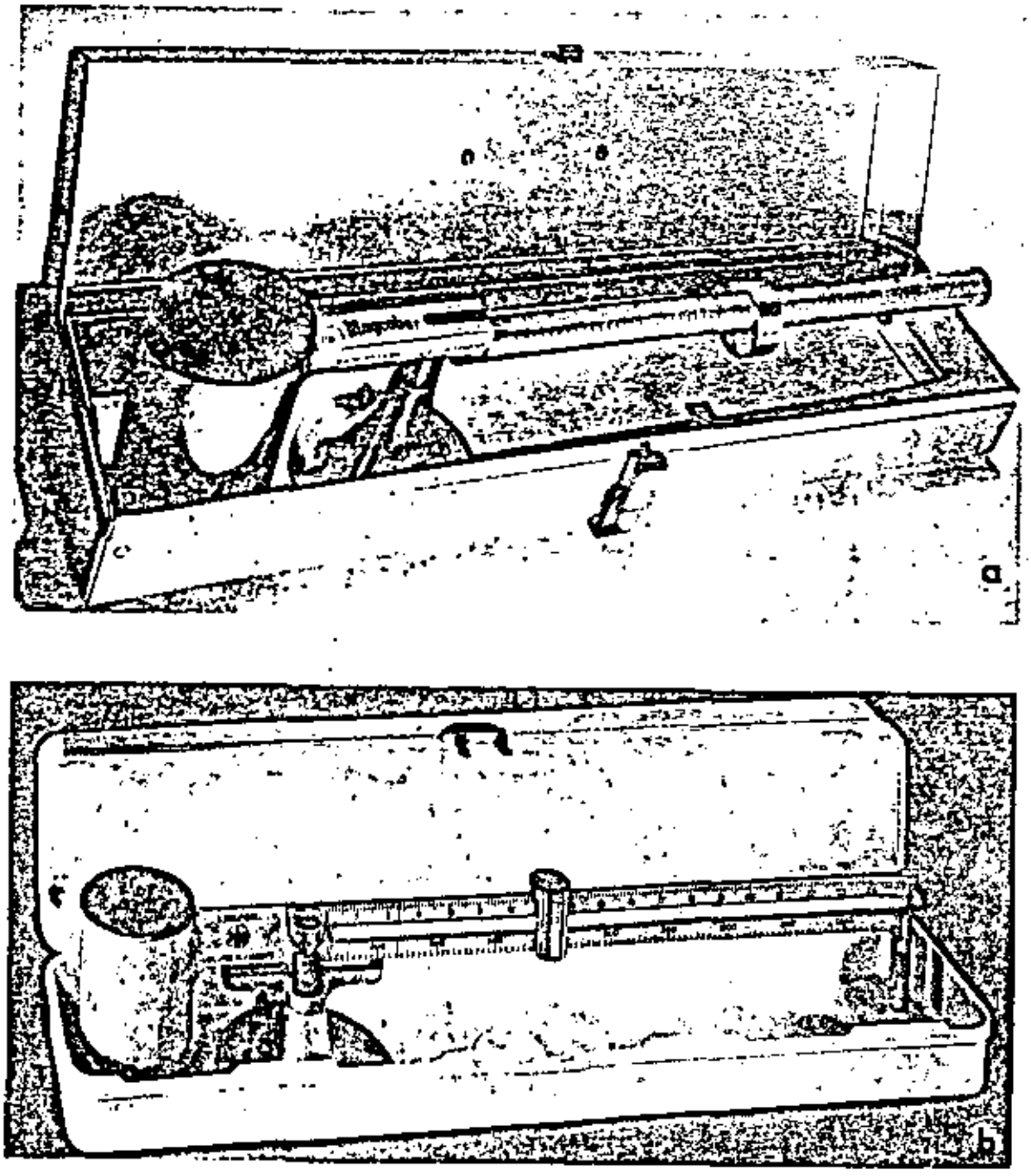


Fig. 2.— Tipos de balanzas de lodo.

4. Coloque la cuchilla en el punto de apoyo y mueva la pesa deslizable a lo largo del brazo graduado hasta que se balancean el brazo y la copa.

5. Lea la densidad del lodo en el borde izquierdo de la pesa deslizante.

6. Reporte el resultado hasta la división de la escala más próxima, en lb/gal., lb/pie^3, peso específico o lb/pulg^2/1,000 pies de profundidad.

7. Para balanzas que no muestran la escala deseada, se pueden usar las comparaciones que se muestran en la Tabla I.

Lave el lodo de la copa inmediatamente después de cada uso. Es absolutamente esencial que se conserven limpias todas las partes de la balanza para que se obtengan resultados precisos.

Para calibrar la balanza:

1. Llene la copa con agua pura.

2. Vuelva a poner la tapa y séquela.

3. Fije la pesa deslizable en 8.33 y coloque la arista de cuchilla de la balanza en el punto de apoyo.

4. Si la pesa y la copa no se equilibran en una posición de balanceo, agregue o retire municiones según se requiera o ajuste el tornillo de calibración en el extremo del brazo. La munición se puede agregar o retirar quitando el tornillo en la cámara de munición al extremo del brazo graduado.

5. Si el agua limpia da una lectura inferior a 8.3, agregue esa misma diferencia al peso del lodo cuando se haga la prueba. Reste de la misma manera cuando la lectura mayor de 8.3 para el agua limpia. Por ejemplo, si el agua limpia "pesa" 8.1 lb/gal., está dos puntos abajo y si la lectura del lodo inmediatamente después es de 10.5, ésta también está dos puntos abajo; agregando 0.2 a 10.5 tenemos 10.7 lb/gal. como el verdadero peso de la muestra.

PROPIEDADES DE VISCOSIDAD Y GELATINOSIDAD

Las mediciones de rutina en el campo de la viscosidad del lodo de perforación se hacen con el embudo de Marsh (Fig. 3), que mide una velocidad de flujo cronometrada. Los valores obtenidos se llaman de "viscosidad aparente". Los viscosímetros de indicación directa (Fig. 4), también miden la viscosidad aparente, pero como son instrumentos de velocidad múltiple, caracterizan mejor las propiedades de flujo del lodo. La viscosidad aparente de un lodo está compuesta de dos variables, viscosidad plástica y punto de escurrimiento. Estos valores, así como la fuerza de gelatinosidad que se mide, denotan las propiedades tixiotrópicas del lodo de perforación, se determinan con un viscosímetro de indicación directa.

La viscosidad plástica es la parte de la resistencia al flujo en el lodo causada principalmente por la fricción entre las partículas suspendidas y por la viscosidad de la fase líquida continua. Para propósitos prácticos, la viscosidad plástica depende de la concentración de sólidos presentes y del tamaño y forma de estas partículas.

TABLA I

CONVERSION DE VARIAS UNIDADES PARA REPORTAR PESOS DE LODO

LIBRAS POR GALON	LIBRAS POR PIE CUBICO	PESO ESPECIFICO	ALTURA DE PRESION POR CADA 1,000 PIES DE PROFUNDIDAD EN Lb/Pulg^2
7.5	56.0	0.90	399
8.0	59.8	0.96	416
8.3	62.4	1.00	433
8.5	63.4	1.02	442
9.0	67.5	1.08	468
9.5	71.1	1.14	494
10.0	75.0	1.20	520
10.5	78.5	1.26	546
11.0	82.5	1.32	572
11.5	86.0	1.38	598
12.0	90.0	1.44	624
12.5	93.6	1.50	650
13.0	97.5	1.56	676
13.5	101.0	1.62	702
14.0	105.0	1.68	728
14.5	108.5	1.74	754
15.0	112.3	1.80	780
15.5	115.9	1.86	806
16.0	120.0	1.92	832
16.5	123.4	1.98	858
17.0	127.5	2.04	884
17.5	130.9	2.10	910
18.0	135.0	2.16	935
18.5	138.3	2.22	961
19.0	142.1	2.28	987
19.5	145.8	2.34	1,013
20.0	149.6	2.39	1,035

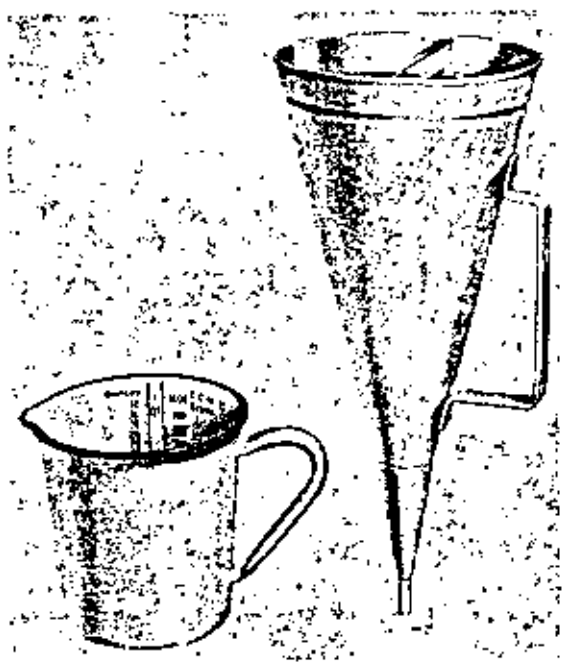
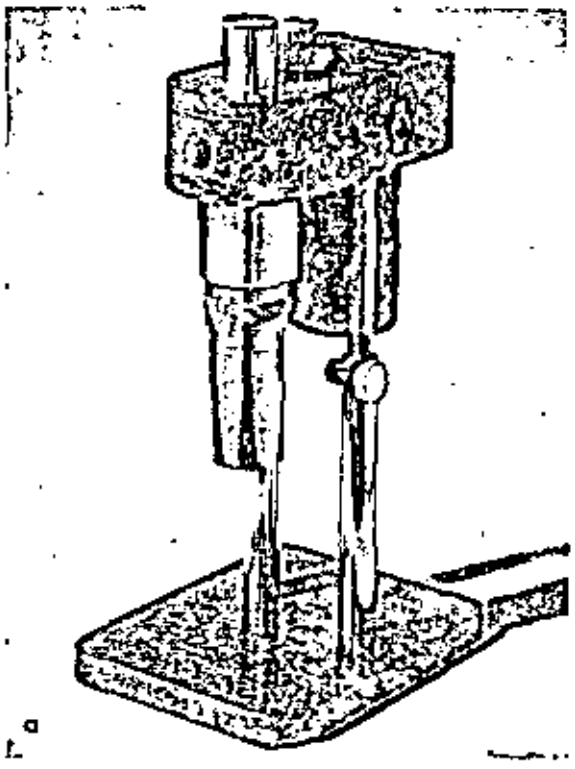
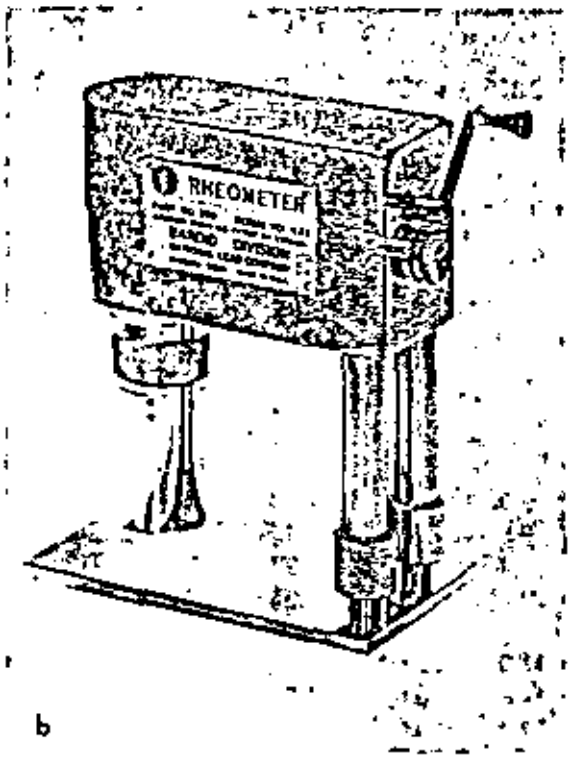
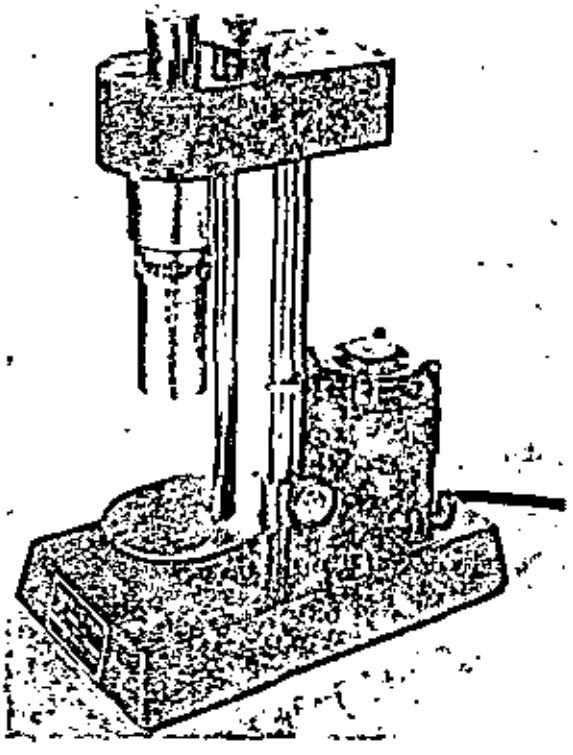
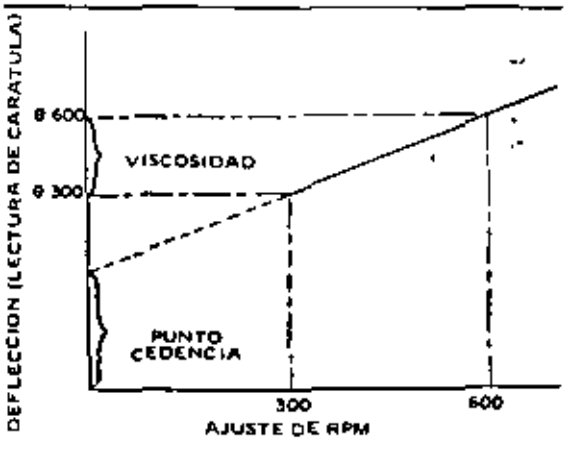


Fig. 3.— Embudo de Marsh









CURVA TIPICA DE FLUJO DE LODO USANDO UN VISCOSIMETRO DE INDICACION DIRECTA

Fig. 4.— Viscosímetros de indicación directa.

Fig. 5.— Curva típica de flujo de lodo usando un viscosímetro de indicación directa.

El punto de escurrimiento es una medida de las fuerzas entre las partículas. Estas fuerzas son el resultado de cargas positivas y negativas localizadas en la superficie de las partículas o cerca de ella. El punto de escurrimiento es una medida en las condiciones de flujo de las fuerzas en el lodo que causan el desarrollo de la estructura gelatinosa cuando se deja el lodo en reposo. Las fuerzas tienden a mover las partículas sólidas para arreglarlas de manera que las fuerzas atractivas y repulsivas se satisfagan mejor. Una medición de gelatinosidad es una indicación de estas fuerzas en condiciones de reposo.

Un cambio en la viscosidad plástica de un lodo de perforación causará pequeños cambios en el punto de escurrimiento. El punto de escurrimiento puede alterarse con poco o ningún cambio en la viscosidad plástica. Se puede esperar que el agua disminuya la viscosidad plástica, mientras que la adición de un producto químico apropiado dispersante disminuirá el punto de escurrimiento. La viscosidad plástica y el punto de escurrimiento son propiedades absolutas del flujo y reflejan el comportamiento coloidal y activo de superficie de los sólidos presentes en el lodo de perforación.

Una curva de flujo típica para un lodo de perforación tomada en el viscosímetro de indicación directa, se ilustra en la Fig. 5. El declive de la línea recta de la curva de consistencia es proporcional a la viscosidad plástica y la ordenada es proporcional al punto de escurrimiento.

EMBUDO DE MARSH

El embudo de Marsh es de 6" de diámetro en la parte superior y de 12" de largo, y su conicidad será para unirse a un tubo de 2" de largo y 3/16" de diámetro interior. La capacidad del embudo al fondo de la malla de alambre es de 1,500 cc. La prueba de viscosidad del embudo se hace de la siguiente manera:

1. Cubra la punta del embudo con un dedo y vierta el lodo por el cedazo hasta que el nivel llega al fondo del cedazo.

2. Quite el dedo de la salida y mida con un cronómetro el tiempo requerido para que fluya fuera del embudo un cuarto de lodo (0.962 lt.). El número de segundos se reporta como la viscosidad de embudo.

Para calibrar el embudo de Marsh para la prueba de Norma de API, llene el embudo con 1,500 cc. de agua limpia a una temperatura entre 70° y 80°F y anote el tiempo necesario para que un cuarto (de galón) salga del embudo. El tiempo para el agua dulce deberá ser de 26 segundos, con una tolerancia de 1/2 segundo en más o en menos.

Se pueden obtener resultados confiables con un embudo limpio, libre de abolladuras, tomando la muestra en la línea de flujo, colándola por el cedazo, corriendo la prueba inmediatamente y tomando el tiempo de la velocidad del flujo con un cronómetro.

VISCOSIMETRO DE INDICACION DIRECTA

Los viscosímetros de indicación directa, son instrumentos del tipo rotacional movidos por un motor eléctrico o por una manivela. El lodo está contenido en el espacio anular entre dos cilindros. El cilindro exterior o manga del rotor se mueve a una velocidad de rotación constante. La rotación de la manga del rotor en el lodo, produce un torque en el cilindro

interior o libre. Un muelle de torsión restringe el movimiento. Una carátula unida al cilindro libre indica su desplazamiento. El instrumento movido por motor de 12 volts (Fig. 4a), tiene velocidades de salida de 300 y 600 r.p.m. Un interruptor disparador de gobernador, permite una intensidad de deslizamiento o corte antes de medir y se usa un volante moleteado para determinar la fuerza de gelatinosidad. El instrumento con manivela (Fig. 4b), es similar en diseño a la unidad de 12 volts. Se usa una manivela para obtener velocidades de rotación de 300 y 600 r.p.m. El instrumento de 115 volts (Fig. 4c) se mueve con un motor sincrónico de dos velocidades para obtener velocidades de rotación de 3, 6, 100, 200, 300 y 600 r.p.m. La velocidad de 3 r.p.m. se usa para determinación de fuerza de gelatinosidad. Las constantes del instrumento se han ajustado de tal manera que la viscosidad plástica y el punto de escurrimiento se obtienen usando lecturas con velocidades de la manga del rotor de 300 y 600 r.p.m. La viscosidad aparente puede determinarse dividiendo la lectura de 600 r.p.m. entre dos.

Las mediciones de viscosidad plástica y de punto de escurrimiento se hacen por el siguiente procedimiento:

1. Coloque una muestra recientemente agitada en un recipiente apropiado y sumerja la manga del rotor exactamente hasta la línea marcada.

2. Con la manga girando a 600 r.p.m., espere a que la aguja de la carátula llegue a un valor constante (el tiempo requerido depende de las características del lodo). Registre la lectura de la carátula para 600 r.p.m.

3. Cambie a 300 r.p.m. y espere a que la carátula indique una lectura en un valor constante. Registre la lectura de la carátula a 300 r.p.m.

4. La viscosidad plástica en centipoises es igual a la lectura a 600 r.p.m. menos la lectura a 300 r.p.m. El punto de escurrimiento en lb/100 pies^2, es igual a la lectura a 300 r.p.m. menos la viscosidad plástica. La viscosidad aparente en centipoises es igual a la lectura a 600 r.p.m. dividida entre dos.

Las mediciones de fuerza de gelatinosidad se hacen por el siguiente procedimiento:

1. Ponga la muestra en la posición como la del párrafo 1 anterior. Agite a alta velocidad durante 10 segundos

2. Deje que el lodo repose sin alteración durante 10 segundos. Lenta, pero uniformemente gire la manivela en la dirección en la que se produzca una lectura positiva de la carátula. La lectura máxima es la fuerza inicial de gelatinosidad en lb/100 pies^2.

3. Vuelva a agitar el lodo y espere durante 10 minutos. Repita la medición como antes y reporte la lectura máxima como la fuerza de gelatinosidad a los 10 minutos en lb/100 pies^2.

PRUEBAS DE FILTRACION Y DE FORMACION DE PARED

PRUEBA A 100 LB/PULG^2

Una de las propiedades más importantes de un lodo de perforación, es la relación de filtración o pérdida de agua, que es una medida de la cantidad relativa de filtrado perdida en

una formación permeable y la cantidad de revestimiento de lodo depositado en las paredes permeables del agujero. Las prensas de filtro de baja presión que se ven en la Fig. 6, son instrumentos que se ajustan a las especificaciones de API para la medición de la filtración. La presión de gas se suministra con cartuchos de bióxido de carbono (CO_2). La modificación de las conexiones permite el uso de aire comprimido del abastecimiento del equipo o de cilindros. El procedimiento para hacer la prueba de filtración, es como sigue:

1. Ensamble las partes de la prensa de filtro limpias y secas, usando un papel filtro seco.

2. Llene el recipiente de lodo hasta cerca de 1/2" de la parte superior con lodo. (Llenar la celda hasta arriba, únicamente es necesario para conservar el gas). Cuando hay aire comprimido en abundancia, la celda solamente necesita llenarse parcialmente con lodo. (No use oxígeno por el peligro de explosión. Se puede usar nitrógeno en lugar de aire).

3. Con la probeta graduada en su lugar para recibir el filtrado, se aplica presión a través de los reguladores para obtener 100 lb/pulg^2, con una tolerancia en más o menos de 5 lb/pulg^2. Nunca abra la válvula de gas a un regulador que ya esté ajustado. Ponga o quite la presión a la prensa filtro con el tornillo del regulador.

4. Al terminar 30 minutos, se descarga la presión y el filtrado en la probeta se lee en milímetros como pérdida de agua. El papel de filtro se quita cuidadosamente con la torta de filtrado y el exceso de lodo se enjuaga con debido cuidado. Se lee el espesor de la torta de filtro hasta el más cercano 1/32".

En general, la prueba de los 30 minutos es la que se deberá usar. Sin embargo, si la pérdida de agua es mayor de 8 ml. para la prueba API, el volumen obtenido del filtrado en 7—1/2 minutos, se puede duplicar para dar una aproximación aceptable del valor API. El tiempo real de la prueba, si es diferente a la prueba de norma de 30 minutos, se deberá registrar en el informe de lodo.

Además de reportar el espesor de la torta de lodo, se deberá incluir una nota descriptiva cuando la torta tiene textura pobre o el espesor se ha incrementado por asentamiento.

PRUEBA A ALTA TEMPERATURA

Algunos agentes de control de la filtración tienden a perder su efectividad cuando se sujetan a presión y temperatura altas. Muchos operadores actualmente requieren que la prueba de filtración se haga en condiciones que simulen las temperaturas y presiones de "abajo en el agujero". El equipo para hacer esas pruebas está en uso comúnmente. El instrumento (Fig. 7) consiste esencialmente de una fuente de presión controlada, una celda diseñada para resistir una presión de por lo menos 1,000 lb/pulg^2, un sistema para calentar la celda y un armazón apropiado para sostener la celda y el sistema de calentamiento. Para pruebas de filtración a temperaturas arriba de 200°F, una celda de colección a presión se deberá unir al tubo de entrega.

La celda de alta presión está equipada con un termómetro y un pozo de termómetro, empaques resistentes al aceite y un soporte para el papel filtro (Whatman No. 50 ó equivalente). Una válvula en el tubo de entrega de filtrado controla el flujo de la celda. Un gas no peligroso como nitrógeno o bióxido de carbono, se deberá usar como la fuente de presión. El procedimiento para hacer la prueba de filtración a 300°F, es como sigue:

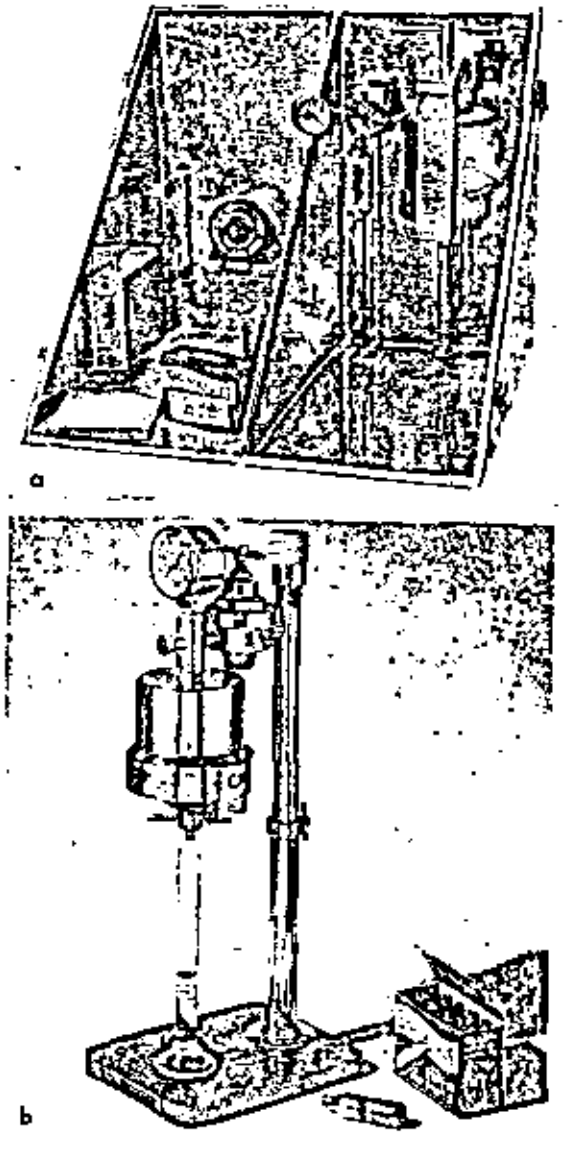


Fig. 6.— Tipos de aparatos para prueba de filtración a baja presión.

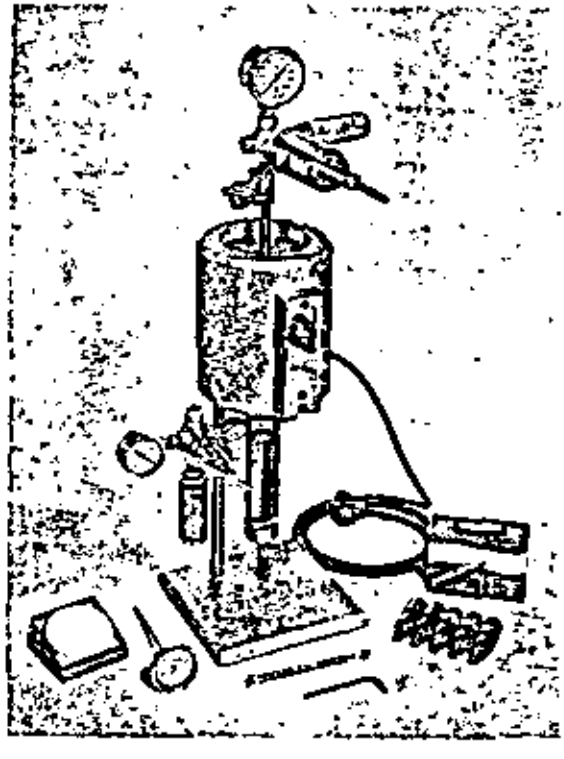


Fig. 7.— Aparato para prueba de filtración a alta temperatura y alta presión.

1. Conecte la chaqueta de calentamiento a 110 volts o al voltaje correcto para la unidad antes de que se haga la prueba. Ponga un termómetro en el pozo para termómetro. Precaliente la chaqueta de calentamiento a 310°F. Ajuste el termostato con objeto de mantener una temperatura constante.

2. Tome el lodo de la línea de flujo o precaliéntelo mientras se agita a 120°—130°F.

3. Cargue la celda teniendo cuidado de no llenarla más de 1/2" de la parte superior, para permitir la expansión.

4. Coloque la celda en la chaqueta de calentamiento con los vástagos de las válvulas cerrados, tanto de arriba, como de abajo. Transfiera el termómetro al pozo para termómetro.

5. Ponga la unidad de presión en la válvula de arriba y asegúrela en su lugar. Coloque el recibidor de presión del fondo y asegúrelo en su lugar. Aplique 100 lb/pulg^2 a ambas unidades de presión con los vástagos de las válvulas cerrados. Abra la válvula de arriba y aplique 100 lb/pulg^2 al lodo mientras se calienta.

6. Cuando la muestra alcanza 300°F, incremente la presión de la unidad de presión superior a 600 lb/pulg^2 y abra la válvula del fondo para iniciar la filtración. Recoja el filtrado durante 30 minutos, manteniendo la temperatura ±5°F. Si se desea, registre el volumen surgente después de 2 segundos. Si la contrapresión sube arriba de 100 lb/pulg^2 durante la prueba, disminuya la presión cuidadosamente descargando una porción del filtrado. Registre el volumen total.

7. El volumen del filtrado deberá ser corregido a una área de filtro de 7.1 pulg^2 (si el área del filtro es 3.5 pulg^2, duplique el volumen del filtrado y reporte).

8. Al terminar la prueba, cierre ambas válvulas de vástago. Regrese el tornillo en T y purgue la presión de ambos reguladores.

CUIDADO: La celda de filtrado todavía tendrá aproximadamente 500 lb/pulg^2. Mantenga la celda en posición vertical y enfríela a la temperatura ambiente.

Cuando se usan otras temperaturas o presiones, registre tanto la temperatura, como la presión. Si se desea la compresibilidad de la torta, el procedimiento puede repetirse usando presión superior de 200 lb/pulg^2 y 100 lb/pulg^2 para la presión de fondo.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ARENA

La arena es abrasiva para las bombas, las mangueras y los conductos de agua de las barrenas. Siempre lleva el peligro de asentarse en el agujero cuando se paran las bombas y pegan el vástago de perforación. Apesanta el lodo indebidamente y es especialmente indeseable cuando hay una tendencia a perder la circulación en formaciones cercanas a la superficie. El control del contenido de arena a un máximo de cerca de 1% en volumen, es generalmente considerado una buena práctica.

El contenido de arena del fluido de perforación, puede reducirse por cualquier método de los muchos que hay, como un tanque adicional de asentamiento, desarenadores centrífugos, etc.

Cuando hay una sección gruesa de arena fina (la entrada en el campo Rangely, por ejemplo), la penetración deberá retardarse para permitir a las bombas que manejen el volumen de arena que entra al fluido.

La Fig. 8 muestra el aparato sencillo que se usa para determinar el contenido de arena. El juego de cedazos consiste de: 1).— un cedazo especial de 200 mallas de 2—1/2" de diámetro, sujetado dentro de un collar sobre uno de cuyos extremos se ajusta un pequeño embudo; y 2).— un tubo de vidrio para medir calibrado de 0 a 20% para leer directamente el porcentaje de arena en volumen. El collar y el embudo están hechos de cobre cromado o de polietileno y la coladera está hecha de latón.

La prueba de contenido de arena se hace como sigue:

1. Llene el tubo con lodo hasta la marca que indica "lodo hasta aquí", luego agregue agua hasta la marca que dice "agua hasta aquí". Cubra la boca del tubo con el pulgar y sacuda vigorosamente.

2. Vierta esta mezcla por la coladera, teniendo cuidado de lavar todo para que salga del tubo con agua limpia a través de la misma coladera. Se puede facilitar el verter el lodo y el agua mezclados a través de la coladera golpeando a un lado de la coladera. El material retenido en la coladera no deberá apretarse o forzarse a través de la coladera, porque ésto dará una lectura errónea y puede zafar la coladera de los lados del recipiente. Lave la arena retenida en la coladera con una corriente de agua para eliminar todas las partículas de lodo.

3. Ajuste el embudo sobre la parte de arriba de la coladera, invierta lentamente, volteando la punta del embudo dentro de la boca del tubo y lave la arena para pasarla al tubo con un rocío fino de agua limpia por el lado de atrás de la coladera. Permita que se asiente la arena.

4. Registre la cantidad de arena asentada en el tubo graduado como el contenido de arena del lodo en porciento en volumen.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS Y LIQUIDOS CONTENIDO DE ACEITE DE LOS LODOS DE EMULSION

Las propiedades del lodo como la densidad, viscosidad, fuerza de gelatinosidad y filtración, son dependientes en grado considerable del contenido de sólidos del lodo. El conocimiento del volumen de sólidos en el lodo, puede dar una explicación de ciertas propiedades indeseables e indicar el tratamiento que se debe usar. Por ejemplo si el contenido de sólidos de un lodo grueso es excesivo, se deberá usar agua en lugar de productos químicos para adelgazar el lodo. De particular importancia en lodos pesados la densidad calculada de los sólidos sirve como un índice de las cantidades de arcilla y material para apesantar presentes.

El contenido de sólidos, puede determinarse evaporando una porción pesada de lodo y pesando el residuo. El volumen de los sólidos puede calcularse usando el peso del lodo. Para estimar los sólidos del lodo en lodos de agua salada, se debe aplicar una corrección por el contenido de sal encontrado en el análisis del filtrado. El volumen del líquido en el lodo se puede encontrar destilando el lodo y condensando y midiendo el líquido. Este método es apropiado para los lodos de emulsión de aceite.

Fig. 8.— Cedazo colocado para prueba de contenido de arena.

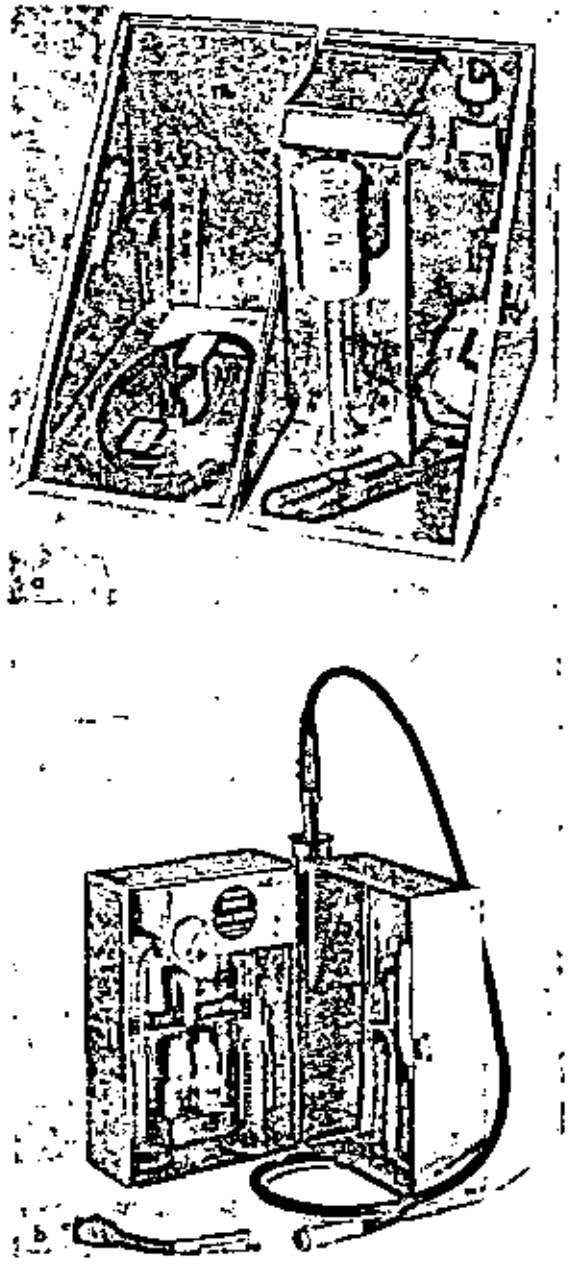


Fig. 9.— Destiladores para determinar contenido de sólidos y líquidos del lodo.

El contenido de aceite es un factor importante para mantener las propiedades deseadas de un lodo de emulsión de aceite.

El aparato que se observa en la Fig. 9, proporciona medios para la rápida determinación en el pozo del contenido de aceite, agua y sólidos en el lodo.

DESTILACION DE ACEITE Y AGUA

Se suministran instrucciones específicas con el aparato. En general, el método es como sigue:

1. Agregue una muestra homogénea de lodo a la celda calibrada.
2. Llene el espacio que hay arriba de la celda calibrada con lana fina de acero.
3. Selle la retorta. Ponga una probeta graduada debajo de la descarga del condensador.
4. Conecte el calentador de la retorta a una fuente de 110 volts de electricidad (ca. o cd.). Continúe calentando hasta que ya no caigan gotas del condensador.
5. Mida el volumen de aceite y agua recogido, aplique el factor de corrección apropiado y calcule el porciento de aceite, agua y sólidos en el lodo.

ESTIMACION DE LA COMPOSICION DE LOS SOLIDOS

Puede ser de interés determinar el peso específico promedio de los sólidos:

El peso específico de los sólidos, es igual a:

$$\div \frac{100\ (\text{Peso de lodo en lb/gal.} \div 8.3) - \%\ \text{de agua en vol.} - 0.8\ (\%\ \text{de aceite en vol.})}{\%\ \text{de sólidos en vol.}}$$

El peso específico del aceite se toma como 0.8, que es suficientemente preciso para el propósito de este cálculo.

Si se supone que los sólidos del lodo consisten únicamente de arcilla y material para apesantar, se puede hacer una estimación de las cantidades relativas de cada uno. Si suponemos que 2.6 es el peso específico de la arcilla y 4.3 el peso específico de los materiales para apesantar, entonces:

$$\frac{100}{\text{peso específico de sólidos}} =$$

$$\frac{\%\ \text{de arcilla en peso}}{2.6} + \frac{\%\ \text{en peso de material para dar peso}}{4.3}$$

de donde obtenemos:

$$\text{Arcilla, \% en peso en los sólidos} = \frac{658 - 153\,(\text{peso específico de sólidos})}{\text{peso específico de sólidos}}$$

$$\text{Barita, \% en peso en los sólidos} = 100 - \text{\% arcilla.}$$

DETERMINACION DE pH

El pH de un fluido de perforación indica su acidez relativa o su alcalinidad relativa. El agua bidestilada es neutra; es decir, no es ni ácida, ni alcalina; en la escala de pH este punto se indica por el número 7. Los ácidos varían de un poco abajo de 7 para acidez ligera hasta menos de 1 para la acidez más fuerte, mientras que las soluciones alcalinas varían de un poco arriba de 7 para alcalinidad ligera hasta 14 para la alcalinidad más alta. La escala de pH es logarítmica y cada número indica una alcalinidad diez veces mayor que la del número precedente. Por ejemplo, un pH de 9 indica una alcalinidad diez veces mayor que la de un pH de 8.

Hay dos métodos principales para determinar el pH de los fluidos de perforación. Uno de éstos está basado en el efecto de los ácidos y los álcalis en el color de ciertos indicadores químicos. El otro está basado en el hecho de que cuando ciertos electrodos se sumergen en un líquido, el voltaje desarrollado entre ellos varía de acuerdo con el pH del líquido.

EL METODO COLORIMETRICO

El papel de iones de hidrógeno para pH, es un rollo de papel tratado químicamente, cuyo color indica el pH del líquido en el que se sumerge. Los surtidores de papel de iones de hidrógeno para pH se muestran en la Fig. 10. El procedimiento es el siguiente:

1. Saque del surtidor una tira de cerca de 1" del papel indicador que se juzgue que esté dentro de los límites requeridos y colóquelo suavemente en la superficie del lodo.

2. Permita que pase suficiente tiempo para que el papel de la tirilla se empape absorbiendo filtrado y cambie de color (desde unos cuantos segundos hasta un par de minutos).

3. Iguale el color de la tira con la carta que hay a un lado del surtidor del que se ha tomado la tira y lea el pH del lodo.

4. Si no se puede igualar el color, repita la prueba con una tira de un surtidor que se juzgue que pueda estar más cerca de los límites del pH. Mientras que no es extremadamente preciso, la prueba es suficientemente buena para el uso ordinario del campo. Ciertas sales tienden a enmascarar el color. Si el contenido de cloruros es de 10,000 ppm, o más, la tira de pH no se recomienda.

EL METODO ELECTROMETRICO

La Fig. 11 ilustra los medidores de pH de electrodos de vidrio, instrumentos que son

Fig. 10.— Surtidores de papel de iones de hidrógeno para pH

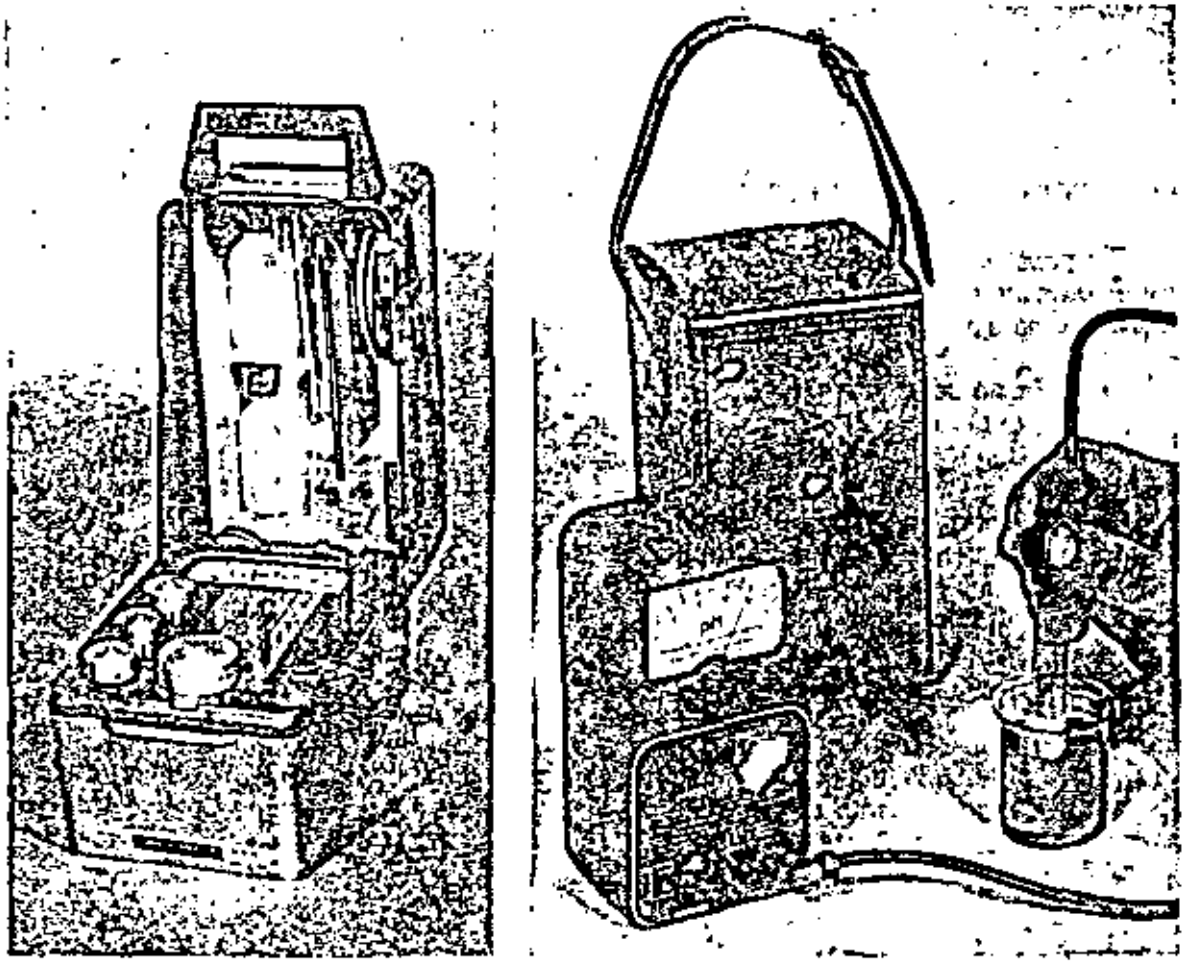


Fig. 11.— Medidores de pH de electrodos de vidrio

típicos de los dispositivos electrométricos que se usan para medir el pH, y que se usan ampliamente en la industria de perforación.

El medidor de pH de electrodos de vidrio es frágil y debe manejarse con mucho cuidado. Las instrucciones detalladas para usar el medidor de pH de electrodos de vidrio se suministran con el instrumento.

ANALISIS DE FILTRADO

Se hacen algunas pruebas químicas en los filtrados de los lodos para determinar la presencia de contaminantes, como la sal o la anhidrita o para ayudar al control de las propiedades del lodo; por ejemplo, la prueba de alcalinidad en lodos de alto pH. Las mismas pruebas se pueden aplicar a las aguas de repuesto, que en algunas áreas contienen sales disueltas que afectan materialmente el tratamiento del lodo.

En la Fig. 12 se muestra el equipo generalmente usado para el análisis de filtrados. Ilustrados de izquierda a derecha, están en la figura: 1).– bureta automática, 2).– botella de reactivo, 3).– botella gotero, 4).– caserola, 5).– probeta graduada, 6).– pipeta graduada, y en la parte de enfrente, 7).– agitador de varilla de vidrio.

DETERMINACIONES DE ALCALINIDAD

Debido a que la escala de pH es logarítmica, la alcalinidad de un lodo de alto pH puede variar una cantidad considerable sin cambio perceptible en pH. El análisis del filtrado del lodo para determinar la alcalinidad, es más significativo que la medición del pH en los sistemas altamente alcalinos.

El procedimiento para la prueba de alcalinidad P_F, es:

1. Mida uno o más milímetros de filtrado fresco en un Earlenmayer de 125 ml., (matraz) o en una cacerola.

2. Agregue dos o tres gotas de indicador de fenolftaleína en solución. Si no se forma ningún color, la P_F es 0. Si aparece un color rojo.

3. Agregue ácido sulfúrico 0.02 normal (N/50) de una bureta automática o de una pipeta, agitando continuamente hasta que la muestra se vuelve de roja a incolora. Si la muestra está coloreada con productos químicos que enmascaran este punto final, entonces se toma el punto final cuando el pH baja a 8.3, usando el medidor de pH de electrodos de vidrio. El número de milímetros de ácido sulfúrico 0.02 normal (N/50), dividido entre el número de milímetros de muestra tomada, se llama la alcalinidad "P" del filtrado (P_F).

4. A la muestra que se ha titulado hasta el punto final "P", agregue 2 a 3 gotas de solución indicadora de anaranjado de metilo. Agregue ácido normal gota a gota de la pipeta, agitando hasta que el color de la solución cambia de anaranjado a rosa. Registre como "M" el volumen total de ácido en milímetros, que se usaron para alcanzar el punto final de anaranjado de metilo (incluyendo el usado para el punto final "P"). Si la muestra está coloreada, de tal manera que no sea evidente el cambio de color, se toma el punto final como cuando el pH baja a 4.3, medido con el medidor de pH de electrodos de vidrio.

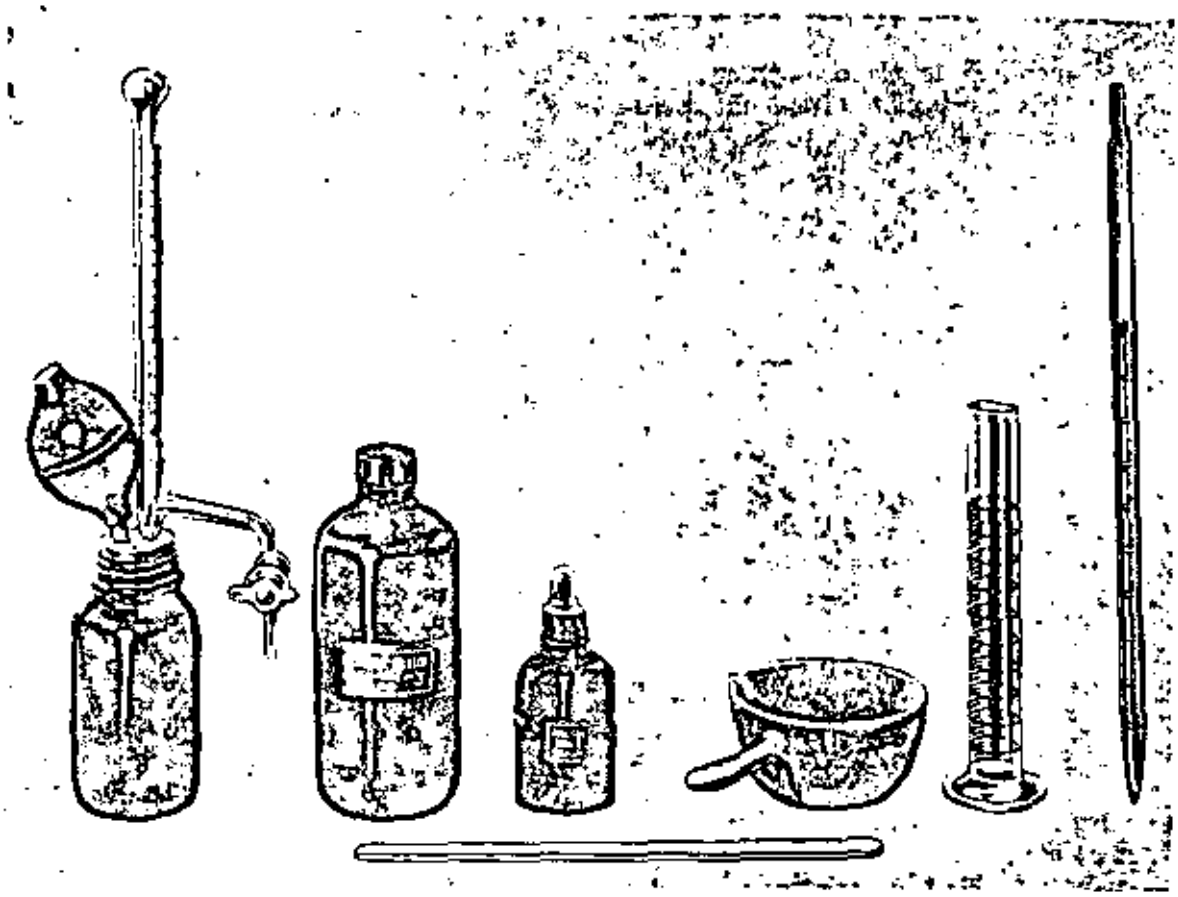


Fig. 12.— Equipo que se usa para análisis de filtrados

5. Reporte la alcalinidad al anaranjado de metilo del filtrado M_F, como el total de milímetros de ácido 0,02 normal por milímetro de filtrado, requeridos para llegar al punto final del anaranjado de metilo.

ESTIMACION DEL CONTENIDO DE CAL

Un conocimiento de la cantidad de exceso de cal presente, es de gran valor como una ayuda para controlar las propiedades de un lodo tratado con cal. Una estimación del contenido de cal se puede hacer basada en las titulaciones de alcalinidad del filtrado y del lodo en total. La titulación del lodo, debe hacerse rápidamente para permitir la titulación del hidróxido de calcio y del hidróxido de sodio, sin interferencia de carbonato de calcio.

El procedimiento para estimar el contenido de cal, es:

1. Mida 1 ml. de lodo en una cacerola y dilúyalo a cerca de 50 ml. con agua destilada. Una jeringa de veterinario es suficientemente satisfactoria para medir aún un lodo grueso, mientras que se puede usar una pipeta para lodos más delgados.

2. Agregue 2 a 3 gotas de solución de indicador de fenolftaleína. Se forma un color rojo.

3. Agregue rápidamente ácido sulfúrico 0.02 normal (N/50) de una bureta o pipeta, agitando continuamente, hasta que la muestra primero cambia de rojo al color del lodo. El número de milímetros de ácido 0.02 N dividido entre los milímetros de muestra tomada, se llama la alcalinidad P del lodo (P_M).

4. Determine la alcalinidad P del filtrado (P_F), de acuerdo con el método que se dio en la sección anterior.

5. Calcule el contenido de cal como sigue:

$$0.26\,(P_M - F_W P_F) = \text{equivalente de hidróxido de calcio, (lb/bl.)}$$

Donde:

P_M = ml. de ácido 0.02 N para P de lodo

P_F = ml. de ácido 0.02 N para P de filtrado

F_W = fracción de agua en volumen de lodo (vea la sección "Determinación de Contenido de Sólidos y Líquidos")

Si el peso del lodo es 12 lb/gal. o menos, el contenido aproximado de cal en lb/bl., puede calcularse como sigue:

$$\text{lb/barril de cal} = \frac{P_M - P_F}{4}$$

Esta sencilla aproximación la usa la gente del campo cuando el contenido de productos químicos del lodo no es crítico. La cal comercial puede variar en pureza de 50% a 90% de hidróxido de calcio; consecuentemente, el contenido de cal que se encuentra en el lodo, puede ser considerablemente menor que lo que indican las cantidades agregadas al sistema. Para determinar el contenido de hidróxido de calcio en una cal comercial, se puede titular con ácido normal una porción pesada y el hidróxido de calcio se calcula con la relación:

1 ml. de ácido 0.02 N = 0.00074 de hidróxido de calcio.

PRUEBA DE (CLORUROS) CONCENTRACION DE SAL

La prueba de sal o de cloruros, es más importante en áreas en las que la sal puede contaminar el fluido de perforación. Esas áreas incluyen la mayoría de los campos petroleros de Estados Unidos. Muchas vetillas y capas de sal se perforan en muchas áreas del oeste de Texas y en Oklahoma. El agua de repuesto superficial en estas áreas y a lo largo de la costa del Golfo, pueden presentar problemas debido a su contenido de sal. Los flujos de agua salada, especialmente en la costa del Golfo, pueden contaminar el fluido de perforación en el agujero. Las pruebas de sal se encuentran entre los medios para detectar estos flujos. Cuando el contenido de cloruros excede 6,000 ppm., puede que sea necesario alterar el programa de lodo.

La prueba se hace en una porción del filtrado original o en la muestra de la prueba para alcalinidad, a la cual se ha agregado una cucharada de carbonato de calcio.

El procedimiento de la prueba del contenido de cloruros, es como sigue:

1. Mida una muestra de un volumen conveniente de 1 ml. a 10 ml., poniéndola en la cacerola y dilúyala a cerca de 50 ml. con agua destilada.

2. Agregue unas gotas de indicador de fenolftaleína. Si se observa un color rojo, agregue ácido sulfúrico hasta que desaparezca completamente. Si se han agregado fosfatos en grandes cantidades, agregue de 10 a 15 gotas de solución de acetato de calcio.

3. Agregue 4 ó 5 gotas de indicador de cromato de potasio para dar a la muestra un color amarillo brillante.

4. Agregue solución normal de nitrato de plata gota a gota, agitando continuamente. El punto final de la titulación se alcanza cuando la muestra cambia primero de anaranjado a rojo ladrillo.

Calcule el contenido de cloruros (Cl), como sigue:

$$\text{Contenido de Cl en mg. por litro o ppm.} = \frac{\text{ml. de nitrato de plata}}{\text{ml. de muestra}} \times 1{,}000$$

Si en la solución normal,

1 ml. = 1 mg. de Cl ó 4.7910 g de $AgNO_3$ por litro (0.0282 N)

o,

$$\text{Contenido de Cl en mg. por litro o ppm.} = \frac{\text{ml. de nitrato de plata}}{\text{ml. de muestra}} \times 10{,}000$$

si en la solución normal,

1 ml. = 10 mg. de Cl ó 47.910 gr. de $AgNO_3$ por litro (0.282 N)

El método de cálculo anterior supone que no hay cambio de densidad del filtrado con el incremento de concentración de sal. Por lo tanto, los resultados se expresan correctamente en mg. por litro, pero no en ppm. Para expresar la concentración en ppm. o porciento en peso, use la siguiente fórmula:

$$\text{ppm.} = \frac{\text{mg. por litro}}{\text{densidad de la sol., gr. por ml.}}$$

$$\text{Porciento en peso} = \frac{\text{mg. por litro}}{10{,}000\ (\text{densidad de la sol., gr. por ml.})}$$

La densidad de cualquier solución de sal se puede aproximar con la Tabla II.

Además de la sal común que es cloruro de sodio, las capas de sal y las salmueras, con frecuencia contienen cloruros de calcio y magnesio. El método de prueba descrito determina la cantidad de "ión cloruro" presente. El resultado puede expresarse en términos de cloruro de sodio o sal, multiplicando por 1.65.

CONCENTRACION DE CONSERVADOR

Es necesario cierto conocimiento de la cantidad de conservador presente en un lodo para la prevención de la fermentación del almidón. Debido a que el formaldehido (para—formaldehido) se usa frecuentemente solo y porque es el principal constituyente de muchos conservadores de marca, se presenta aquí un método para estimar el contenido de formaldehido del filtrado del lodo.

1. Mida 3 ml. de filtrado en una cacerola o en un tubo de ensayo. Agregue 2 gotas de solución de indicador de fenolftaleína. Si la muestra permanece incolora, está ácida y se deberá agregar solución de hidróxido de sodio 0.02 normal (N/50) gota a gota con agitación, hasta que se advierte un ligero color rosa. Luego agregue ácido sulfúrico 0.02 normal (N/50) gota a gota, hasta que desaparezca el color.

2. Si al agregar primero la fenolaftaleína, el filtrado se pone coloreado, agregue ácido sulfúrico por gotas hasta que desaparezca el color.

3. Al filtrado neutralizado, agregue 1 ml. de solución de sulfito de sodio al 4.0% —se observará un color rojo—.

4. Después de aproximadamente 30 segundos, titule usando una pipeta de 10 ml. con una solución de ácido sulfúrico 0.02 normal (N/50), hasta que la muestra esté de un color rosa muy débil. Registre la cantidad de ácido en mililitros.

5. Repita el procedimiento anterior (3 y 4), usando agua destilada en lugar de filtrado del lodo.

6. Reste los mililitros de ácido requeridos para la determinación en blanco (5) de los mililitros usados para el paso 4 y multiplique por 0.07, para encontrar el contenido de formaldehido en lb/barril.

Se usan mucho los equipos o juegos para prueba de conservadores con botellas gotero únicamente para la determinación del contenido de conservador. Si la prueba se hace cuidadosamente, los valores resultantes estarán en acuerdo substancialmente con los encontrados por el procedimiento anterior. Deberá notarse que una solución de sulfito de sodio se deteriora fácilmente y si tiene más de 30 días deberá reponerse con solución fresca. La solución se prepara disolviendo 4 gr. de sulfito de sodio en 100 ml. de agua destilada.

PRUEBAS DE DUREZA Y CONCENTRACION DE CALCIO

Por "agua dura" queremos decir agua que tiene disueltas sales de calcio y magnesio. La evidencia común de la dureza en el agua, es la dificultad para producir espuma en ella con el jabón. En muchos campos petroleros, muy notable en el oeste de Texas y en Oklahoma, el

agua disponible es bastante dura. Como se podrá comprender, las arcillas para perforación tienen bajos "rendimientos" cuando se mezclan con agua dura. Entre más dura sea el agua, se necesita más bentonita para hacer un lodo de gelatinosidad satisfactoria. En casos extremos, se ha encontrado que es económico tratar el agua químicamente antes de usarla para mezclar lodo, pero generalmente, no se considera económico hacer ésto. Sin embargo, frecuentemente cuando se puede escoger agua de dos o más orígenes para el equipo, puede ser conveniente hacer una prueba sencilla para seleccionar la que sea más suave de las dos.

Toda la gente del campo está familiarizada con los efectos cuando se perforan formaciones de anhidrita (sulfato de calcio) o "yesosas" en el lodo. Igualmente, cuando se perforan tapones de cemento, se recogen las sales de calcio y algunas veces al penetrar secciones de esquisto calizo. Cualquier contaminación extensa de calcio da por resultado pérdida de agua anormalmente alta y relación de gelatinización rápida. Se dan dos métodos para pruebas de calcio adelante.

ESTIMACION DE CALCIO CON OXALATO

Cuando se sospecha la contaminación con sales de calcio, la cantidad relativa presente puede estimarse por medio de una prueba sencilla como sigue:

1. Ponga de 2 a 4 ml. de filtrado en un tubo de ensayo o en otro recipiente limpio y conveniente.

2. Agregue cerca de 1 ml. de solución diluida de oxalato de amonio.

3. El calcio presente se precipitará de la solución y aparecerá como un precipitado blanco lechoso en la muestra. Puesto que esta prueba no da el contenido de calcio en partes por millón, es una práctica general registrar el contenido de calcio como "trazas", concentración "visible", "ligera" y "pesada" de calcio.

PRUEBA DE VERSENATO PARA DUREZA

Si se desea más precisión, se puede usar la prueba de Versenato para determinar el contenido de iones, calcio o magnesio en una muestra de agua o de filtrado de lodo. El procedimiento para la prueba, es el siguiente:

1. Mida 1.0 o más ml. de muestra en una cacerola o matraz y diluya hasta aproximadamente 50 ml. con agua destilada.

2. Agregue 2 ml. de solución Buffer para dureza y 5 a 10 gotas de solución de indicador para dureza (o un gramo del producto sólido "Univer", que combina el Buffer y el indicador). Se formará un color rojo si hay presentes calcio o magnesio.

3. Agregue solución para titular dureza (Reactivo Versenato, 1 ml. = 1 mg. de $CaCO_3$), agitando continuamente, hasta que la muestra pasa de rojo a azul.

4. Calcule la dureza total como sigue:

TABLA II

COMPOSICION Y PESO DE SOLUCIONES DE SAL

CLORURO DE SODIO NaCl%	LB DE NaCl AGREGADAS POR BL. DE AGUA	VOLUMEN DE SOLUCION EN BARRILES	DENSIDAD DE SOLUCION A 77°F g/ml.	lb/gal.	CLORURO MG. DE CL/LITRO
1.0	3.53	1.005	1.0041	8.37	6,098
2.0	7.14	1.008	1.0111	8.43	12,287
4.0	14.58	1.015	1.0253	8.55	24,921
6.0	22.34	1.022	1.0396	8.67	37,912
8.0	30.43	1.030	1.0541	8.80	51,296
10.0	38.89	1.038	1.0688	8.92	64,987
12.0	47.73	1.046	1.0837	9.04	79,065
14.0	56.98	1.057	1.0987	9.17	93,507
16.0	66.67	1.068	1.1140	9.30	108,373
18.0	76.83	1.078	1.1295	9.43	123,604
20.0	87.50	1.089	1.1453	9.56	139,320
22.0	98.72	1.102	1.1614	9.70	155,440
24.0	111.05	1.113	1.1778	9.83	171,905
26.0	122.97	1.129	1.1944	9.97	188,895
26.4	126.00	1.133	1.1978	9.99	191,600

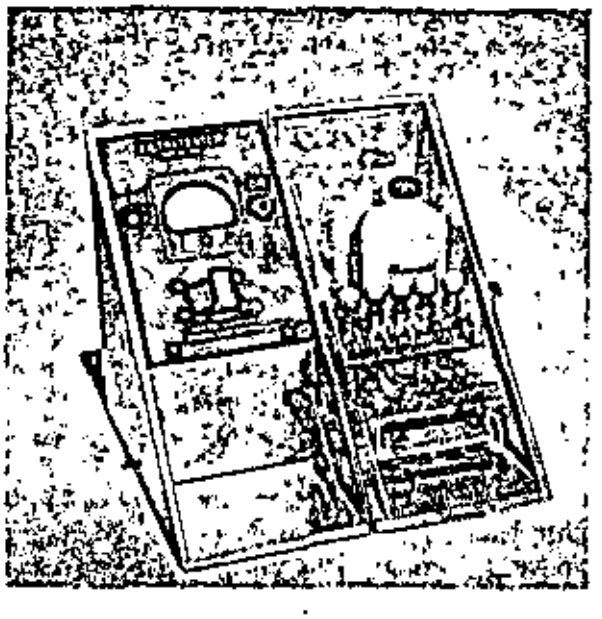


Fig. 13.— Fotoprobador

$$\frac{\text{ml. de solución para tirular} \times 1{,}000}{\text{ml. de muestra}} = \text{Dureza en ppm. como } CaCO_3$$

$$\text{ppm. de calcio} = 0.4 \times \text{ppm. de dureza como } CaCO_3$$

ESTIMACION DE SULFATOS CON CLORURO DE BARIO

La solución de cloruro de bario acidulada, se puede usar para estimar el contenido de sulfatos en una forma similar al uso de la solución de oxalato de amonio para la estimación de calcio, así:

1. Ponga de 2 a 4 ml. de filtrado en una cacerola, matraz o tubo de ensayo.
2. Agregue unas cuantas gotas de solución de cloruro de bario.
3. Cualquier sulfato presente aparecerá en la muestra como un precipitado blanco lechoso.

Los términos "trazas", "visible", "ligera" y "pesada", se usan para la seriedad relativa de la contaminación.

Una determinación más precisa de la cantidad de sulfato, puede hacerse en el campo con un aparato de fotocelda. Todos los iones que se encuentran comúnmente en el agua, se pueden probar con este dispositivo.

EL FOTOPROBADOR

En el fotoprobador, un rayo de luz pre-enfocado pasa a través de una botella de muestra que contenga la muestra y el reactivo y cae en una celda fotoeléctrica. Esto genera una pequeña corriente eléctrica que puede medirse con un microamperímetro. La corriente que así se mide, se refiere a una gráfica de calibración para ver la cantidad presente de un ión determinado (Fig. 13).

TRATAMIENTO DEL AGUA DE REPUESTO

En áreas en las que únicamente hay agua dura disponible para mezclar lodo, el rendimiento de la arcilla puede incrementarse y disminuirse la pérdida de agua eliminando el calcio disuelto. Se agrega carbonato de sodio (sosa calcinada) para formar un precipitado de carbonato de calcio. La cantidad de carbonato de sodio necesaria para suavizar el agua, puede estimarse con la dureza encontrada en la titulación de Versenato, como sigue:

$$\text{Lb. de sosa calcinada por barril de agua} = 0.0004 \times (\text{dureza en partes por millón como } CaCO_3)$$

El tratamiento con sosa calcinada únicamente no eliminará toda la dureza del agua que contenga una alta concentración de bicarbonato. La alcalinidad de esas aguas debe elevarse para permitir una eliminación completa del calcio con sosa calcinada. El contenido de bicarbonato del agua se puede calcular con la alcalinidad determinada de acuerdo con el procedimiento dado en "Determinación de Alcalinidad".

La estimación de hidróxido, carbonato y bicarbonato, se hace con estas relaciones:

Dejemos que:

P = ml. de H_2SO_4 0.02 N requeridos para el punto final de fenolftaleína.

M = ml. totales de H_2SO_4 0.02 N requeridos para el punto final del anaranjado de metilo.

Entonces cuando:

P = cero, la alcalinidad se debe sólo a bicarbonato.

P = M, la alcalinidad se debe a hidróxido únicamente.

2P = M, la alcalinidad se debe a carbonato solamente.

2P > M, la alcalinidad se debe a una mezcla de carbonato y de hidróxido.

2P < M, la alcalinidad se debe a una mezcla de carbonato y bicarbonato.

Estos resultados pueden expresarse como:

1. Alcalinidad total.

   M x 20 = partes equivalentes por millón de alcalinidad total.

2. Alcalinidad de carbonatos.

   a). Si hay presente hidróxido,

   (M − P) x 40 = partes equivalentes por millón de alcalinidad de carbonatos.

   (M − P) x 1,200 = partes por millón de carbonato (CO_3).

   b). Si no hay hidróxido,

   P x 40 = partes equivalentes por millón de alcalinidad de carbonatos.

   P x 1,200 = partes por millón de carbonato (CO_3).

3. Alcalinidad de hidróxido.

   (2P − M) x 20 = partes equivalentes por millón de alcalinidad de hidróxido.

   (2P − M) x 340 = partes por millón de hidróxido (OH).

4. Alcalinidad de bicarbonato.

   (M − 2P) x 20 = partes equivalentes por millón de alcalinidad de bicarbonato (HCO_3).

   (M − 2P) x 1,220 = partes por millón de bicarbonato (HCO_3).

Un tratamiento sencillo, adecuado para la mayoría de las aguas de repuesto, es agregar bastante sosa calcinada para elevar el pH a 9 y luego agregar sosa calcinada equivalente a la dureza total.

Los valores de hidróxido, carbonato y bicarbonato determinados como anteriormente, representan un tipo apropiado de análisis de agua. La aplicación de estos procedimientos al filtrado del lodo usual, es sin embargo, de validez dudosa porque las reacciones con otros componentes solubles, como los agentes de tratamiento, no permiten determinaciones cuantitativas de carbonato y bicarbonato por simple titulación.

PRUEBAS PILOTO

Ciertas sugestiones relativas a los procedimientos de pruebas piloto, serán de gran ayuda como guía para determinar el tratamiento apropiado para acondicionar el lodo. Por ejemplo, se puede evitar confusión registrando los resultados de las pruebas piloto (o pruebas de banco) en las unidades del campo. La adición de 1 gr. de material a 350 ml. de muestra de lodo, es equivalente a la adición de 1 lb. de material por barril de lodo. Las adiciones de líquidos pueden hacerse como porciento en volumen y registrarse como barril de líquido por 100 barriles de lodo original.

Es importante cuando se estén haciendo pruebas piloto, considerar el orden y la manera en la que los materiales se agregarán en las condiciones bajo las condiciones del campo. Puede resultar una considerable variación en los resultados agregando un material seco sólido y agregándolo en solución o agregando una arcilla antes de un adelgazador químico comparado con agregarlo después. El orden de adición siempre deberá indicarse cuando se registren los resultados de pruebas piloto.

Es conveniente tener soluciones de los materiales que se agregan normalmente por el barril de productos químicos con agua. Una solución de quebracho cáustica, por ejemplo, puede prepararse disolviendo 35 gr. de sosa cáustica y 35 gr. de quebracho seco en una cantidad conveniente de agua y luego agregando más agua para hacer 350 ml. de solución. En una prueba piloto, 10 ml. de esta solución agregados a 350 ml. de lodo, equivalen a agregar 1 lb. de sosa cáustica y 1 lb. de quebracho por barril de lodo, junto con 3% en volumen de agua.

La mezcla de una muestra para prueba piloto, también es muy importante. No existe un método sencillo para duplicar con aproximación la mezcla que recibe el lodo en el curso de la circulación. La experiencia ha indicado algunas reglas generales cuando se usa un mezclador de alta velocidad, tales como:

1. Agite 5 minutos cuando se agreguen líquidos o sólidos inertes.

2. Agite 15 minutos cuando se agreguen sólidos que solamente se necesitan dispersar.

3. Agite lentamente durante 30 minutos (o agite y deje reposar) cuando se agreguen materiales que sufren hidratación o entran en reacción química, que se efectúan lentamente.

4. Tenga cuidado de evitar agitación excesiva. El esfuerzo constante de alta velocidad puede alterar las propiedades del lodo y consecuentemente, el lodo no tratado deberá agitarse y probarse en la misma forma que las muestras tratadas.

Aun cuando los lodos del mismo tipo se comportaran de una manera algo similar, en ningún momento dos lodos de un campo tendrán la misma composición. Por lo tanto, las pruebas piloto son frecuentemente auxiliares para predecir la respuesta de un lodo del campo a un tratamiento en particular o a una contaminación. Sin embargo, en muchos sistemas complejos de lodo, los aditivos químicos en pruebas piloto sin el añejamiento con calor apropiado, pueden dar resultados engañosos. Es muy importante verificar una prueba completa del lodo, valorar la condición del lodo basándose en los valores obtenidos y agregar los materiales de tratamiento con el conocimiento de por qué exactamente se agrega cada material.

ACONDICIONAMIENTO DE LODOS DE PERFORACION

La composición y el acondicionamiento de los lodos de perforación, son factores vitales para la terminación de un pozo petrolero. El acondicionamiento debe abarcar técnicas, procedimientos y aditivos para controlar las propiedades físicas y químicas del lodo de perforación. Las terminaciones con buenos resultados, requieren el programa correcto y el tratamiento del lodo. Los programas de revestimiento, velocidad de perforación y los resultados de terminación, están directamente influenciados por el lodo de perforación. El negocio de hacer agujero, es asunto del perforador y de su cuadrilla. Aun cuando las mejores herramientas pueden considerarse que son la barrena correcta, el volumen apropiado de la bomba, la velocidad de rotaria conveniente y el peso debido en la barrena, los objetivos de perforación con frecuencia solamente se logran con el control cuidadoso del fluido de perforación.

Específicamente, hay algunas cosas que se pueden lograr generalmente con la atención cuidadosa e inteligente del programa de lodo, suponiendo que las herramientas de perforación también se manejan de tal manera, que los objetivos del programa de lodo no se nulifiquen.

1. Deberá ser posible correr y retirar el vástago de perforación y la barrena sin obstáculo y correr herramientas de registros, probadores de formación y tubería de ademe hasta el fondo siempre que sea necesario.

2. Cuando se presenta un trabajo de pesca, deberá ser posible llevarla al cabo con éxito.

3. La prevención de reventones es, por supuesto, un objetivo básico.

4. Cuando un pozo puede terminarse limpia y en forma rápida, especialmente en una zona productiva de baja presión, se logra otro objetivo.

5. El lodo no debe impedir la colección de la información geológica necesaria como los recortes, núcleos y muestras de fluidos de la formación, y la terminación e interpretación con buenos resultados de las operaciones de distintos registros eléctricos.

ADITIVOS PARA LODOS DE PERFORACION

El control de los fluidos de perforación, siempre presenta dos problemas:

1. Determinación de lo que se necesita en cuestión de propiedades (peso, viscosidad, fuerza de gelatinosidad, filtración, etc.), para que el lodo de perforación maneje satisfactoriamente la operación de perforación.

2. La selección del tipo de lodo y los materiales y productos químicos que darán por resultado las propiedades del lodo deseadas.

Los lodos de perforación, pueden prepararse para ajustarse a cualquier conjunto razonable de condiciones de propiedades físicas y para resolver la mayoría de los problemas de perforación, como la presión anormal, la pérdida de circulación, derrumbe de esquistos, etc. La selección del aditivo apropiado para ciertas condiciones es algunas veces embrollado, sin embargo, debido a la gran cantidad de abastecedores de lodos y a la gran variedad de marcas comerciales registradas. Para simplificar este problema, es conveniente pensar en los aditivos de lodos de acuerdo con sus aplicaciones o requerimientos de comportamiento específico.

1. Materiales de barita para aumentar peso cuando se preparan lodos que pesen más de 11 lb/gal.

2. Bentonita y arcillas de primera para viscosidad, suspensión y propiedades formadoras de pared.

3. Agentes adelgazadores o dispersores para control de viscosidad y fuerza de gelatinosidad y secundariamente para control de pérdida de agua y como emulsificantes.

4. Agentes de control de filtración para reducir la pérdida de agua a pesar de la contaminación que exista.

5. Materiales para circulación perdida, para evitar la pérdida de circulación o restablecerla.

6. Productos especiales y reactivos químicos para control de características específicas del lodo como emulsificación, lubricación, espuma, fermentación, inhibición, etc.

Una lista completa de productos bajo estas categorías llega a varios cientos de partidas. La mayoría de estos productos se pueden obtener con todos los abastecedores principales de lodos.

PLAN DE TRATAMIENTO DE LODOS DE PERFORACION

El funcionamiento de un lodo de perforación, está directamente relacionado con la densidad, viscosidad, fuerza de gelatinosidad y características de filtración, y éstas se derivan de la fracción gelatinosa del lodo. El tratamiento raras veces se puede considerar por separado a una de estas propiedades, generalmente afecta a las tres. Estos tratamientos requieren ciertas operaciones a las que se refiere uno en terminología, tal como: hacer lodo, apesantar, adelgazar, aguar y emulsionar.

1. Hacer Lodo.— Se agrega bentonita a los lodos de agua dulce, que generalmente tienen menos de 3,000 ppm. de cloruros y 1,000 ppm. de calcio para incrementar

su viscosidad y su fuerza de gelatinosidad y bajar la pérdida de agua. Ligeramente las arcillas de primera se usan en presencia de más contaminación; digamos hasta cerca de 6,000 ppm. de cloruros. Las arcillas de sal se usan en lodos salados; darán viscosidad, pero no mejorarán la filtración. La carboximetilcelulosa sódica (CMC), mejorará la filtración con contaminaciones hasta cerca de 20,000 ppm. de cloruros. El almidón es efectivo con cualquier concentración de sal. CMC no se fermenta. El almidón no se fermentará en lodos de alto pH (arriba de 11.5), o en lodos muy salados (arriba de 150,000 ppm. de cloruro). Los conservadores, como el paraformaldehido, fenol, etc., son necesarios para evitar la fermentación del almidón en otros lodos.

2. Apesantar.— Agregar material para aumentar peso que incrementa la densidad; esto controlará las presiones de fluidos de la formación y en algunos casos, proporciona mejor soporte a las paredes del agujero y disminuye las dificultades con los esquistos.

3. Adelgazar.— La adición correcta de adelgazadores químicos, como los polifosfatos o el quebracho cáustico, dispersarán, deflocularán y mejorarán la fracción de arcilla de un lodo no contaminado para adelgazarlo y bajar la pérdida de agua.

4. Aguar.— Corregir la relación de agua a sólidos con la adición de agua. Cuando un lodo tratado químicamente es demasiado grueso o espeso, puede ser porque los sólidos se han acumulado mientras se perfora.

5. Emulsionar.— Se puede emulsionar el aceite en un lodo de agua y arcilla y con frecuencia le da propiedades mejoradas de lubricación, menor pérdida de agua y disminuye el embotamiento de las barrenas, dando por consiguiente menores presiones de bombeo y velocidades de perforación más rápidas en esquistos.

CONTROL DEL PESO DEL LODO

Una de las principales funciones del lodo de perforación, es confinar todos los fluidos de la formación —aceite, gas o agua— en sus lugares nativos o capas. Cualquier flujo de fluidos de la formación dentro del pozo, se debe prevenir o si empieza, controlarse con el lodo de perforación. Los factores importantes que tienen relación con esta función, son:

1. El peso o densidad del lodo de perforación.

2. La fuerza de gelatinosidad del lodo y la cantidad de reducción de presión causada por el retiro de la tubería de perforación.

3. Las prácticas de la cuadrilla de perforación para llenar el agujero, mientras se saca la tubería de perforación.

4. Preventores de reventones correctamente seleccionados, bien instalados y adecuadamente manejados.

Un lodo puede ser innecesariamente pesado y el peso adicional puede causar la pérdida de circulación a la formación; el balance entre la circulación completa y la pérdida con frecuencia es muy pequeño. Los factores que intervienen en ésto, son:

1. El control del peso entre los estrechos límites —con frecuencia sólo un punto o dos— de peso suficiente para confinar los fluidos de la formación, pero no lo bastante grande para romper la formación.

2. El control de las prácticas de perforación y del equipo, como el manejo de la tubería de perforación, de manera que no se produzcan variaciones grandes de presión que pueden romper la formación al meter aprisa la tubería o por movimiento alternativo de la tubería mientras estén trabajando las bombas. En algunas perforaciones, es importante que se arranquen las bombas gradualmente, porque el arranque repentino puede causar una variación en la presión que fracture la formación. El uso de lodos que eviten o disminuyan el que se atore la formación en la barrena, lastrabarrenas o uniones de tubería, puede ser importante; estas bolas de lodo y los recortes pueden actuar como empacadores y partir la formación. El uso de lastrabarrenas, protectores de tubería de ademe y uniones de tubería con espacios libres apropiados y algunas veces hasta uniones de tubería de perforación al ras, se pueden necesitar para disminuir la presión del fondo del agujero. Algunas veces las bombas deben operarse más despacio, a menor presión para asegurar una presión de fondo del agujero que permita la circulación.

Debido a su peso, una columna de lodo ejerce presión (o altura hidrostática), no solamente en el fondo del agujero, sino contra las paredes del pozo en todos los puntos y en todas direcciones. La altura hidrostática de cualquier columna de lodo a cualquier profundidad dada, dependerá enteramente de la densidad del lodo. Por ejemplo, la altura hidrostática del agua dulce es 0.433 lb/pulg^2 por pie de profundidad. Así, la altura en el fondo del agujero lleno de agua dulce a una profundidad de 5,000 pies, sería de 5,000 x 0.433, ó 2,165 lb/pulg^2. Naturalmente, esta presión o altura será a medida que se incrementa la densidad del fluido que hay en el agujero.

La Tabla I puede usarse para calcular la altura hidrostática de fluido de cualquier densidad para agujeros de cualquier profundidad. Se puede notar que la densidad del lodo se puede expresar en dos unidades: 1).— en libras por pie^3, que es la práctica de la costa occidental y 2).— en libras por galón. El gradiente hidrostático para un lodo de 10 lb/gal. de densidad es de 520 lb/pulg^2 por 1,000 pies. Suponiendo que el agujero tiene 5,000 pies de profundidad, entonces 520 x 5 = 2,600 lb/pulg^2, que es la altura hidrostática en el fondo del agujero. Esta también es la altura o presión hidrostática contra las paredes del pozo a 5,000 pies, cualquiera que sea la profundidad total del agujero.

FACTORES DE CONVERSION

Presión hidrostática, lb/pulg^2 = Peso del lodo (lb/gal.) x 0.052 x profundidad.

Presión hidrostática, lb/pulg^2 = Peso del lodo (lb/pie^3) x 0.00695 x profundidad.

Presión promedio del fluido de la formación, lb/pulg^2 (gradiente de agua dulce) = 0.433 x profundidad.

Presión promedio del fluido de la formación, lb/pulg^2 (gradiente de agua salada) = 0.465 x profundidad.

Peso del lodo en lb/gal. x 7.4805 = Peso del lodo en lb/pie^3.

Peso del lodo en lb/pie^3 x 0.13337 = Peso del lodo en lb/gal.

PRESION DE FORMACION NORMAL Y SOBREPESO

El peso específico del agua dulce es 1.0 y ejerce una presión de 0.433 lb/pulg^2 por pie de profundidad. Esto se considera el gradiente "normal" de presión de la formación en algunas áreas. En otras áreas, la costa del Golfo por ejemplo, se usa 0.465 lb/pulg^2 y esa es la altura hidrostática del agua salada por pie de profundidad. Así, la presión "normal" de la formación a una profundidad de 7,000 pies sería de 7,000 x 0.433 (ó 0.465), que serían 3,031 (ó 3,275) lb/pulg^2.

Se entiende muy bien que el sobrepeso de la columna de lodo arriba de la presión de fluido de la formación incrementa con la profundidad y las formaciones más profundas se penetran con mayor sobrepeso que las arenas menos profundas. Lo siguiente ofrece una relación en la costa del Golfo de Texas y Louisiana entre presiones normales de fluido de la formación y presión de la columna de lodo. Un lodo de 9.0 lb/gal. casi balanceará la presión normal de formación con un gradiente de 0.465 lb/pulg^2/pie y el lodo de 10.0 lb/gal. tiene un gradiente de 0.52 lb/pulg^2/pie; así, un sobrepeso de 0.055 lb/pulg^2 se gana con cada pie de profundidad adicional. Esto significa que el uso de un lodo de 10.0 lb/gal. en una área de presión normal de la costa del Golfo da 82.5 lb/pulg^2 de sobrepeso a 1,500 pies; 138 lb/pulg^2 de sobrepeso a 2,500 pies; 193 lb/pulg^2 de sobrepeso a 3,500 pies y 550 lb/pulg^2 de sobrepeso a 10,000 pies. También se puede ver que un lodo de 9.4 lb/gal. da solamente 60 lb/pulg^2 de sobrepeso en una arena de presión normal a 2,500 pies.

CONTROL DE LODOS APESANTADOS

Cualquiera que sea el peso requerido, el peso del lodo, junto con el nivel de la presa y el contenido de sal, se deberán revisar a intervalos regulares por varias razones:

1. Para mantener un peso estable y suficiente para evitar cualquier flujo hacia adentro del agujero de la formación que se esté perforando y para mantener un soporte firme de la formación expuesta en el agujero abierto.

2. Para detectar cualquier afluencia de fluido de la formación. Una caída repentina del peso del lodo, una elevación del nivel de la presa o un aumento en el contenido de sal puede indicar un influjo de éstos. Los indicios pequeños de gas (gas del viaje) o un contenido de sal incrementado después de un viaje indican acción de achique.

3. La revisión periódica prevendrá que el peso del lodo suba al punto en que el lodo se pierda en la formación.

Aunque se han usado varios minerales como material para apesantar el lodo, la barita (sulfato de bario, $BaSO_4$) actualmente es el material normal aceptado. Se puede obtener en el comercio con pesos específicos de 4.20 y 4.35, lo que significa que esas veces es más pesada que un volumen igual de agua. No se hidrata, ni se hincha al humedecerse y cuando se agrega al lodo se vuelve una parte de la fracción inerte del lodo. Los minerales comunes de la tierra —arcillas y esquistos, arenas y calizas— tiene pesos específicos de cerca de 2.5.

Del estudio anterior de "rendimiento" de las arcillas, es evidente que los lodos de

arcilla y esquisto, raras veces se pueden hacer con un peso muy arriba de 10 lb/gal. Los lodos de alto pH de quebracho cáustico o de cal, pueden tener pesos naturales hasta de 11.0 lb/gal. en un territorio que tenga esquistos formadores de lodo como la costa del Golfo; o hasta 13 lb/gal. en las formaciones secas y duras a profundidad en el este de Texas. En general, la práctica presente en todo el mundo es usar un tipo de lodo inhibido cuando se requiere un lodo de alto peso (arriba de 11 lb/gal.). La razón para ésto y el mantenimiento de estos lodos, se estudiará en una sección posterior.

Solamente la barita constituye la mitad o los dos tercios de la factura de lodo de un operador con operaciones distribuidas en la costa del Golfo; mientras que en el interior de Estados Unidos llega a ser sólo un 5% del total. De ésto, queda evidenciado que los problemas de perforación de alta presión no se presentan en los pozos que se perforan en el interior.

La Tabla III proporciona una manera conveniente para encontrar el número de sacos de barita requerida para incrementar el peso de un lodo de perforación.

Con lodos de bajos sólidos, 9.0 a 9.6 lb/gal., se pueden usar algunas arcillas para aumentar el peso unos cuantos puntos. Más adelante, se dan fórmulas para determinar la cantidad de arcilla para un incremento de peso deseado. Sin embargo, en general el problema con lodos de poco peso es mantener el peso bajo y ésto se logra con grandes y constantes adiciones de agua.

El problema de acumulación de arena incrementando el peso a poca profundidad y que causa el deterioro de la formación es importante. Generalmente, el peso se conserva bajo agregando agua. Después de que se perfora el cemento de la tubería de ademe superficial, el contenido de arena se conserva abajo con agua y con adelgazadores químicos o con el empleo de desarenadores mecánicos.

Donde se necesita material para apesantar, es la partida más grande del costo del programa de lodo y su uso apropiado requiere cuidado y atención.

1. Cuando se sube o baja el peso del lodo, el material para apesantar y/o el agua, se deberán mezclar correctamente con el lodo y se deben agregar lenta y uniformemente para que no haya partes ligeras y pesadas en el sistema. El tiempo para un viaje redondo o ciclo completo del lodo a través del sistema, es importante aquí. Frecuentemente, se agrega barita o productos químicos a una velocidad que requiere uno o dos viajes redondos del lodo para un tratamiento o adición completos.

2. Los lodos apesantados generalmente se tratan químicamente para un adelgazamiento óptimo. Cuando ya no trabajan los productos químicos, sin embargo, se requiere algún medio para reducir el contenido de sólidos para dar una viscosidad trabajable. Generalmente, se puede agregar un poco de agua constantemente abajo de la criba de esquistos para reponer el agua perdida en la formación y por evaporación y para regular el contenido de sólidos (vea la Tabla IV). Cuando los pesos del lodo exceden de 12 a 14 lb/gal., frecuentemente es económico usar un separador mecánico para separar los sólidos perforados del lodo y regresar la barita al sistema.

3. La barita aumenta el volumen del sistema al que se le agrega en una cantidad de cerca de 7 barriles por cada 100 sacos. Antes de que se agregue nada de barita, se

deberá considerar este incremento de volumen y cualquier exceso de lodo se bombeará a la presa de reserva.

4. Algunas veces la emulsión de gas requerirá la adición de material para apesantar o algún otro acondicionamiento de lodo. Cuando el sobrepeso que se tenga con el lodo sea pequeño, las propiedades de flujo del lodo deben mantenerse con agua y productos químicos para permitir el escape del gas del viaje u otras intrusiones menores. Un desgasificador mecánico ayudará mucho para remover el gas del lodo. Un rocío fino y fuerte de agua en la superficie del lodo que se está mezclando en las presas, ayudará mucho a que escape el gas. Si se encuentra un flujo real de gas, deberá contrarrestarse de inmediato con barita.

CONTROL DE VISCOSIDAD Y FUERZA DE GELATINOSIDAD

La viscosidad aplicada al lodo de perforación, es la resistencia que ofrece el lodo al flujo o para bombearse. Estamos interesados principalmente, en la viscosidad como una característica que se mide con el embudo de Marsh. En segundo lugar, estamos interesados en la viscosidad que se mide con un viscosímetro rotativo. No hay manera de convertir las mediciones del viscosímetro giratorio a viscosidad de embudo de Marsh o viceversa. Sólo podemos decir en general, que cuando la viscosidad es alta con el embudo, también será alta con el viscosímetro giratorio.

Las mediciones actuales de las propiedades del lodo de perforación, se hacen con viscosímetros giratorios de "una velocidad" o de "varias velocidades". El viscosímetro de varias velocidades se está aceptando ampliamente porque separa la viscosidad en dos componentes, viscosidad plástica y punto de escurrimiento. Aplicando los conceptos de la reología al lodo de perforación, la viscosidad plástica depende principalmente de los sólidos del sistema y de la viscosidad de la fase líquida. El punto de escurrimiento, por otra parte, lo causan principalmente las fuerzas de atracción entre las partículas de la arcilla, y en menor grado, por la fricción entre las partículas. Un cambio en la viscosidad plástica de un lodo de perforación, causará pequeños cambios en el punto de escurrimiento. El punto de escurrimiento se puede alterar con poco o ningún cambio de viscosidad plástica. Entonces se puede esperar que el agua disminuya la viscosidad plástica, mientras que la adición de un adelgazador químico apropiado disminuirá el punto de escurrimiento. Por lo tanto, la viscosidad plástica y el punto de escurrimiento como propiedades absolutas de flujo, reflejarán el comportamiento coloidal y activo superficial de los sólidos que existan en el lodo de perforación. La medición de estas propiedades, deberán encontrar aplicación para perfeccionar un mejor entendimiento de ese comportamiento y para el tratamiento de los sistemas de lodo.

Los lodos de sólidos bajos del interior de Estados Unidos, se controlan generalmente, sólo con mediciones del embudo de viscosidad. Pero los lodos caros, altamente tratados y de sólidos altos de cualquier área, deben tener un control reforzado por la determinación de la viscosidad, punto de escurrimiento y la fuerza de gelatinosidad medidos con un viscosímetro giratorio. En general, las fuerzas de gelatinosidad altas, son inconvenientes y algunas veces hasta peligrosas. Aunque la cuadrilla de perforación pueda no tener un viscosímetro giratorio disponible, la gente se da cuenta de la fuerza de gelatinosidad del lodo —ya sea baja, mediana o alta— por la forma en que fluye el lodo y se endurece en las fosas y presas.

Puede decirse que la viscosidad, punto de escurrimiento y fuerza de gelatinosidad, deberán ser lo suficientemente bajos para:

TABLA III

AUMENTO DE PESO DEL LODO

PESO FINAL LB/GAL.	SACOS DE BARITA POR LB/GAL. DE INCREMENTO POR 100 BARRILES DE LODO
9.5	57.2
10.0	58.3
10.5	59.5
11.0	60.7
11.5	61.9
12.0	63.2
12.5	64.6
13.0	65.9
13.5	67.4
14.0	69.0
14.5	70.6
15.0	72.3
15.5	74.1
16.0	76.0
16.5	77.9
17.0	80.0
17.5	82.2
18.0	84.5

100 sacos de barita aumentan el volumen del lodo 6.7 barriles.

TABLA IV

EFECTO DEL AGUA EN EL PESO DEL LODO

AGUA AGREGADA BLS/100 BLS. DE LODO	PESO DEL LODO RESULTANTE EN LB/GAL.							
0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0
5	9.9	10.9	11.8	12.8	13.7	14.7	15.6	16.6
10	9.8	10.8	11.7	12.6	13.5	14.4	15.3	16.2
15	9.8	10.6	11.5	12.4	13.3	14.1	15.0	15.9
20	9.7	10.6	11.4	12.2	13.1	13.7	14.7	15.6
25	9.7	10.5	11.3	12.1	12.9	13.7	14.5	15.3
30	9.6	10.4	11.1	11.9	12.7	13.5	14.2	15.0
35	9.6	10.3	11.0	11.8	12.5	13.3	14.0	14.7
40	9.5	10.2	10.9	11.7	12.4	13.1	13.8	14.5
45	9.5	10.2	10.9	11.6	12.2	12.9	13.6	14.3
50	9.4	10.1	10.8	11.4	12.1	12.8	13.4	14.1
60	9.4	10.0	10.6	11.2	11.9	12.5	13.1	13.7
70	9.3	9.9	10.5	11.1	11.7	12.2	12.8	13.4
80	9.3	9.8	10.4	10.9	11.5	12.0	12.6	13.1
90	9.2	9.7	10.3	10.8	11.3	11.8	12.4	12.9
100	9.2	9.7	10.2	10.7	11.2	11.7	12.2	12.7

1. Permitir que la arena y los recortes de esquisto se asienten y que el gas atrapado escape en las fosas y presas.

2. Permitir una iniciación inmediata de la circulación al arrancar la bomba y permitir buen funcionamiento de la bomba y una velocidad adecuada de circulación de lodo.

3. Reducir al mínimo el efecto de achique cuando se saca la tubería del agujero.

También es necesario evitar que la viscosidad del lodo se vuelva muy baja. El lodo deberá tener por lo menos las siguientes propiedades de viscosidad mínimas:

1. El lodo deberá tener suficiente viscosidad y velocidad para levantar los recortes del fondo del agujero a la superficie.

2. Deberá tener suficiente cuerpo para conservar el material para apesantar en suspensión. Asimismo, cuando se para la bomba, los recortes no deben asentarse en el agujero.

Se dan tablas y fórmulas en el Apéndice A, para la determinación rápida de las velocidades en el espacio anular.

No hay una viscosidad ideal para todas las condiciones de perforación. Sin embargo, con objeto de tener una cifra a la que se tienda bajo las llamadas condiciones normales, se sugieren las siguientes características de viscosidad como típicas de buenos lodos de perforación:

1. La viscosidad del embudo de lodos de bajos sólidos, puede variar de 30 a 40 segundos.

2. Con lodos de altos sólidos o cuando se está agregando material para apesantar, los límites pueden ser entre 40 y 50 segundos.

3. La contaminación por la perforación de anhidrita, yeso o formaciones "yesosas", cemento, sal de roca o por el flujo de agua salada; se deberán agregar adelgazadores o agentes controladores de la filtración para remover o nulificar el contaminante.

CONTROL DE FILTRACION O PERDIDA DE AGUA

Se sabe que el agua se está perdiendo continuamente del lodo de perforación a las formaciones permeables durante las operaciones de perforación. Una formación permeable, como una arena, opera con un cedazo para retener los sólidos en el lodo de perforación, mientras que permite que el agua pase a los espacios porosos. Estos sólidos se depositan en la cara de la arena en forma de una capa o torta de filtro. No se forma torta en los esquistos impermeables, pero su superficie se "humedece" con el agua del lodo de perforación. La humidificación no se entiende muy bien, pero tiene lugar y es la causa de hundimiento y derrumbes.

Hay varios efectos indeseables en el pozo si la pérdida de agua se hace excesiva:

1. La torta de filtro puede hacerse lo bastante gruesa para formar lugares estrechos en el agujero y aún pegar la tubería mientras se saca.

2. Los lodos de alta pérdida de agua, tienden a causar derrumbes y hundimientos de los esquistos. La cantidad de humedecimiento de las superficies de los esquistos en el agujero y a lo largo de las uniones y fracturas, aparentemente la gobierna la pérdida de agua del lodo.

3. La pérdida de agua excesiva en las formaciones porosas, causa dificultades para la interpretación de los registros eléctricos.

4. El agua que entra a las formaciones productivas, puede causar que sea difícil la terminación.

La pérdida de agua, generalmente, se baja con adelgazadores químicos y/o adiciones de uno o más de los siguientes productos: bentonita, almidón pregelatinizado, CMC, poliacrilatos, gomas y aceite emulsionado. Los contaminantes comunes como la sal, cemento y la anhidrita, causan la floculación de las arcillas hasta el grado de que ya no son efectivas para el control de la filtración. Entonces, se hace necesario agregar uno o más de los otros agentes para control de la filtración.

CONTROL DEL pH

La mayoría de los lodos de perforación son alcalinos y tienen un pH que varía entre 8.0 y 13.0. La Tabla V, enlista algunos de los lodos comúnmente usados con los límites de pH entre los que se controlan. En esta lista los dispersantes orgánicos como el quebracho, la lignita y los lignosulfonatos se agrupan juntos. La selección del dispersante hasta cierto punto se rige por los límites del pH y el tipo de lodo que se esté usando.

El pH del agua bidestilada y de la barita, es aproximadamente de 7.0 (neutro). Las bentonitas y la mayoría de las arcillas buenas para la perforación, tienen un pH de 8.0 ó ligeramente más alto. La Tabla VI enlista los nombres químicos de los agentes comunes de tratamiento y el pH aproximado de las soluciones usuales para tratamiento de 25 a 50 lb. disueltas o suspendidas en 50 galones de agua.

Es útil en el tratamiento de lodos desechar la multiplicidad de nombres de marca comerciales y considerar el producto químico más apropiado para un trabajo de tratamiento en particular. Los productos químicos que se han encontrado más efectivos como reductores de viscosidad y gelatinosidad consisten de un grupo relativamente limitado de compuestos. Son los taninos de las plantas, las lignitas, polifosfatos y lignosulfonatos. Desde un punto de vista práctico, cada uno de estos materiales tiene su efectividad óptima bajo ciertas condiciones y dentro de límites definidos de pH. Los polifosfatos se vuelven ineficaces a altas temperaturas y en raras ocasiones se usan en lodos con un pH de más de 10. Los taninos de las plantas son efectivos en lodos con un pH arriba de 8.0; el quebracho es el ejemplo más notable de un tanino de plantas. Las lignitas que tienen sus límites de pH entre 8.5 y 9.5, son especialmente convenientes para lodos de bajo pH emulsionados y también se usan frecuentemente en lodos tratados con cal. El lignosulfonato de calcio se usó primero únicamente en lodos de cal, pero ahora se usan los lignosulfonatos modificados en casi todos los tipos de lodos. Los lignosulfonatos de cromo son dispersantes efectivos y coloides protectores en los lodos que contienen sales inorgánicas solubles y han hecho práctico el uso extendido de lodos inhibidos (con y sin calcio).

TABLA V

EL pH DE LODOS DE PERFORACION COMUNES

TIPO DE LODO	pH
Bajos sólidos, salado	6.5 plus
Fosfato	7.5—9.5
Tratado con dispersante orgánico	7.5—12.0
Yeso	8.0—10.0
Cloruro de Calcio	10.0 plus
Tratado con cal	11.5 plus

TABLA VI

EL pH DE LOS AGENTES COMUNES DE TRATAMIENTO PARA LODOS

NOMBRE QUIMICO	pH
Carbonato de bario, $BaCO_3$	10.0
Bicarbonato de sodio, $NaHCO_3$, bicarbonato de sosa.	8.3
Sulfato de calcio, $CaSO_4 \cdot 1/2\ H_2O$, emplasto de yeso.	6.0
Lignosulfonato de cromo.	3.4–4.0
Carbonato de sodio, $NaCO_3$, sosa calcinada.	11.0
Hidróxido de calcio, $Ca(OH)_2$, cal apagada.	12.0
Hidróxido de sodio, NaOH, sosa cáustica.	13.0
Lignosulfonato de calcio.	7.0
Lignita.	5.0
Quebracho.	3.8
Pirofosfato ácido de sodio, $Na_2H_2P_2O_7$.	4.8
Hexametafosfato de sodio, $(NaPO_3)_6$.	6.0
Tetrafosfato de sodio, $Na_6P_4O_{13}$.	7.5
Pirofosfato tetrasódico, $Na_4P_2O_7$.	9.9

CONTAMINACION CON CEMENTO

Siempre se debe de antemano, cuando se va a perforar cemento y a menos que el lodo haya sido tratado previamente o sea del tipo tratado con calcio, que el retorno del lodo contaminado tendrá una alta viscosidad, fuerza de gelatinosidad, pérdida de agua y torta gruesa. El cemento actúa como un agente floculante de las arcillas, aumenta la fuerza de gelatinosidad y daña las propiedades de filtración. El grado de la contaminación depende de la cantidad y condición del cemento. Si el cemento es duro y se perfora en recortes que se eliminan en la criba de esquistos, resultará menor contaminación que cuando se perfora un tapón suave y tierno. Si el cemento se va a tratar con productos químicos, se obtienen mejores resultados tratándolo previamente para la contaminación.

Se debe prestar atención a lo siguiente, antes de iniciar el tratamiento:

1. Cuando el cemento que se va a perforar es de poca cantidad y hay un exceso de lodo en el sistema, el contaminante de cemento en el retorno, puede desecharse cuando llega a la superficie.

2. Algunas veces es posible bombear el lodo en el sistema a la reserva, perforar el cemento con agua y luego regresar el lodo sin contaminar.

3. Algunas veces el lodo puede descartarse después de perforar el cemento y reponerse, ya sea con lodo de reserva o con lodo nuevo. Con cada uno de estos procedimientos, puede haber alguna contaminación residual que requiera un tratamiento menor.

4. Después de que se ha colocado la tubería de ademe y no hay cemento que perforar, puede haber suficiente contaminación residual en la tubería de ademe para causar considerable desperdicio de tiempo del equipo, mientras se perfora y se colocan empacadores. El tratamiento para eliminar la contaminación, puede ser provechoso en esos casos.

5. Cuando hay un tapón largo que perforar o cuando se van a colocar varios tapones y se van a perforar, el mejor procedimiento puede ser convertir a un lodo de cal durante el tiempo del primer cemento, porque el lodo de cal no se afecta con la contaminación del cemento.

6. Con lodos ordinarios y cuando se va a hacer agujero adicional, abajo del tubo de ademe o cuando se va a perforar un tapón de cemento en agujero abierto, el manejo más económico de la contaminación de cemento puede ser tratarla con productos químicos. El bicarbonato de sodio, pirofosfato ácido de sodio y quebracho, se usan comúnmente y la selección del que sea apropiado depende de la clase de lodo que se use y de la cantidad de cemento perforado.

El tratamiento previo de un lodo con cualquiera de estos tres productos químicos, se ejecuta en la misma forma general. La adición del producto químico en la presa de succión, se inicia unos minutos antes de perforar el tapón de cemento. Al llegar el lodo tratado a la barrena, se empieza la perforación del tapón y se continúa la adición del reactivo químico hasta que se haya perforado todo el tapón. La cantidad normal de reactivo químico requerido variará de 25 a 50 lb/pie^3 del cemento que se va a perforar. Se pueden requerir

cantidades más grandes, hasta 100 lb/pie^3 de cemento, si el tapón de cemento es muy suave.

El bicarbonato de sodio es el agente más efectivo para el tratamiento de la contaminación de cemento en lodos que han tenido sólo un tratamiento menor. Con tratamiento previo, la cantidad de cemento que se va a perforar se deberá calcular en pies cúbicos, correr la tubería de perforación hasta cerca de la parte superior del tapón y tratar el lodo con 25 a 50 lb. de bicarbonato de sodio por pie^3 de cemento que haya que perforar. Si el cemento ha fraguado y está duro, esta cantidad por lo general dará suficiente tratamiento, pero si el cemento está suave, se puede requerir bicarbonato adicional para dar un tratamiento total con hasta 10 lb/pie^3 de cemento. Una cuidadosa revisión del retorno de lodo mientras se esté perforando el cemento, será por supuesto, necesario y generalmente, el pH del lodo después de un tratamiento con buenos resultados deberá estar abajo de 9.0.

Si la cantidad de bicarbonato usado da por resultado demasiado adelgazamiento, se deberá agregar bentonita en pequeñas cantidades. Frecuentemente, después de perforar cemento, se desea un lodo mejorado y por esta razón, puede ser necesaria la adición de alguna bentonita. También, se debe tener cuidado para no sobretratar con bicarbonato; ésto da por resultado altas fuerzas de gelatinosidad.

CONTAMINACION CON ANHIDRITA Y YESO

La anhidrita y el yeso, ambas formas de sulfato de calcio, pueden ocurrir como secciones masivas o como venillas delgadas o como vetas intercaladas en el esquisto. La contaminación del lodo con sulfato de calcio da el mismo efecto, ya sea que la contaminación se origine con anhidrita o con yeso. Estos efectos generalmente son alta viscosidad, fuerza de gelatinosidad y pérdida de agua. La severidad de la contaminación depende del espesor y la dureza de las secciones de sulfato de calcio. Por lo tanto, la selección de los reactivos químicos para el tratamiento o el tipo de lodo variará de acuerdo con ello.

Abajo se muestran varios tipos de lodo que pueden usarse para perforar yeso o anhidrita:

1. Sosa cáustica, quebracho, sosa calcinada. El uso de sosa calcinada para tratar por el sulfato de calcio, generalmente, está limitado al caso de perforar vetas delgadas de yeso o cuando el agua de repuesto tiene sulfato de calcio.

2. Sosa cáustica, quebracho, carbonato de bario. Cuando se van a perforar secciones masivas de anhidrita, se puede usar el carbonato de bario para remover completamente el sulfato de calcio.

3. Sosa cáustica, quebracho, CMC. En este lodo, el sulfato de calcio no se trata como en (1) y (2) anteriores. La sosa cáustica y el quebracho, se usan porque son necesarios para controlar la viscosidad (pH cerca de 11) y la CMC, se usa como necesaria para obtener la pérdida de agua deseada.

4. Alto pH (12.0) cal—almidón.

5. Bajo pH (8 a 10) lignosulfonato de cromo (con o sin agregar calcio).

CONTAMINACION CON SAL

La sal o cloruro de sodio (NaCl), que contamina un lodo, puede ser el resultado de perforar capas de sal, un domo salino o una arena con agua salada; algunas veces el agua salada del océano o de una bahía se usa para mezclar y como agua de repuesto. No hay un tratamiento para remover la sal de un lodo de perforación. El único procedimiento con las contaminaciones serias con sal, es usar arcillas resistentes a la sal y almidón para mantener las propiedades de cuerpo y filtración.

Es posible manejar lodos con contaminación de sal hasta 10,000 ppm. de cloruro como lodos de agua dulce, aunque la práctica actual es convertir a un lodo tratado con cal o a un lodo tratado con lignosulfonato de cromo, tan pronto como ocurren dificultades debidas a la sal para conservar las propiedades deseadas. La CMC, es un agente para control de filtración confiable en concentraciones de sal hasta de 20,000 ppm. de cloruro.

Flujo de agua salada.— La sal es un agente floculante muy poderoso y en cualquier pozo en el que la contaminación con sal pueda ser un problema, se harán pruebas frecuentes del lodo. El incremento de viscosidad, de fuerza de gelatinosidad, pérdida de agua y contenido de cloruros, son indicaciones de lodo contaminado con sal. Estos cambios en el lodo, pueden dar por resultado derrumbes o hundimientos de esquistos dentro del agujero que pueden pegar la tubería de perforación. Antes del uso de los lodos de almidón, era una ocurrencia común cuando se encontraba un flujo de agua salada o un domo de sal que se pegara el vástago de perforación. En la costa del Golfo, el peligro de que se pegue la tubería por los flujos de agua salada, es una de las principales razones de que se empleen lodos estables resistentes a la sal en todos los pozos de exploración.

Perforando sal de roca.— En gran parte del interior de Estados Unidos, la perforación de sal en capas es una ocurrencia común. La perforación de domos de sal en la costa del Golfo y en provincia interior, el domo de sal, es menos común, pero se requiere buen plan y control de lodos.

1. Tratamiento con arcillas de sal: cuando las formaciones se conservan bien, como en profundidades pequeñas en gran parte del continente medio y el oeste de Texas, las malas propiedades de filtración con frecuencia se pueden tolerar. El problema con un lodo salado entonces será a veces únicamente el de darle cuerpo o propiedades de viscosidad y gelatinosidad. Esto se logra mejor con la adición de arcillas de sal (atapulgita); con frecuencia, se usan adiciones menores de arcillas de primera o de alto rendimiento junto con la arcilla salada.

2. Tratamiento con almidón: cuando las condiciones de perforación más profunda requieran mejores propiedades del lodo, el lodo de arcilla salada se puede mejorar a cualquier grado requerido con la adición de almidón o reactivos químicos.

Cuando se perforan capas gruesas de sal o domos, la fase agua del lodo disolverá sal, agrandando el agujero hasta que se satura el lodo. Con frecuencia es buena práctica agregar sal común por la tolva para saturar el lodo en condiciones controladas para evitar la formación de cavidades por solución.

FLUIDOS DE PERFORACION QUE SE USAN AMPLIAMENTE

Los lodos se pueden clasificar por el contenido de arcilla, como por ejemplo, lodo

natural o lodo de bentonita; o por el tratamiento que reciben, lodos de fosfato o lodos de yeso; pero la distinción básica más clara es su fase fluida—base acuosa, base de aceite y fluidos de perforación gaseosos. La palabra "base" se ha aplicado con liberalidad en nuestra terminología y algunos términos como: "base de cal" o "base de sodio", tienen poco significado. La clasificación recomendada que se usa en esta lección, es:

I. Lodos con Base de Agua.

A. Lodos de agua dulce — Con poco o ningún tratamiento químico.

1. Lodo para iniciar.
2. Lodos naturales.

B. Lodos tratados químicamente — No se agregan compuestos de calcio.

1. Lodos de fosfato.
2. Lodos orgánicos tratados.

a. Lignita.
b. Quebracho y otros extractos.
c. Lignosulfonatos de cromo.

C. Lodos tratados con calcio.

1. Cal.
2. Cloruro de calcio.
3. Yeso.

D. Lodos de agua salada.

1. Lodos de agua de mar.
2. Lodos con agua saturada de sal.

E. Lodos de emulsión de aceite (aceite en agua).

F. Modificaciones especiales.

1. Lodos de emulsión de aceite de bajos sólidos.
2. Lodos de baja arcilla con sólidos para apesantarlos.
3. Lodos surfactantes.

II. Lodos a Base de Aceite.

A. Lodos con base de aceite.
B. Lodos de emulsión invertida (agua en aceite).

III. Fluidos Gaseosos para Perforación.

A. Aire o gas natural.
B. Lodos aereados.

Adelante se da una descripción general de cada lodo. Esta va acompañada de relación

de ventajas y razones para usarlos y los procedimientos para la preparación y el mantenimiento del lodo.

LODOS A BASE DE AGUA

LODO PARA INICIAR

El lodo requerido para iniciar la perforación de un pozo varía mucho en todo el país. Algunas localizaciones se inician a través de un tubo conductor ya cementado en el sótano y algunas localizaciones requieren que se perfore el largo del barretón (vástago cuadrado) y unos cuantos tramos de tubería de perforación, con objeto de cementar de uno a varios tramos de tubo conductor de ademe. En estos últimos pozos, la circulación frecuentemente se efectúa con una presa cavada en el suelo superficial. La perforación del cemento en el conductor, contamina el lodo para iniciar y la mayor parte del mismo se descartará.

Frecuentemente, las formaciones cercanas a la superficie son de tierra, arena y grava sueltas. El lodo deberá formar la pared en estas formaciones para evitar derrumbes y que se amplíe el agujero y deberá tener bastante cuerpo para sacar los recortes y la grava que se encuentre en esta sección de perforación rápida. La situación ideal existe cuando el agua de repuesto es suave y las formaciones cercanas a la superficie hacen lodo. Con otras condiciones, se mezcla bentonita o arcilla y algunas veces el agua de repuesto tiene que tratarse con sosa calcinada y cal. Algunas veces el lodo para iniciar se suministra más económicamente de otro pozo.

Se recordará de una sección anterior, que con agua buena para repuesto, 20 sacos de bentonita harán de 80 a 100 barriles de lodo; 20 sacos de arcilla de primera harán de 45 a 65 barriles de lodo y 20 sacos de una de las arcillas para perforación más baratas, harán de 10 a 20 barriles de lodo. Las velocidades en el espacio anular son bajas por el agujero grande con tubo conductor y muchos operadores usan bastante arcilla para hacer un lodo grueso que remueva más fácilmente las arenas y gravas superficiales. Normalmente, sólo se usan bentonita o arcillas de primera. Por lo general, el lodo de iniciar lo mezclará un miembro de la cuadrilla mientras se termina de aparejar el equipo. Se corre agua a la presa y se circula por la tolva en la que se mezcla cuidadosamente la arcilla a una velocidad de 2 a 15 minutos por saco. Si algo de arcilla se hace bola y flota en la superficie, se deben usar las pistolas para agitar la arcilla y probablemente la mezcla ha sido a una velocidad muy rápida. La mezcla de arcilla se deberá continuar hasta que se alcance una viscosidad de embudo de 30 a 35 segundos. La viscosidad aumentará al añejarse el lodo y recoger sólidos mientras se perfora.

Muchos operadores mezclan arcilla y agua y luego agregan cal. La cal espesa el lodo y se requiere menos arcilla para formar una viscosidad deseada. El lodo para iniciar generalmente, se descarta o se diluye con agua después de que se ha colocado el tubo superficial; por ello, la adición de cal no es tan objetable como con lodos que se usan en perforaciones más profundas donde se desean buenas propiedades de filtración.

El sobrestante de perforación y los ingenieros, deberán estudiar los requerimientos para el lodo para iniciar y determinar los procedimientos más económicos. Sin ese estudio, generalmente se desperdicia el dinero en el lodo para iniciar o en su manejo.

LODOS NATURALES

– Los lodos naturales se usan casi universalmente para perforación superficial y la perforación rápida abajo del tubo de superficie. Generalmente, requieren la adición de grandes cantidades de agua para mantener el peso y la viscosidad en los límites bajos deseados. En la costa del Golfo o en el este de Texas, estos lodos pueden ser muy buenos sin tratamiento, por ejemplo, peso —9.7 a 10.2 lb/gal., viscosidad —36 a 42 segundos y pérdida de agua abajo de 10.0 ml.

Generalmente este, lodo natural se mejora en sus propiedades con tratamiento químico a medida que aumenta la profundidad, ya sea por tratamiento intensivo a cierta profundidad o haciendo el tratamiento en un periodo de días. En cualquier caso, el lodo se cambia a uno de los tipos descritos abajo. Algunos pozos de la costa del Golfo se han perforado hasta más de 12,500 pies, con lo que era esencialmente un lodo natural con un ligero tratamiento de bentonita, cáustica y quebracho abajo de 5,500 pies.

En la mayor parte del interior del país, donde el agua de repuesto es dura y "yesosa", el lodo nativo delgado con frecuencia se trata con unos cuantos sacos de sosa calcinada antes de agregar bentonita o arcilla.

LODOS TRATADOS CON FOSFATO

Como su nombre lo indica, los lodos fosfatados son aquéllos en los que se usan uno o más de los fosfatos complejos como agente adelgazador. Este tipo de lodo se usa únicamente donde hay agua suave y donde se perforan formaciones que hacen lodo. La base de esos lodos es la arcilla nativa recogida en la perforación. Se puede ver, por lo tanto, que los lodos fosfatados tienen poca aplicación en el interior de Estados Unidos y Canadá. Algunas veces se perfora suficiente lutita bentonítica para suministrar toda la fracción gelatinosa de la formación, pero en muchos pozos, algo de bentonita junto con pequeñas cantidades de quebracho se agregan al lodo para enriquecer y mejorar esta fracción. Las adiciones de bentonita incrementan la viscosidad y la fuerza de gelatinosidad, mejoran las propiedades para hacer pared y bajan la pérdida de agua.

El lodo natural antes del tratamiento, con frecuencia tendrá una pérdida de agua de 20 a 60 ml.; pero donde se perforan esquistos que forman lodo con agua suave, el filtrado puede ser tan bajo como de 10.0 ml. Cuando se perfora material malo para formar paredes y se presenta algo de contaminación, es posible que se tengan 60 ml. o más. Cuando se alcanza la profundidad a la que se debe mejorar el lodo, el tratamiento inicial será de 2 a 5 sacos de bentonita por turno, agregados lentamente por la tolva con agitación vigorosa de las presas con la pistola mientras se agregan de 25 a 50 lb. por turno de quebracho del barril de producto químico. La bentonita bajará la filtración y mejorará las propiedades para hacer pared el lodo, pero subirá la viscosidad y la gelatinosidad y se deberá tener cuidado de no agregar un exceso.

La viscosidad de los lodos no contaminados o ligeramente contaminados, se pueden controlar con muy poco de uno de los fosfatos complejos. Vale la pena repetir que se requiere muy poco y el tratamiento excesivo puede dar por resultado hasta un incremento de viscosidad. La cantidad de fosfato requerido para una reducción máxima de viscosidad de una muestra dada de lodo muy raras veces, si acaso, excede 0.2 lb/barril. Esto significaría un tratamiento de unas 200 libras en un periodo de ocho horas, en un sistema de 1,000 barriles. Por lo general, de 25 a 50 lb. por turno es un tratamiento normal. Después del tratamiento

inicial, se deberá usar todavía menos, porque todo lo que se necesita es la cantidad requerida para tratar el lodo nuevo que se está haciendo en el agujero, más cualquier producto químico que se consuma por los contaminantes o se descomponga por la alta temperatura, más lo que se pierda en el filtrado a la formación.

El pH del lodo puede determinar la selección del producto químico que se ha de usar y el uso continuado del mismo fosfato puede cambiar las propiedades del lodo hasta tal punto, que requiera un cambio de tratamiento. Por ejemplo, si el pH del lodo natural está entre 8 y 9, el pirofosfato ácido de sodio (PFAS) con un pH de cerca de 4.8 puede usarse. Reducirá más la viscosidad que el tetrafosfato de sodio, con un pH de cerca de 7.5 o el pirofosfato tetrasódico (PFTS) con un pH de aproximadamente 9.9. Después de un tratamiento prolongado con pirofosfato ácido de sodio durante algunos días, puede volverse ineficaz. Un cambio a un fosfato de pH más alto, se podría hacer entonces. Sin embargo, la práctica general es agregar quebracho y cáustica en relaciones de 1:2 ó 1:4, junto con el PFAS o el tetrafosfato sódico y así mantener el pH del lodo entre 8 y 9.5.

LODOS CON TRATAMIENTO ORGANICO

Los límites usuales de este lodo son de 8.5 a 9.5, pero algunas veces se alcanza un límite superior de 11.5. Con frecuencia se agrega cáustica—quebracho en relación de 1:2 o cerca de 25 lb. de cáustica y 50 lb. de quebracho por barril de agua, agregándose esta solución a la velocidad requerida para mantener la viscosidad deseada. En algunos lodos, una mezcla de 1:1 es la que se usa. Muchos operadores usan éste como el tratamiento principal del lodo y lo llaman lodo de quebracho cáustico, pero algunas veces se agregan pequeñas cantidades de uno de los fosfatos para ayudar a reducir la viscosidad y la fuerza de gelatinosidad. El lodo se pone de color rojo claro y el filtrado tendrá un color rojo cereza a rojo fresa. El uso de algo de bentonita es común en estos lodos en áreas de lutitas y en áreas de rocas duras, la base de arcilla está compuesta casi únicamente por bentonita.

Hay muchas buenas razones para escoger este tipo de lodo. El tratamiento es muy flexible y, variando la relación de cáustica a quebracho, es posible tratar durante largos períodos y asegurar casi constantes las propiedades. Estos lodos son estables y resisten la contaminación. También tienen baja viscosidad, gelatinosidad y propiedades de filtración. Pero tienen una tendencia a dispersar los esquistos y aumentar el volumen del lodo y por consecuencia este tratamiento se prefiere generalmente, donde las formaciones no rinden mucho lodo.

Estos lodos son generalmente bajos en sólidos y peso, pero tratándolos con relativamente pequeñas cantidades de bentonita, es factible tener una pérdida de agua de 8 a 10 ml. con viscosidad que varíe de 31 a 45 segundos. El peso de esos lodos variará de 8.8 a 10.2 lb/gal. En el oeste de Texas y en Oklahoma, los pesos se mantienen consistentemente abajo de 9.7 lb/gal. con adiciones de bentonita y grandes cantidades de agua.

LODOS DE LIGNOSULFONATO DE CROMO

El acondicionamiento de lodos de perforación con lignosulfonato de cromo, sin un tratamiento auxiliar deliberado de electrolitos de tierra alcalina, empezó como una práctica regular en el campo en 1960. Los lodos de lignosulfonato de cromo, sin embargo, son resistentes a la contaminación normal con iones de calcio o cloruro de sodio.

Los lodos de lignosulfonato de cromo han demostrado que son útiles aún a 400ºF de temperatura en el fondo. Estos lodos están basados en las premisas de que la alcalinidad baja, preferentemente que no excede un pH de 9,5 y bajos iones de sodio proporciona un fluido a base de agua que tenga baja reactividad con las arcillas de la formación, y de que las concentraciones más altas de lignosulfonato de cromo por sí mismas, tienen un efecto inhibitivo sobre las arcillas de la formación.

El tratamiento con lignosulfonato de cromo, proporciona control de las propiedades de flujo y de filtración al lodo, así como estabilidad del hoyo del agujero. Los lignosulfonatos de cromo son emulsionantes excelentes del aceite diesel y son compatibles con la mayoría de los aditivos normales como la CMC, pero lo más típicamente de estos lodos, es que los aditivos suplementarios se mantienen al mínimo. La lignita o las lignitas de cromo, sin embargo, pueden usarse como agentes suplementarios de control de filtración.

LODOS TRATADOS CON CALCIO

Hace quince años que ocurrió el advenimiento de los lodos tratados con cal y revolucionó la industria de los lodos de perforación, haciendo posible la perforación de pozos profundos a través de formaciones molestas con un fluido de perforación muy apesantado, con baja fuerza de gelatinosidad, baja pérdida de agua y resistente a la contaminación. Con el desarrollo reciente de mejores defloculantes químicos, la utilidad de los lodos tratados con calcio se ha extendido mucho.

Los lodos que contienen cantidades apreciables de electrolitos, especialmente los cationes divalentes, como el calcio (Ca^{++}) y el magnesio (Mg^{++}), tienden a reprimir la hinchazón de las arcillas y esquistos con los que se pone en contacto el filtrado. Obviamente, esta propiedad es benéfica para combatir: (1) derrumbe de esquistos y ensanchamiento del agujero; (2) incremento excesivo de la viscosidad debido a la dispersión de los sólidos perforados en el lodo y (3) daños a las arenas productivas que tienen arcilla. Debido al mecanismo único de defloculación empleado en estos sistemas, los lodos tratados con calcio son también (4) altamente resistentes a la floculación por contaminantes. Por estas razones, así como por la facilidad y economía del mantenimiento en los lodos apesantados, los lodos tratados con calcio se usan mucho siempre que se requieren lodos con pesos en exceso de 12,0 lb/gal, o se espera que haya contaminantes.

El calcio requerido se puede obtener con la adición de material disponible en el mercado —como cal apagada, yeso para plastecer o cloruro de calcio— o puede derivarse de la perforación de una forma soluble de calcio, como la anhidrita, yeso o cemento. Muchos pozos fuera de la costa usan agua de mar en los lodos, la que sirve como una fuente excelente de calcio y magnesio.

CARACTERISTICAS DE LOS LODOS TRATADOS CON CALCIO

Una discusión breve del efecto del tratamiento con calcio en las propiedades del lodo, se presenta aquí para proporcionar una explicación básica para las características de lodos que contienen calcio y por lo tanto, una mejor comprensión de los procedimientos de tratamiento en el campo para el control de estos lodos.

a. Viscosidad: Como se describió en el diagrama del estado de la arcilla (Fig. 14), las partículas de arcilla y esquisto, que permanecen más o menos acomodados cerca

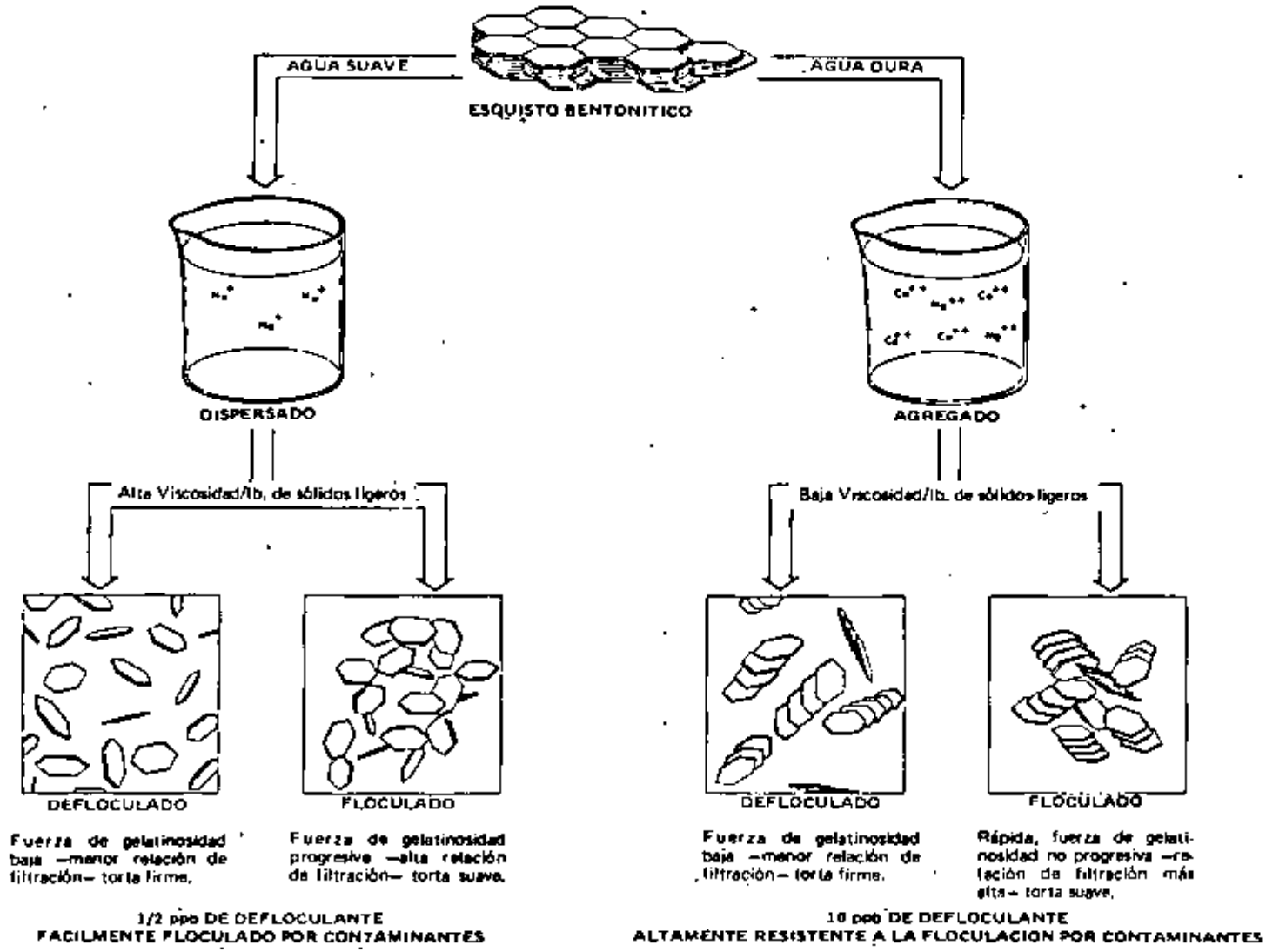


Fig. 14.— Diagrama del estado de la arcilla

unas de otras como agregados, ocupan menos espacio en el lodo de perforación que el que ocuparía el mismo número de partículas en un estado disperso, haciendo así posible el conservar viscosidad baja aún en lodos de altos sólidos muy apesantados. Aunque el diagrama está demasiado simplificado, ya que, de hecho, los diferentes estados se sobreponen en gran parte, ilustra claramente las diferencias en terminología entre agregados, dispersión y floculación—defloculación. La química actual de lodos se dirige hacia el mantenimiento de la defloculación en presencia de una cantidad suficiente de iones inhibidores para retener un alto grado de agregación.

b. Fuerza de Gelatinosidad: La defloculación en un sistema disperso en agua suave, resulta de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas de arcilla separadas y requiere muy poco defloculante químico. Cuando un contaminante como la anhidrita o el agua salada llega a encontrarse, sin embargo, estas fuerzas electrostáticas repulsivas se neutralizan y ocurre la floculación. En el agua dura de lodos tratados con calcio, se emplea un mecanismo diferente de defloculación que puede requerir de 5 a 10 veces la cantidad de defloculante. En este mecanismo, aparentemente se forma un colide protector alrededor de cada agregado de arcilla, evitando así físicamente la floculación. Este tipo de defloculación, es muy estable y lo afectan sólo ligeramente los contaminantes.

c. Filtración: Los lodos tratados con calcio exhiben inherentemente una relación de filtración más alta que los lodos de agua suave con el mismo contenido de sólidos, debido al hecho de que los agregados de arcilla más grandes no se empacan apretadamente como lo hacen las partículas dispersadas separadamente en la formación de la torta. En cualquiera de los dos sistemas, el lodo debe estar bien defloculado para el mejor empaque —si el lodo está defloculado escasamente—, las partículas o agregados se unen con una orientación suelta y al azar durante la filtración, resultando una torta gruesa y suave y una pérdida de agua más alta. Los coloides orgánicos como el almidón y la CMC, se absorben en las partículas o agregados de arcilla para formar un coloide protector que estabiliza todavía más el equilibrio de defloculación y ayuda a formar una torta de filtro firme y delgada. La emulsificación de aceite en el lodo ayuda grandemente a reducir la filtración.

CONVERSION A LODO TRATADO CON CALCIO

La mayoría de los pozos se inician con una lechada delgada de bentonita en agua. Después de que se coloca el tubo superficial, las propiedades de filtración se mejoran gradualmente por adiciones posteriores de bentonita (20 a 30 lb/barril) y un pequeño tratamiento químico, de manera que para cuando se alcanza la profundidad de conversión, la pérdida de agua se ha reducido a 12 ml. o menos. Si se encuentra presente mucho menos bentonita que ésta, la filtración será difícil de controlar después de la conversión y se requerirán grandes adiciones subsecuentes de bentonita y almidón o CMC. También, puede ocurrir que se haga espuma después de la conversión si los sólidos son demasiado bajos y/o el lodo está escasamente defloculado. Por otra parte, si el contenido de sólidos del lodo es muy grande, como lo indicaría una pérdida de agua muy baja o el peso del lodo en exceso de 10.5 lb/gal., el cambio será muy severo y se necesitará diluir con agua.

El momento de la conversión se planea generalmente, de manera que se verifique antes de llegar a una profundidad a la que se requiera el lodo apesantado o a la cual se espera que haya contaminantes. Por lo general, el espesamiento es menos severo si se empezó la adición

de sosa calcinada y de defloculante orgánico antes de que se inicie la adición del compuesto de calcio. Aún, si los sólidos en el lodo son bajos, se deberá agregar bastante agua para mojar los materiales secos que se estén agregando (esto también se aplica al agregar barita para incrementar el peso del lodo). Muchos lodos pueden convertirse en una circulación, mientras se está perforando a fondo o mientras se perfora desde un tubo protector. Sin embargo, lo usual es tener una barrena nueva en el agujero y revisar las bombas y equiparlas con hules nuevos. Existen pozos ocasionales en los que el cambio deberá hacerse por etapas, es decir, primeramente convertir el lodo en las presas y en la tubería de ademe y posteriormente el lodo en el agujero abierto en una segunda etapa.

Inmediatamente después de la conversión, se reduce la filtración al valor deseado con la adición, ya sea de almidón (1 a 3 lb/barril) en el caso de lodos de pH alto o CMC (1/2 a 1 lb/barril) en los lodos de pH bajo. Si se usa almidón con un pH menor de 11.5, se requerirá un preservativo para evitar la fermentación. Frecuentemente, se agrega diesel oil después del cambio y ayuda mucho a reducir la pérdida de agua sin que se requiera o no coloide orgánico.

MANTENIMIENTO DE LOS LODOS TRATADOS CON CALCIO

Durante los primeros días después de la conversión, se pueden requerir grandes tratamientos químicos —hasta 1,500 lb. de compuesto de calcio por turno y casi esa cantidad de defloculante— especialmente si se está perforando un agujero grande a una velocidad rápida. El punto de escurrimiento y la fuerza de gelatinosidad del lodo, se deberán mantener en el valor mínimo obtenible con defloculante químico. La viscosidad plástica se deberá conservar tan baja como sea posible con el control apropiado de los sólidos totales en el lodo. Las viscosidades plásticas típicas, puntos de escurrimiento y el contenido de sólidos de lodos de campo, se muestran en la Fig. 15. Si se va a mantener un peso de lodo en exceso de 14.0 lb/gal. durante un tiempo largo, un separador mecánico es el medio más económico para recuperar barita del exceso de lodo hecho mientras se perfora.

Se obtienen muchos beneficios operando con lodo de perforación con su viscosidad plástica y punto de escurrimiento mínimos obtenibles. Mejor hidráulica en el agujero, velocidad de penetración más rápida, menos gas de viaje y puenteo del agujero debido a la acción de achique, menos variación de presión y pérdida resultante de circulación cuando se vuelve a penetrar en el agujero y costos de mantenimiento del lodo muy reducidos, son solamente unas cuantas ventajas. Aunque los lodos tratados con calcio pueden tolerar hasta 200 lb/bl. (25°/o en volumen) de sólidos de arcilla perforada sin presentar una viscosidad de embudo extremadamente alta, las mejores propiedades para la perforación se obtienen si estos sólidos de arcilla se conservan cerca del mínimo de manera que el lodo esté compuesto principalmente de agua y barita con arcilla únicamente suficiente para dar buena suspensión y propiedades de filtración. Además, mantener sólidos de perforación bajos, servirá para retardar la tendencia de los lodos de perforación, especialmente los lodos tratados con calcio, a solidificarse o gelatinizarse a temperaturas elevadas.

LODOS TRATADOS CON CALCIO EN USO CORRIENTE

Los lodos tratados con calcio que se usan comúnmente, se enlistan a continuación. El contenido de calcio que se proporciona para varios lodos en la lista, son aproximados y pueden variar ampliamente con tratamiento químico. .

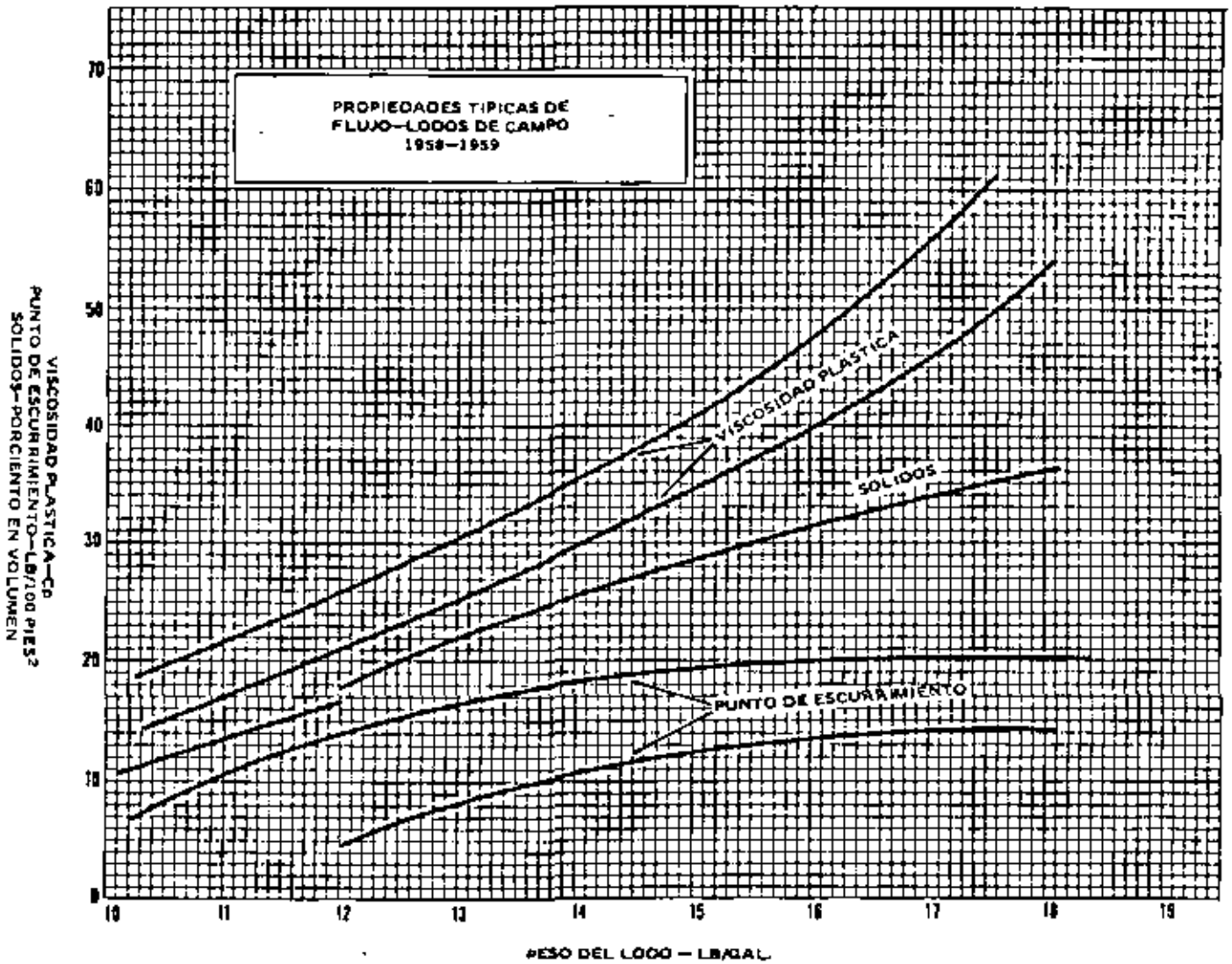


Fig. 15.— Propiedades típicas de flujo—lodos de campo, 1958—1959

a. Lodo tratado con cal (150 a 300 ppm de Ca^{++}).

Conversión: 1 a 3 lb/barril de sosa cáustica; 2 a 4 lb./barril de defloculante (tanino, lignita o lignosulfonato); 4 a 8 lb/barril de cal; 1/2 a 3 lb/barril de almidón o de 1/2 a 1 lb/barril de CMC.

Mantenimiento: Sosa cáustica para P_F = 1 a 8; cal para P_M = 10 a 40 ó 2 a 8 lb/barril de exceso de cal; defloculante para punto de escurrimiento mínimo; agua para la viscosidad plástica deseada; almidón para la pérdida de agua deseada.

b. Lodo de cloruro de calcio (400 a 600 ppm de Ca^{++}).

Conversión: 6 a 8 lb/barril de mezcla preparada para control de esquistos que contenga cloruro de calcio; 1/2 a 1 lb/barril de sosa cáustica; 1 a 2 lb/barril de lignosulfonato; 1 a 3 lb/barril de almidón. P_M = 8 a 10; lignosulfonato para el mínimo.

Mantenimiento: Sosa cáustica para P_F = 1 a 2; mezcla para control de esquistos para 400 a 600 ppm de Ca^{++} ; mezcla de control de esquistos o cal para el punto de escurrimiento; almidón para la pérdida de agua deseada.

c. Lodo de Yeso (600 a 1,200 ppm de Ca^{++}).

Conversión: 1/2 a 1 lb/barril de sosa cáustica; 4 a 6 lb/barril de lignosulfonato de cromo; 4 a 6 lb/barril de yeso para plastecer.

Mantenimiento: Sosa cáustica para pH de 9.0 a 9.5; yeso que dé por resultado 600 a 1,200 ppm de calcio en el filtrado y 2 a 4 lb/barril de exceso de yeso en el lodo; lignosulfonato de cromo para punto de escurrimiento mínimo; y CMC (si se requiere después de obtener el punto mínimo de escurrimiento) para la pérdida de agua deseada.

LODOS DE AGUA SALADA

Los lodos de agua salada que se tratan aquí, son aquéllos que están saturados o casi saturados con sal y los lodos de agua de mar. La sal es un contaminante común en los lodos de perforación y su presencia no siempre significa que se necesitan lodos saturados con sal. Cuando el grado de contaminación con sal es bajo, se pueden usar otros lodos. Si existe menos de uno porciento de sal (6,000 ppm de cloruros), se puede tolerar y el lodo se trata como normal, lodo de agua dulce. Cuando existe algo más de sal, generalmente el lodo se convierte a lodo tratado con calcio que es más resistente a la sal. Estos lodos se requieren porque la fase de agua del agua de repuesto salada o el agua de tratamiento, flujos de agua o capas delgadas de sal pueden resistirse. Sin embargo, si se perforan capas masivas de sal o domos, se requieren los lodos saturados de sal porque la fase de agua de los lodos disuelve la sal, agrandando el agujero hasta que se satura el lodo.

La contaminación con sal, aún en pequeñas cantidades, espesa los lodos de agua dulce y aumenta la relación de filtración. La bentonita y las arcillas se hidratan menos cuando se agregan al agua que contiene más de 1% de sal y la viscosidad desarrollada es sólo un pequeño porcentaje de la que resultaría si se usara agua dulce. Estos efectos conducen a problemas especiales en la preparación y mantenimiento de lodos estables que contengan altas concentraciones de sal.

Debido a que las arcillas y bentonitas que se usan comúnmente para dar viscosidad, no son efectivas en agua salada, se usan arcillas especiales para agua salada del tipo de tierra de infusorios de Florida (atapulgital. Esta arcilla desarrollará propiedades de suspensión apropiadas en lodos de agua salada, pero no les impartirá propiedades de baja filtración. Frecuentemente, se hacen pequeñas adiciones de arcillas de primera o de otras junto con la arcilla de agua salada; parece que reducen la espuma y dan un lodo de aspecto más suave. Se han obtenido viscosidades satisfactorias en el agua saturada con sal, usando arcillas ordinarias y bentonitas en algunas ocasiones, pero se requirieron cantidades tan grandes de materiales, que el procedimiento no puede recomendarse.

En algunas perforaciones con agua salada, se pueden tolerar pérdidas de filtro muy altas. En general, sin embargo, es necesario agregar algún material para bajar la filtración y generalmente se usa almidón pregelatinizado. La CMC no es un buen reductor de pérdida de filtro en lodos saturados con sal.

LODOS DE AGUA SALADA

En localizaciones mar afuera y en bahías, algunas veces no se tiene disponible agua dulce para mezclar. Traer agua dulce en chalanes es inconveniente y costoso, por lo que se usa frecuentemente, agua de mar y de bahía que contiene iones de sodio, calcio y magnesio. En el pasado, algunos operadores han tratado el calcio y el magnesio con sosa cáustica y sosa calcinada, con objeto de obtener mejor rendimiento de las arcillas de agua dulce y también, para hacer el control de la pérdida de agua más fácil. Ahora, se ha vuelto más común usar lignosulfonato de cromo con sosa cáustica para tratar estos lodos.

El pozo puede iniciarse con agua de bahía o de mar y arcilla atapulgita. Posteriormente las propiedades del lodo se mejoran gradualmente con tratamientos relativamente grandes de bentonita, sosa cáustica y lignosulfonato de cromo. Generalmente, estos lodos contienen de 1,800 a 2,400 ppm de dureza total de calcio y magnesio. Sin embargo, puede ser necesario agregar suficiente yeso para tener un exceso de 3 a 4 lb/barril de yeso en el lodo con objeto de mantener mejor control y estabilidad.

En el mantenimiento de estos lodos, se requiere un tratamiento diario con sosa cáustica, pero el pH deberá estar entre 9.0 y 9.5, para evitar la precipitación de los iones de magnesio que se consideran benéficos. Se requerirán cantidades relativamente grandes de lignosulfonato de cromo para un punto mínimo de escurrimiento; se puede usar agua y separación mecánica para mantener el contenido apropiado de sólidos; y aceite diesel y/o CMC si se requieren después de obtener el punto mínimo de escurrimiento para la pérdida de agua deseada.

LODOS DE AGUA SATURADA DE SAL

Cuando un lodo de agua dulce o de cal se convierte a lodo saturado de sal, es conveniente usar, tanto del lodo viejo como sea posible. Ambos tipos de lodo se espesarán, luego la viscosidad bajará y al continuar las adiciones grandes de sal resultará un asentamiento. Aunque el lodo original se deberá aguar extensivamente, sus sólidos son una fuente de material para formar viscosidad y apesantar el uso de ese lodo, como base ahorrará bastante de la arcilla para agua salada que se requeriría para un lodo nuevo. La manera usual es descartar por lo menos la mitad del lodo viejo, luego agregar sal para saturar la arcilla necesaria y el almidón. Puede que sea necesario convertir en lotes para tener suficiente lodo para circular todo el tiempo.

Cuando se va a preparar un lodo saturado de un lodo salado, se puede aplicar con provecho la Tabla II para estimar la adición de sal requerida. También, estos datos pueden usarse en la preparación de las soluciones de sal no saturadas que se usan en operaciones de reparación de pozos.

Cuando se preparan lodos de agua salada con agua dulce de repuesto, primero se agrega la sal. Esto requiere cerca de 125 lb. de sal por barril de agua y resultará 1.13 barriles de agua salada saturada. A ésta, se agrega la arcilla para agua salada para dar la viscosidad deseada. Cerca de 28 a 30 lb/barril de una buena arcilla para agua salada dará una viscosidad de embudo de 36 a 38 segundos. Por lo general, esto se considera suficiente para suspender barita. Luego se agrega el almidón por la tolva. Esta mezcla se hace cuidadosamente a cerca de 10 a 20 minutos por sacos para evitar que se haga bolas el almidón. La cantidad de almidón requerida variará mucho dependiendo de la pérdida de agua requerida. De 4 a 5 lb/barril, generalmente, arrojarán una pérdida de agua de 15 ml. o menos y una torta de filtro de 1/16" y 8 a 10 lb/bl. deberán reducir la pérdida anterior a 5 ml. o menos.

En condiciones especiales, los procedimientos descritos pueden variarse. Si la tubería de ademe está colocada dentro o un poco arriba de una capa o un domo de sal, entonces la sal se puede penetrar con agua salada saturada únicamente. En algunas áreas donde la experiencia indica que son permisibles altas relaciones de filtración, parte del agujero se puede hacer arriba, a través y debajo de secciones de sal con lodos de agua salada que no contengan aditivos reductores de la filtración. Por supuesto, existe el peligro de que si se perforan zonas porosas, la torta de filtro gruesa pegará la tubería de perforación. También, los esquistos penetrados con agua salada tienen una fuerte tendencia a derrumbarse.

Algunas veces un operador saturará un lodo de agua dulce al perforar sal. Mientras que con esto se ahorra la compra de sal, le dará un agrandamiento excesivo al agujero. Esto aumenta los requerimientos de cemento para colocar la tubería de ademe. Además, si ocurre un trabajo de pesca, la parte superior del pescado puede perderse en la sección ampliada.

MANTENIMIENTO DE LODOS DE AGUA SALADA

Una propiedad común de los lodos de agua salada, es una tendencia a espumar. Mientras que esto le da un mal aspecto al lodo, generalmente, no disminuye su eficiencia para la operación de la bomba. Cualquier aire atrapado se comprime a un volumen tan pequeño al penetrar al agujero, que tiene un efecto despreciable en la presión hidrostática ejercida por el lodo. Además, el aire generalmente sólo topa en la porción superior del lodo en las presas y no lo toma la succión de la bomba. El uso frecuente de la pistola mezcladora en la parte de arriba de las presas, ayuda a romper la capa de espuma que se forma. Hay numerosos desespumantes disponibles para problemas severos de espuma. Entre éstos, está el aceite de ricino, aceite de pino, alcohol octílico, turpentina y otros compuestos antiespumantes comerciales.

Los lodos saturados de cal, son altamente inhibitorios y los sólidos perforados no se hidratan fácilmente o incrementan la viscosidad; consecuentemente, los problemas de alta viscosidad son raros. Si ocurre alta viscosidad y gelatinosidad, el agua salada saturada es el medio más efectivo para reducirlas. En el pasado, se ha mantenido alguna medida de control controlando la alcalinidad del filtrado (P_F) en o cerca de 1 cc. cuando se está usando sosa cáustica o sosa calcinada. Esto efectúa cuatro cosas: reduce la corrosión, reduce la concentración de los iones de calcio, ayudando así al control de la filtración; aumenta la estabilidad y reduce la tendencia a hacer espuma. Ultimamente se ha encontrado que el lignosulfonato

de cromo se puede usar como un deflocutante efectivo en estos lodos y pequeñas adiciones de surfactante se pueden emplear efectivamente.

La pérdida de agua se controla con la adición de almidón. Si se usa almidón, las concentraciones de sal se deberán mantener arriba de 260,000 ppm. para asegurarse contra la posibilidad de la fermentación.

Aumentar el volumen representa un problema si se ha de prevenir la solución de sal de la formación y si no se puede hacer en una presa aislada del sistema de circulación. Un método es usar un barril de "saf". Este es un tambor común de 55 galones con la parte superior recortada y un pedazo de tubería de 2" de unos 3' soldada verticalmente en el fondo, de manera que la parte superior del tubo quede un poco abajo del borde del tambor; también se suelda una conexión de agua en la base del tambor. El tambor se suspende sobre la zanja o las presas. Cuando el tambor se conserva lleno de sal y se permite que fluya agua dentro del barril a baja velocidad, el agua se saturará a medida que sube por la sal y se descarga por el tubo vertical. Cuando se está aumentando el volumen, generalmente es necesario agregar cantidades adicionales de arcilla para agua salada, almidón y algunas veces barita para contrarrestar la dilución.

Si es necesario aumentar el volumen o reducir la viscosidad mientras se está perforando sal, se puede introducir una pequeña corriente de agua en el flujo de lodo, en la línea que queda adelante del colador vibrador de esquistos. El agua tenderá a saturarse disolviendo los recortes de sal. Algunas veces, el agua se puede circular a través de los recortes de sal abajo del vibrador y luego a las presas de lodo para aumentar el volumen y ocasionalmente un operador desviará el vibrador de esquistos para acumular sal en las presas de lodo. El agua se agrega lentamente a las presas de lodo y los recortes de sal asentados se mezclan con la pistola para que se disuelvan. Este procedimiento es permisible únicamente cuando no hay acumulaciones grandes de esquisto o recortes de roca en las presas que podrían recircularse.

La solubilidad de la sal aumenta ligeramente con el incremento de temperatura. De acuerdo con esto, el agua que se satura con sal a la temperatura de la superficie, puede disolver más sal a la temperatura del fondo del agujero y luego la sal se precipitará de la solución cuando el agua se enfría al regresar a la superficie. El efecto de la temperatura en la solubilidad se muestra en la Tabla VII. Cuando se desea un agujero muy cercano al calibre de la barrena, se agregan unas 4 a 5 lb. adicionales de sal por la tolva por cada barril de agua saturada de sal, agregado al lodo en las presas. En contraste, en algunas perforaciones profundas en domos de sal, se agrega una pequeña corriente de agua dulce a la succión de la bomba, para efectuar un ligero agrandamiento del agujero.

Los flujos pequeños de agua salada, sal, yeso y la anhidrita, no afectan a los lodos de agua salada. La perforación de cemento da por resultado un incremento serio en la relación de filtración. El bicarbonato de sodio y la sosa calcinada, generalmente reducirán la pérdida de agua aproximadamente a su valor original. El almidón adicional, puede no tener valor a menos que primero se trate el cemento.

LODOS DE EMULSION DE ACEITE

Un lodo de emulsión de aceite, es un lodo con base de agua dulce en el cual se ha mezclado aceite de manera que ese aceite esté suspendido en pequeñas gotas dentro de la fase acuosa del lodo. El agua formará la fase líquida externa o continua, mientras que el aceite formará la fase líquida interior o discontinua. Es importante que la emulsión sea

estable y que el aceite no se manifieste en la superficie de las presas. La estabilidad resulta de la presencia de "emulsificantes" en el lodo. Muchos lodos de emulsión estable dan filtrados nebulosos y la turbidez se debe a la presencia de gotitas muy finas bien dispersadas, que han penetrado la torta de filtro y el papel filtro. Mejorando la naturaleza de la torta, con frecuencia evitará la apariencia de emulsión en el filtrado.

El Informe Perkins, tabuló las respuestas a un cuestionario circulado entre los usuarios de lodos de emulsión de aceite en las muy variables perforaciones del oeste de Texas. El área Tri–State (Tres Estados) y la costa del Golfo. Una gran preponderancia de las respuestas, mostró resultados benéficos sobre otros lodos bajo estos tres encabezados:

1. Condiciones del agujero mejoradas: disminuye el torque de 20 a 50%. Se bajan las presiones de la bomba porque hay menos tendencia a atascarse y la barrena, lastrabarrenas y uniones de tubería se conservan limpios. Hay menos tendencia a que los agujeros "crezcan", menos derrumbe de esquistos y por lo tanto, menos tubería pegada. Los registros de calibre muestran ensanchamiento del agujero notablemente disminuido con los lodos de emulsión.

2. Aumento en la vida de la barrena: los lodos de emulsión dan una lubricación algo mejor a los cojinetes de la barrena que los lodos ordinarios a base de agua. La lubricación mejorada de los cojinetes, retardará o evitará que se peguen los conos de la barrena, dando por resultado una vida más larga de la barrena y una reducción en el número de viajes. Aún el mejor lodo de emulsión de aceite, sin embargo, no prolongará mucho la vida de los cojinetes de la barrena cuando ésta se somete a condiciones de carga excesiva. Para este propósito, se han fabricado los lubricantes (P.E.) para presión excesiva.

3. Incremento de velocidades de perforación: velocidades de penetración aumentadas son resultado de barrenas y lastrabarrenas menos embarradas.

Un estudio similar para el distrito del medio continente por API, también indicó la importancia y los beneficios de los lodos de emulsión.

Se cree que la explicación de la superioridad de los lodos de emulsión comprende más que la buena lubricación o la humidificación preferencial del acero. Se ha sugerido que las superficies de las partículas de arcilla o esquistos, no se humedecen al grado que lo hacen con los lodos ordinarios a base de agua, resultando menos espesor de la torta de lodo y superficie expuesta de esquistos, menos tendencia a embarrar y consecuentemente, superficies de barrenas y lastrabarrenas más limpias.

Aun cuando los aditivos P.E. para el lodo no están en el sentido estricto relacionados con los lodos de emulsión de aceite, ofrecen muchos de los beneficios derivados de un lodo de emulsión. Una propiedad extraordinaria de los aditivos P.E., es que estos beneficios se pueden obtener sin el uso de aceite, aunque los dos sean compatibles. Normalmente, los lubricantes para P.E. agregados al lodo, con o sin aceite, mejorarán los beneficios asociados con lodos de emulsión.

Un lodo de emulsión de aceite, desde el punto de vista de mantenimiento y resistencia a la contaminación, es muy similar al lodo base del que se ha hecho. Generalmente, la pérdida de agua API es más baja para el lodo de emulsión que para el lodo original. La formación de un lodo de emulsión de aceite es con el propósito de asegurar mejores condiciones en el agujero y un progreso más rápido. Los lodos de emulsión se han usado frecuentemente para disminuir el arrastre y el torque en los agujeros direccionales.

TABLA VII

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA SOLUBILIDAD DE LA SAL

TEMPERATURA °F	SAL PARA SATURAR 1 BL. DE AGUA (LB.)
80	127
120	129
160	132
200	137

TABLA VIII

EFECTO DEL ACEITE EN EL PESO DEL LODO*

ACEITE AGREGADO BL./100 BLS. DE LODO	ACEITE EN EL LODO RESULTANTE, POR-CIENTO EN VOLUMEN	PESO DEL LODO RESULTANTE, LB/GAL.								
0	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	10	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.8
5	4.8	9.8	10.8	11.7	12.7	13.7	14.6	15.6	16.5	17.5
8	7.4	9.7	10.7	11.6	12.5	13.5	14.4	15.3	16.3	17.2
10	9.1	9.7	10.6	11.5	12.4	13.3	14.3	15.2	16.0	17.0
11	9.9	9.7	10.6	11.5	12.4	13.3	14.2	15.1	16.0	16.9
13	11.5	9.6	10.5	11.4	12.3	13.2	14.0	14.9	15.8	16.7
15	13.1	9.5	10.4	11.3	12.2	13.0	13.9	14.7	15.7	16.5
18	15.3	9.5	10.3	11.2	12.0	12.9	13.7	14.5	15.4	16.2
20	16.7	9.4	10.3	11.1	12.0	12.8	13.6	14.4	15.3	16.1
25	20	9.3	10.1	11.0	11.7	12.5	13.3	14.2	15.0	15.8

* Reducción de peso calculado para adición de aceite de 40° API.

AGENTES EMULSIFICANTES Y LODOS BASE

No se puede preparar una emulsión estable mezclando aceite y agua. Un tercer componente, un agente emulsificante, debe estar presente. Todos los sólidos de tamaño coloidal de un lodo a base de agua, pueden servir como agentes emulsificantes. Esto incluye las partículas de arcilla hidratada como la bentonita; partículas inertes como el cuarzo y la barita; y los coloidales orgánicos, como el almidón, CMC y los dispersantes orgánicos. Sin la ayuda de otros agentes emulsificantes, los sólidos del lodo forman una emulsión de tipo mecánico. La naturaleza de los sólidos y el grado de dispersión de estos sólidos, afecta la estabilidad de la emulsión. Los lodos bien dispersados, es decir, los lodos que han tenido un tratamiento químico apropiado, hacen lodos de emulsiones fácilmente controlables y estables.

Además del lodo base en sí, se usan numerosos productos químicos, como emulsificantes para formar emulsión del tipo químico. Con emulsificantes químicos, el tipo y el carácter del lodo a base de agua, afectan la estabilidad de la emulsión. La práctica ordinaria emplea un gran número de materiales como agentes emulsificantes satisfactorios:

1. Adelgazadores orgánicos; lignitas, quebracho y lignosulfonatos; estos materiales deflocutan el lodo base al mismo tiempo que actúan como agentes emulsificantes.

2. Coloides orgánicos hidratados; como el almidón y CMC.

3. Agentes activos de superficie; aniónicos (jabones, sulfonatos de petróleo, etc.), no iónicos (emulsificantes de lodos de perforación, DME, o compuestos similares), y mezclas de compuestos aniónicos y no iónicos (emulsificantes de aceite en agua con bajos sólidos).

Aunque dentro de la amplia exposición precedente sobre los lodos de emulsión de aceite, existen dos tipos especiales que se describen con más detalle en las modificaciones especiales.

ACEITES PARA LODOS DE EMULSION

Prácticamente, se han usado toda clase de aceites con algo de provecho en lodos de emulsión. En cada área, la experiencia ha indicado los aceites que son apropiados y económicos. Para la perforación profunda, hay una decidida preferencia por los aceites diesel no desintegrados con peso específico de 28° a 36° API, punto de inflamación arriba de 190°F, punto de anilina arriba de 155 y un punto de escurrimiento bajo. Los aceites con punto de anilina arriba de 155, causan menos daño a las partes de hule del equipo de perforación. En general, sin embargo, siempre se deberá usar hule resistente al aceite para los hules de los pistones y las inserciones de las bombas de lodo, y para los protectores de tubería de ademe cuando se usa lodo de emulsión.

Los aceites crudos pueden tener la misma fluorescencia bajo la luz ultravioleta que el crudo en núcleos y recortes, y ésta puede ser una razón adicional para usar aceite diesel que tiene una fluorescencia muy diferente. Hasta el aceite diesel puede dificultar la evaluación de indicios pequeños en un pozo de exploración y ésta es precisamente la razón más válida para restringir el uso de lodos de emulsión. Se puede usar aceite especialmente procesado con baja fluorescencia en lugar de aceite diesel.

PREPARACION Y MANTENIMIENTO DE LODOS DE EMULSION

La cantidad de aceite que se ha de agregar, puede variar de 8 a 50%, dependiendo del peso y la pérdida de agua deseada. Sin embargo, un 10 a 15% presente es lo más común. El efecto de adiciones de aceite en la densidad del lodo se presenta en la Tabla VIII. Después de que el lodo base se ha ajustado a las especificaciones apropiadas y ha seleccionado el aceite y el agente emulsificante, se deberá llevar al cabo cuidadosa prueba en el banco, para determinar la mejor concentración de aceite y la cantidad de emulsificante requerido.

El aceite y el agente emulsificante se agregan mejor por la tolva de lodo, pero se pueden agregar por una conexión en la succión de la bomba. La adición deberá ser a una velocidad uniforme y en un tiempo en el que todo el sistema se trate uniformemente en una o dos vueltas.

Durante las pruebas de banco y los primeros días después de la conversión, se deberán hacer numerosas pruebas de contenido de aceite. Después de que el lodo esté bien acondicionado, el contenido de aceite se puede medir con menos frecuencia y agregar aceite adicional según se indique. Además de las adiciones de aceite, el mantenimiento de los lodos de emulsión es el mismo que para los lodos de base.

En el caso de que haya evidencia de que el aceite es "separado" de la superficie del lodo, se deberá probar un tratamiento químico adicional o emulsificante adicional en el lodo. Si se nota aceite o emulsión en el filtrado, la adición de buenas arcillas sólidas, como la bentonita, es conveniente.

MODIFICACIONES ESPECIALES

EMULSION DE ACEITE EN AGUA CON BAJOS SOLIDOS

Un fluido de perforación especial de emulsión con bajos sólidos que consiste de agua, aceite y un agente emulsificante, se ha usado mucho en Estados Unidos y el Canadá para perforar zonas en las que se usa normalmente agua dulce o salada. Esta emulsión substituye al agua, porque se obtiene mejor lubricación, vida más larga de la barrena, reducción del torque y esencialmente, la misma velocidad de penetración. Además, la emulsión, generalmente, sacará a la superficie muestras geológicas adecuadas mientras que el agua sola no lo haría, posponiendo así la necesidad de hacer lodo.

Las propiedades de esta emulsión de aceite en agua, se mantienen sin la adición de arcilla alguna. De hecho, se hacen todos los esfuerzos para mantener los sólidos en un mínimo. El contenido de aceite se mantiene a cualquier nivel deseado, generalmente de 5 a 30% en volumen. La cantidad de emulsificante es de cerca de 2 gal/barril de aceite usado. Se agrega CMC o almidón, según se requiera para los incrementos de viscosidad. Las propiedades de este tipo de fluido se mantienen dentro de límites de 8.3 a 9.0 lb/gal. (9.0 a 10.5 lb/gal. para sal), y una viscosidad de 26 a 35 segundos. Generalmente, no es necesario control adicional para pérdida de agua.

EMULSIONES EN SALMUERAS

Se pueden preparar emulsiones en agua salada o lodo salado de acuerdo con los procedimientos descritos arriba, excepto que se requiere ligeramente más emulsificante. Los

agentes emulsificantes se deberán verificar cuidadosamente respecto a su estabilidad en la salmuera. Cuando se usan emulsiones con bajos sólidos, la viscosidad y la pérdida de agua se controlan con almidón o con las distintas gomas en lugar de CMC.

LODOS CON BAJOS SOLIDOS DE ARCILLA

El principio de los lodos con bajos sólidos, puede aplicarse a cualquiera de los tipos básicos de sistemas de lodo. En general, al incrementar el contenido de sólidos, disminuye la velocidad de penetración. Los lodos de bajos sólidos se usan por tres razones: mejoran la velocidad de penetración; tienen mayor tolerancia para la contaminación y tienen mayor estabilidad cuando se usan para fluidos de terminación.

En un sistema sin peso, los sólidos pueden fácilmente mantenerse bajos por simple dilución. Si la dilución con pistola llegara a ser excesiva y se requiere baja pérdida de agua, entonces puede llegar a ser más económico mantener los sólidos en el nivel adecuado por algunos otros medios.

En un sistema apesantado, es más económico eliminar los sólidos de baja densidad por medios mecánicos y substituir una pequeña cantidad con uno de los polímeros de alto peso molecular para ayudar a soportar el material que da peso y controlar la pérdida de agua. Las propiedades de flujo de esos lodos son mucho más fáciles de controlar dentro de límites razonables y en casos en que estos lodos se usan para terminaciones tienen mucho menos tendencia a gelatinizarse o solidificarse. En algunos casos, también demasiados sólidos de alta calidad y baja densidad se eliminan del lodo la filtración a alta temperatura y alta presión, puede ser lo bastante alta para causar dificultades. Esto se puede evitar o prevenir por: uso menos extenso de separación mecánica o usando el separador únicamente en el sistema de reserva. Esta condición puede remediarse después de que ha sucedido por la cuidadosa adición de pequeñas cantidades de bentonita de alta calidad.

El comportamiento de cualquier lodo a base de agua muy apesantado, puede mejorarse con control cuidadoso del contenido de sólidos. Entre más alto sea el peso del lodo, menos pueden tolerarse los sólidos de baja densidad y se debe dar más atención a la calidad si se han de mantener las otras propiedades del lodo.

LODOS SURFACTANTES

En un sentido amplio, los lodos surfactantes son aquéllos lodos que se han tratado con materiales altamente activos de superficie para darles propiedades especiales. Estas propiedades especiales, incluyen: estabilidad a alta temperatura; buenas propiedades de flujo con sólidos altos y los sólidos extremadamente bajos junto con mayor capacidad de elevación y algún control de filtración en el caso de emulsiones de bajos sólidos.

Tanto los emulsificantes no iónicos, como mezclas de no iónicos y aniónicos, se han usado para preparar las llamadas "emulsiones lechosas". Los materiales mezclados generalmente, son más solubles en aceite que en agua y el emulsificante se mezcla con aceite antes de agregarlo al lodo. Los materiales no iónicos son más solubles en agua y es mejor mezclarlos con agua o directamente con el lodo en lugar de mezclarlos con aceite.

Los surfactantes se pueden agregar a casi cualquier clase de lodo inhibido para mejorar las propiedades de flujo y en la mayoría de los casos, también se puede bajar la pérdida de

agua. Cuando se usan cantidades relativamente pequeñas de surfactantes, se dice que esos lodos están "tratados con surfactantes" para distinguirlos de los sistemas surfactantes que tienen un exceso de surfactante.

Se han usado cuatro tipos de lodos que tienen un exceso de surfactante: de calcio, de bajo sodio, de agua de mar y lodos saturados de sal. La preparación de todos ellos, es similar y puede iniciarse con una lechada de bentonita en agua o lodo dispersado con pH bajo que ya exista.

Para la conversión se agrega suficiente surfactante primario para proporcionar una cubierta de una capa de las arcillas presentes, más 1 a 3 lb/barril de exceso, para aplicarse a las nuevas arcillas y esquistos que se integren al lodo mientras se perfora. Como un ejemplo: para preparar un lodo de surfactante de calcio, se pueden agregar los siguientes materiales juntos o por separado: 6 a 8 lb/barril de surfactante no iónico para lodo de perforación (SLP), 6 a 10 lb/barril de sulfato de calcio y CMC para obtener la pérdida de agua deseada. La adición de aceite se puede hacer después, seguida de la cantidad apropiada de agente emulsificante si el aceite tiende a separarse en la superficie.

Los lodos de surfactante de bajo sodio, son similares, excepto que la cantidad de sal agregada en lugar del sulfato de calcio, se controlará con los requerimientos de registro y generalmente, el lignosulfonato de cromo y la lignita substituyen a la CMC para control de filtración.

El mantenimiento requerido para lodos surfactantes, dependerá de: tamaño del agujero; velocidad de perforación y la clase de formación penetrada. Se deberá mantener un exceso de 1—1/2 a 3 lb/barril de surfactante; 3 a 5 lb/barril de exceso de sulfato de calcio en el sistema de calcio y no menos de 5,000 ppm. de cloruro de sodio en el sistema de bajo sodio. Se pueden permitir concentraciones mayores si no son inconvenientes las resistividades. El pH de estos lodos se deberá mantener entre 8.5 y 9.5 para mejores resultados. Las propiedades físicas de estos lodos, se mantienen en forma similar a las de otros lodos a base de agua con el uso de agua, surfactante, electrolito y agente de control de filtración.

LODOS A BASE DE ACEITE

Las aplicaciones, hoy en día, de los lodos a base de aceite, incluyen fluidos para perforar, sacar núcleos, estudios especiales de yacimientos, fluidos para empacador, terminación, perforación direccional, perforación de agujero delgado y para problemas especiales de perforación en los que se encuentran altas temperaturas o esquistos difíciles. También, han probado ser efectivos para combatir diferentes problemas de adherencia (tubería pegada). El aceite crudo sólo se ha usado durante muchos años para perforar en zonas productivas sensibles al agua.

Se pueden distinguir dos tipos de lodos a base de aceite: el lodo a base de aceite convencional y el lodo a base de aceite (invertido) de emulsión (agua en aceite emulsionada). Debido a que el aceite es la fase continua líquida, ninguno de éstos permite que el agua se ponga en contacto con las formaciones si el lodo está convenientemente preparado. No deberán estar presentes agua libre, ni emulsiones del tipo de aceite en agua y tampoco el fluido en sí o el filtrado deberán humedecer con agua las formaciones, ni los recortes. El aceite para estos lodos, puede ser aceite crudo, diesel o tractolina o algún otro corte refinado. Se pueden usar varios sólidos y productos químicos para aumentar o disminuir la viscosidad y la fuerza de gelatinosidad, impartir propiedades para formar paredes con relación baja de filtración y mantener buenas propiedades físicas del lodo de perforación.

Los lodos a base de aceite que se ajustan a los requerimientos de ser no acuosos y poseer las propiedades deseadas de los buenos fluidos de perforación, se pueden obtener comercialmente de varios abastecedores. En general, son mezclas cuidadosamente formuladas de asfalto oxidado, ácidos orgánicos, álcali, agentes estabilizadores y aceite diesel de alto punto de inflamación. El aceite es la fase continua y los otros ingredientes se agregan para impartirle las propiedades físicas necesarias y hacer un fluido de perforación controlable. El asfalto está dispersado coloidalmente en el aceite diesel para proporcionar viscosidad y propiedades para formar paredes. Los ácidos orgánicos y el álcali, se agregan para formar un jabón estable que imparta viscosidad y fuerza gelatinosa para proveer propiedades de suspensión adecuadas. El jabón estable se forma en el aceite y variando el grado de la neutralización de los ácidos orgánicos con el material alcalino, se controlan la viscosidad y la fuerza de gelatinosidad.

En un tipo de lodo a base de aceite, un ácido graso como el aceite de resina, es el que se usa y se neutraliza con silicato de sodio. El ácido nafténico se usa en otro tipo de lodo de perforación a base de aceite y se neutraliza con cal. Un tercer tipo contiene mezclas de resinas y ácido nafténico neutralizadas con cal. Los jabones también actúan como agentes emulsificantes y pueden ayudar indirectamente a controlar la filtración. Con frecuencia se agregan pequeñas cantidades de otros productos químicos para que sirvan como agentes estabilizadores. Su composición depende del tipo de lodo a base de aceite y de los materiales usados en particular para la formulación.

La densidad de un lodo a base de aceite sin apesantar, es aproximadamente de 7,8 lb/galón (56 lb/pie^3). El peso se puede incrementar simplemente agregando material para apesantar a través de una tolva mezcladora ordinaria. Los lodos a base de aceite que pesan hasta 21 lb/galón, han sido usados alguna vez.

El filtrado de un lodo a base de aceite correctamente preparado, deberá ser cero ml. en las condiciones de la prueba API. Algunas veces, periodos más largos a temperaturas elevadas y presiones pueden requerirse para la valoración apropiada de las propiedades de filtración.

La prueba de contenido de agua, es una prueba especial para lodo a base de aceite que es importante. Todos los lodos a base de aceite convencionales, contienen una cantidad relativamente pequeña de agua (2 a 5%) que es necesaria para formar el jabón estable que hacen posible el control de las propiedades físicas. El agua es un contaminante de los lodos convencionales a base de aceite y es sumamente importante proporcionar condiciones de empleo en el campo que protejan el sistema de lodo de la lluvia o de otras fuentes de agua extraña. Aún las cantidades pequeñas, pueden producir efectos de espesamiento indeseables. Si el agua no es excesiva, sin embargo, se pueden restablecer las buenas propiedades con tratamiento químico. Las altas temperaturas pueden causar pérdida excesiva de agua por evaporación y entonces puede que sea necesario agregar algo de agua al sistema. Excepto por el efecto de agua o de lodos a base de agua, los lodos a base de aceite son muy estables.

Los contaminantes ordinarios como el cemento, sal o anhidrita, no son solubles en aceite y consecuentemente tienen muy poco o ningún efecto en los lodos a base de aceite. Estos lodos no forman lodo, ni inducen la dispersión de sólidos porque no humedecen las formaciones. Es necesaria una buena separación mecánica de cedazo, sin embargo, para evitar la recirculación y la molienda de sólidos dentro del sistema que puedan causar espesamiento excesivo y que se necesite una reposición costosa con lodo nuevo a base de aceite.

El siguiente equipo ayudará a evitar el desperdicio de lodo a base de aceite o el daño a

equipo sensible al aceite: presas y zanjas de flujo de madera o acero, vibradores de esquisto (con cedazo de 12 mallas de preferencia), pistolas de lodo, línea del drenaje del estante de tubería que fluya a la zanja, un limpiador de tubería, partes de bomba resistentes al aceite y manguera rotatoria, aserrín o arena para los pisos de la torre y limpiadores de pasta especial para las manos.

Si se va a usar un fluido a base de aceite para substituir un lodo a base de agua para perforación o terminación, se debe tener cuidado excesivo cuando se haga el cambio para no contaminar el lodo a base de aceite. Se deberán usar partes de agua dulce y aceite adelante del lodo a base de aceite. El uso de lodo a base de aceite es muy atractivo para colocar sartas de agua arriba de zonas productivas. Bajo estas condiciones, el cambio se hace con volumen reducido, la contaminación se reduce al mínimo y quedan cantidades relativamente pequeñas de agujero por perforar.

El lodo a base de aceite se selecciona únicamente después de la debida consideración. El costo inicial es relativamente alto, aproximadamente de $12.00 (dólares) por barril para un lodo de 8 lb/galón, pero éste se puede reducir materialmente con un manejo apropiado, almacenamiento y provisión de facilidades para mover el lodo de pozo a pozo. De hecho, las cifras de algunos operadores muestran un costo de 20% de repuesto por pozo (baja a $2.40 (dólares) por barril por pozo) para lodo a base de aceite empleado en una serie de pozos. Las cuadrillas de perforación se oponen a la suciedad y lo resbaloso de las áreas de trabajo que no se pueden evitar enteramente cuando se usan lodos a base de aceite, pero la provisión de ropa especial, limpiadores de mano y de piso, ayudan mucho a disminuir ésto.

El examen geológico de los recortes del pozo perforado con lodo a base de aceite es más complicado y no se pueden aplicar los registros eléctricos convencionales. Se están obteniendo registros con rayos gama, neutrones y registros de inducción para la interpretación de los pozos con lodo a base de aceite.

LODOS DE EMULSION INVERTIDA
(Emulsión de Agua en Aceite)

Estos lodos son un desarrollo reciente en el campo de lodos a base de aceite y poseen la mayoría de las ventajas y pocas de las desventajas de los primeros tipos. Muchas emulsiones de esas en las que el aceite es la fase externa continua, están ahora disponibles y varios cientos de pozos se han terminado con ellos desde su primera aplicación en 1950. El término "lodo de emulsión invertida" o emulsión a base de aceite, se usan ahora para su designación. El término "lodo de emulsión de aceite" designa un sistema del tipo de aceite en agua, en el cual las gotitas de aceite están dispersadas en el lodo a base de agua. Una emulsión de base de aceite o emulsión invertida es precisamente lo contrario o sea, gotitas de agua dispersadas en la fase continua de aceite. La formación de una emulsión estable de agua en aceite en el lodo requiere el uso de agentes emulsificantes y estabilizadores como los jabones metálicos y otros surfactantes. Contienen de 20 a 70% en volumen de agua dulce o salada emulsionada en aceite diesel o crudo.

Las formulaciones más viejas se hacían sin sólidos. Estos lodos más nuevos pueden contener sólidos de arcilla y permiten las adiciones de material para dar peso. Correctamente preparados los lodos de emulsión a base de aceite tienen el agua firmemente sujeta como fase interna y no deberá haber ninguna separación de agua libre. La pérdida de filtro deberá ser muy baja con seguridad y, si hay algún filtrado, deberá ser aceite. Por lo tanto, no puede humedecer con agua la formación. Los contaminantes, anhidrita, sal y cemento no afectan

adversamente estos lodos. Muchos de los problemas de manejo tratados para los lodos a base de aceite, también son aplicables a éstos. Se han usado de pozo en pozo con los requerimientos normales de mantenimiento únicamente.

Una propiedad importante de estas emulsiones, es que se pueden lograr pesos de 8 lb/galón que son bajos (contiene 60%/o de agua). Las densidades generalmente, varían de 8 lb/galón (60 lb/pie^3) a 15 lb/galón (112 lb/pie^3). Con una modificación apropiada, se pueden apesantar todavía más hasta cualquier densidad deseada.

La viscosidad de estos lodos puede ser alta, aunque la bombeabilidad y la fluidez son buenas y las fuerzas de gelatinosidad por lo general cero. La viscosidad normalmente, se incrementa agregando agua y se disminuye agregando aceite. La pérdida por filtración a la formación, puede resultar por un contenido bajo de sólidos, pero ésto puede corregirse agregando agua; pérdidas hasta de 20 bl/día se han detenido completamente con este tratamiento.

Debido a que la fuerza de gelatinosidad es muy baja (generalmente cero) los agujeros deben circularse para sacar los recortes antes de un viaje, para evitar que se asienten si no se hace así. Las emulsiones de agua en aceite son relativamente no inflamables debido a la cubierta de vapor que se desprende en presencia de altas temperaturas. Generalmente, son de color crema claro, aun cuando estén mezclados con aceite crudos, y como no hay suciedad asociada con su empleo, las cuadrillas prefieren éstos al lodo convencional a base de aceite o al petróleo crudo.

En general, las pruebas convencionales se hacen con este tipo de lodo y se consideran satisfactorias cuando el filtrado medido a la temperatura del fondo del agujero es bajo y es todo aceite y la viscosidad es suficiente para soportar los recortes y la barita. Como se estableció antes, la viscosidad puede incrementarse agregando agua o disminuirse agregando aceite. La estabilidad puede controlarse con un mezclado correcto y con la cantidad apropiada de agente emulsificante. Las emulsiones a base de aceite o invertidas no se consideran como fluidos de perforación para uso general, pero como los lodos convencionales a base de aceite se ha encontrado que son benéficos para las formaciones sensibles al agua que se perforan, operaciones de reparación, como fluidos de perforación (con disparos) y para perforar algunas secciones de sal y anhidrita.

FLUIDOS DE PERFORACION DE AIRE O GAS NATURAL

En algunas áreas con formaciones duras y secas se usa el aire comprimido o el gas natural para perforar. El gas se bombea hacia abajo por el espacio anular, que debe empacarse contra la tubería de perforación. El procedimiento da por resultado velocidades más rápidas de penetración, pero las formaciones que tienen agua causan el atascamiento de la barrena que limita la aplicación del método. También es útil en algunas condiciones en las que no se pueden circular los fluidos de perforación normales, pero el método debe reconocerse como uno de aplicación muy especial. El uso de gas natural también presenta peligro de incendio.

Otro método conexo es la perforación con lodo aereado que consiste en la inyección de grandes cantidades de aire comprimido en más de un 95%/o en condiciones atmosféricas, dentro del lodo en circulación para bajar la presión hidrostática cuando los problemas de pérdida de circulación son severos, para asegurar velocidades de perforación mayores y costos más bajos del pozo.

La perforación con aire o gas es una práctica establecida en ciertas áreas; por ejemplo, para perforar pozos de explosión en las formaciones superficiales secas y duras de la meseta Edwards de Texas; para perforar la zona productiva de gas después de que una sarta de agua se ha cementado en la cuenca de San Juan en Nuevo México y para colocar tubería de superficie en un campo de California. Se puede esperar un desarrollo mayor y una aplicación más amplia de este fluido de perforación y del método.

PROBLEMAS COMUNES DE PERFORACION

Además de la contaminación de los fluidos de perforación por las formaciones o por los fluidos de la formación tratada antes, se encuentran muchos otros problemas que están relacionados con los fluidos de perforación. Algunos de los problemas son comunes a varias áreas de perforación, mientras que otros son particularmente molestos en una área y se estudian con más detalle en el capítulo que cubre esa área. Este capítulo ofrece una base para la compresión y resolución de los problemas generales de perforación que se pueden presentar en todas las áreas.

El lodo se circula en el pozo y las pruebas en la superficie permiten que se ajusten sus propiedades con aditivos para lodos. Las condiciones del agujero, sin embargo, no se pueden observar y sólo se pueden apreciar por intuición. Han resultado muchos gastos innecesarios porque una condición adversa se ha adjudicado al lodo cuando alguna otra cosa estaba fallando. Por ejemplo, los ojos de llave y las patas de perro dobles con frecuencia causan dificultades al hacer un viaje redondo o al correr herramientas de registro o probadores de formación. El incremento, ya sea de la viscosidad o la densidad del lodo no mejorará esas condiciones, pero un escurridor para ojo de llave que se corra arriba de la barrena por lo general, las corregirá después de uno o dos viajes.

Los primeros problemas que se deben tener en cuenta no son problemas reales de perforación, sino problemas que debieran considerarse para el manejo más eficiente y económico de los fluidos de perforación. Estos son:

1. Almacenamiento en el campo de los materiales para lodo.
2. Sistemas superficiales de lodo.
3. Precauciones de seguridad para manejo de productos químicos para lodo.
4. Registros de lodo.

Algunos de los problemas además de la contaminación, que se encuentran muy comúnmente mientras se perfora, son:

1. Derrumbes de esquistos.
2. Pérdida de circulación.
3. Altas temperaturas de fondo del agujero.
4. Presiones anormales de fluidos de formación.
5. Reventones y la perforación de formaciones de alta presión.

6. El riesgo de reventón a poca profundidad.

ALMACENAMIENTO EN EL CAMPO DE MATERIALES PARA LODOS

La mayoría de los equipos para perforación rotatoria que están bien equipados, tienen casetas montadas en patines para almacenar los materiales para lodos. Es esencial que esos productos como los materiales para dar peso, la bentonita, el quebracho, CMC y otros materiales secos se protejan de la humedad. La sosa cáustica en tambores se deberá almacenar de manera que el agua no se acumule en las tapas. Un tambor dañado admite la humedad y hace que la sosa se haga torta y endurezca y la hace difícil de manejar en las operaciones de mezcla. El tamaño del almacén para lodos depende enteramente de la cantidad de materiales que se deben tener en el equipo. Esto a su vez, depende del programa de lodo, de la profundidad del pozo, la distancia al almacén del distribuidor y otros factores. Algunos materiales para lodo cuestan casi $1.00 (dólar) por libra y el desperdicio de unos cuantos sacos rotos en cada trabajo pronto costará más que la inversión en una caseta de almacenamiento.

SISTEMA SUPERFICIAL DE LODO

Algunos de los requerimientos básicos de instalaciones superficiales buenas para el lodo de perforación, se pueden enumerar:

1. Se deberá proveer capacidad adecuada para el lodo activo y el de reserva. Sin embargo, la perforación mar adentro indica en la práctica que ambas instalaciones pueden ser de un tamaño mucho más pequeño de lo que se venía usando en equipos terrestres anteriormente.

2. Se puede acrecentar la flexibilidad del sistema de lodo conectando la bomba de relevo de manera que pueda usarse para mezclar lodo mientras la bomba principal está circulando el agujero. También es conveniente tener dos presas de lodo conectadas a la succión de la bomba para que se pueda usar cualquiera de las presas para mezclar o circular en el agujero.

3. La remoción adecuada de los recortes de perforación y de la arena del lodo, deberá ajustarse con un cedazo vibrador y una presa asentadora de arena.

La selección entre tanques de acero y presas excavadas para el lodo activo, depende de factores que son en su mayor parte económicos. Con frecuencia, las condiciones locales de drenaje determinan que se usen tanques, y cuando se espera usar un lodo costoso de alta densidad, la mayoría de los operadores encuentran que son necesarios los tanques de acero.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD EN EL MANEJO DE PRODUCTOS QUIMICOS PARA LODO

El control del lodo con frecuencia requiere el empleo de productos químicos para tratamiento que son peligrosos para aquéllos que los manejan. Es esencial que todas las cuadrillas de perforación se den perfecta cuenta de los riesgos y que conozcan el tratamiento de primeros auxilios en el caso de un accidente. Las quemaduras de la piel con la sosa cáustica constituyen los accidentes más frecuentes. Se pueden evitar con el uso de equipo

mezclador apropiado y procedimientos correctos para mezclar. Siempre que se usen productos químicos nuevos, las cuadrillas de perforación deberán enterarse de las precauciones requeridas para el manejo y almacenamiento de los nuevos materiales.

Los barriles con productos químicos para tratamiento, generalmente, se elevan sobre la presa de lodo y una instalación adecuada requiere una escalera fuerte y una plataforma de trabajo. La parte superior del barril no deberá estar más arriba de la altura de la cintura de un hombre en la plataforma de modo que su cara y la parte alta de su cuerpo queden siempre a salvo. La válvula de agua deberá tener un mango de extensión o deberá conectarse de manera que pueda operarse mientras el hombre está bien parado y el agua debe entrar al barril cerca del fondo para evitar salpicaduras. Una conexión de vapor a los barriles de producto químico era antes muy común, pero por consideraciones de seguridad, el uso de vapor actualmente es cada vez más raro y no se recomienda.

La mezcla de productos químicos secos a través de la tolva de lodo, generalmente no es peligroso. Sin embargo, si varios hombres están agregando reactivo químico al mismo tiempo, debe haber un trabajo de conjunto y una protección mutua. Los hombres deben estar en guardia para que no se tape la tolva de lodo, la que podría salpicarlos de lodo líquido.

La sosa cáustica es un álcali fuerte que quema la piel, especialmente si está húmeda. Los lodos que están muy tratados con álcalis, también quemarán la piel, ya sea directamente o después de absorberse por la ropa. Con las quemadas de la piel, la primera regla es lavar la quemada con un chorro de agua. Después de que se ha lavado muy bien el álcali un enjuague de vinagre y una pomada para quemaduras aliviará el lugar afectado. Los miembros de la cuadrilla deben tener cuidado cuando la ropa se enloda; una quemada no ocurrirá inmediatamente, pero el lodo debe lavarse para quitarlo. En las quemaduras de ojos, un lavado con mucha agua y la aplicación de pomada de ácido bórico o aceite de ricino son los tratamientos de primeros auxilios. Las quemaduras de los ojos deberá atenderlas el doctor, tan pronto como sea posible. Si la sosa cáustica se maneja correctamente, se puede mezclar con seguridad en un barril para productos químicos o disolverse y drenarse a través de perforaciones hechas en el fondo de la lata de cáustico que se coloca arriba de la presa de lodo o de la presa de succión. La sosa cáustica en agua genera calor de solución que puede ser causa de que un barril hierva y se derrame. Si el cáustico se agrega a través de una tolva en una corriente uniforme y pequeña, el lodo la tomará fácilmente; pero una cantidad grande y repentina puede alterar el lodo, tapar la salida y desparramar la tolva.

Un agente común de tratamiento de lodo es una solución de sosa cáustica y quebracho en agua que se agrega al lodo de un "barril de producto químico" que se instala arriba de la presa. Sin embargo, hay una sorprendente variación entre las cuadrillas de perforación de procedimientos de mezclado. Los requerimientos básicos son la seguridad y el uso del 100% de los materiales. No se deberá permitir que se acumule quebracho como una masa pegajosa que se tiene que tirar. El procedimiento más común es llenar los barriles con agua hasta la mitad. Luego se agrega el quebracho, por lo general 25 a 50 lb., mientras se agita con una pala con objeto de suspenderlo en el agua tan uniformemente como sea posible. Se abre la válvula de agua y entonces se echa la sosa cáustica en el barril (el cuerpo debe estar lejos del barril mientras se hace ésto). Entonces, se cierra el agua y se comienza a agitar con una pala. Este procedimiento es seguro y deja el fondo del barril brillante, lo que indica una eficiencia de 100% en el consumo del quebracho.

Venenos.— El carbonato de bario, un polvo blanco que algunas veces se usa para tratar anhidrita, es un veneno y sus envases están marcados así. Se debe tener cuidado para no

respirar el polvo y que entre a la boca y al estómago. El trabajador debe pararse siempre en una posición en que el viento se lleve el polvo lejos de él. El cromato de sodio (o el dicromato) es irritante y venenoso. Para manejarlo se deben tener las mismas precauciones que con el carbonato de bario. La mayoría de los conservadores de almidón tienen una base de formaldehído y pueden contener también otros bactericidas. Estos son veneno cuando se toman internamente y los vapores pueden afectar seriamente los pulmones y los ojos. Seguramente que se debe tener juicio y cuidado para manejarlos.

REGISTROS DE LODO–CONSERVACION DE REGISTROS DE LODOS

Hay pocos lugares en Estados Unidos en la actualidad, en donde se pueda perforar un pozo de exploración, en el sentido histórico de la palabra. En este país, las formaciones que se pueden encontrar y el tipo de estructura geológica frecuentemente, se conocen con más o menos exactitud antes de que se haga una localización. Generalmente, es posible, trabajando con personal geológico conocedor y analizando los problemas encontrados en pozos cercanos de los registros de informes, registros eléctricos y los propios registros de los pozos, planear adecuadamente un programa de tuberías de ademe y de lodos para un pozo futuro. Antes de que un contratista haga un presupuesto en un territorio en el que no ha estado operando, obtiene los registros de barrenas y los datos de las condiciones de perforación, suministros de agua superficial, requerimientos de fuerza, etc., de todos los pozos recientemente perforados en la vecindad.

El mismo procedimiento es todavía más importante para planear los programas de tuberías de ademe y de lodos. Cuando un ingeniero de perforación se traslada a un campo con el que no está familiarizado, no hay substituto para tabular y estudiar los datos de lodos de la perforación anterior del área. Esos registros permiten mejorar continuamente el programa de lodo y bajar los costos de perforación y del lodo, aprovechándose de la experiencia anterior. Con fosfato de poco peso o lodos rojos de bajo pH, esos registros pueden ser muy sencillos y por lo tanto, fáciles de preparar, pero son igualmente importantes.

Además de conservar los registros completos de las propiedades del lodo y de los materiales agregados como se ve en la Fig. 16, se debe prestar especial atención para llenar cuidadosamente la sección de observaciones de la forma del informe de lodo y de perforación. Las explicaciones del problema permiten mejor planeamiento de los programas de tubería de ademe y de lodo para lograr seguridad y economía en la perforación de pozos futuros.

PROBLEMAS DE ESQUISTOS

Cuando un pozo tiene un "problema de esquistos", como lo demuestran los desmoronamientos en el cedazo o porque el agujero se llena cuando se hace un viaje o una conexión, se pueden considerar los siguientes procedimientos para mejorar las condiciones del agujero:

1. Cambio de camisas de bomba o de bombas para incrementar la velocidad en el espacio anular.

2. Conserve el agujero lleno en todo tiempo.

3. Elimine las variaciones de presión causadas por correr muy aprisa la tubería de

perforación, arrancar la bomba rápidamente y el movimiento rápido de pistón de la tubería de perforación cuando la bomba está trabajando. Los flotadores de tubería de perforación se deben descartar excepto para las condiciones más sencillas de perforación.

4. Mantenga un peso uniforme del lodo, pérdida de agua y propiedades del fluido en todo el sistema.

5. Controle el peso en la barrena y diseñe la sarta de perforación de modo que se reduzca la flexión del tubo, que puede golpetear el esquisto de la pared del agujero.

6. Aumente la viscosidad para acarrear mejor los recortes hacia afuera si las bombas son inadecuadas.

7. Disminuya la pérdida de agua del lodo para disminuir los derrumbes.

8. Aumente el peso del lodo para estabilizar mejor el agujero.

9. Baje la fuerza de gelatinosidad del lodo para disminuir el derrumbe del esquisto que se jala al agujero por la acción de achique.

10. Cambie lodo de emulsión de aceite.

11. Cambie a un lodo inhibitorio o a un lodo a base de aceite para reducir al mínimo la hinchazón del esquisto.

Incremento de la Velocidad en el Espacio Anular.— Este es un problema que se resuelve mejor en la etapa de planeamiento, antes de que se inicie un pozo. El tamaño del agujero, la tubería de perforación y la capacidad de la bomba se conocen con anticipación y su relación con el problema que se espera vale la pena considerarla. Sin embargo, una condición de esquisto puede corregirse algunas veces con un simple cambio de camisas de la bomba para aumentar la velocidad de elevación.

Incremento de Viscosidad.— Mucha de la perforación en tiempos pasados se hacía con lodos muy espesos y, como no se medía la viscosidad, se describían como "espesos". En los años más recientes, se han usado lodos delgados y un lodo "de contratista" o "para hacer agujero", es uno que sencillamente hace rizos en la presa. En muchos pozos donde se usan equipos ligeros con bombas pequeñas, un incremento en la viscosidad de embudo algunas veces en los límites de 60 a 100 segundos ha dejado libre el agujero debido a mejor arrastre de los recortes. Hay áreas diseminadas en el mundo en las que la gente de los pozos insiste en que las viscosidades entre los límites de 90 a 150 segundos son necesarias para manejar una mala sección de esquisto. Nada es más provechoso que el éxito y ocasionalmente esos lodos pueden ser una necesidad para la perforación afortunada, pero no se entiende bien la necesidad de esas viscosidades. Los reportes ordinarios de esos territorios antiguos de altas viscosidades, como Venezuela y el sur de Oklahoma, indican que ahora se logran perforaciones más rápidas sin problemas con bombas más grandes y lodos de baja viscosidad, baja fuerza de gelatinosidad y emulsión de aceite.

Baje la Pérdida de Agua e Incremente el Peso.— Estos dos cambios o mejoras de las propiedades del lodo, generalmente, se consideran juntas. El probador de formación de pared se empezó a usar mucho en 1938. Poco después, se comprobó que bajando la pérdida

REGISTRO DIARIO DE LODO

OPERACIONES, PROPIEDADES DEL LODO Y ADICIONES AL LODO

POZO____, CAMPO____, EQUIPO____

FECHA 1954	PROFUNDIDAD	OPERACION	PROPIEDADES DEL LODO API							
			PESO LB/GAL.	VISC. SEG.	PERD. AGUA CC.	VISC. OPE.	GEL. INIC.	GEL. A 10 MIN.	pH	Cl PPM
11/27	9833	DRLG. 6 1/2" Agujero	17.0	86	2.6	97	0	0	12	1200
11/28	9910	DRLG. 6 1/2" Agujero	17.0	88	2.5	87	0	0	12	1200
11/29	9947	DRLG. 6 1/2" Agujero	17.0	83	3.0	85	0	0	12	1100
11/30	9954	DRLG. 6 1/2" Agujero	17.0	88	3.0	97	0	0	12	1200
12/1	10018	DRLG. 6 1/2" Agujero	17.0	88	2.4	95	0	0	12	1200
12/2	10220	DRLG. 6 1/2" Agujero	17.0	82	2.5	96	0	0	12.5	1050

PROPIEDADES DEL LODO API				MATERIALES PARA LODO AGREGADOS								
ALCALINIDAD DE FILTRADO	LODO	CAL CHANEY	CONT. ACEITE	BARITA Sx	BENT. Sx	ARCILLA Sx	ALMIDON LB.	CAUSTICA LB.	QUEB. LB.	LIGNITA LB.	CAL LB.	ACEITE GAL.
9.5	26.0	5.2	10.0	22	–	–	50	300	50	300	750	–
9.0	26.5	5.4	–	–	–	–	–	225	100	200	600	20
8.5	27.5	5.7	10.0	22	–	–	200	425	50	200	600	20
8.5	27.0	5.6	–	150	–	–	200	250	700	–	600	–
9.5	32.5	6.9	9.5	25	–	–	350	200	650	–	1300	20

Fig. 16.– Ejemplo de registro diario de lodo para lodo de emulsión yesosa

de agua de los límites de 18 a 8 cc. a los límites de 6 a 4 cc. y aumentando el peso del lodo de cerca de 10 lb/gal. a unas 11.5 lb/gal. era benéfico para controlar los "derrumbes de esquisto" que eran problemas en muchos campos de la costa del Golfo.

El efecto de los lodos de baja pérdida de agua sobre los esquistos no se comprende muy bien. Los esquistos son prácticamente impermeables, y por lo tanto, no se forma en ellos la torta de filtro. Sin embargo, su superficie se humedece con el lodo y la experiencia general con los esquistos es que un lodo con baja pérdida de agua es útil para controlar el derrumbe de los esquistos. Otro factor es el tiempo; el proceso lento de la perforación por lo general, aumenta los problemas de los esquistos. Muchas superficies humedecidas de esquisto son algo pegajosas y frecuentemente, bolas pegajosas de recortes se acumulan en porciones excedidas de calibre del agujero. El éxito de lodos de emulsión de aceite para mejorar las condiciones del agujero, parece atribuirse a: una disminución en lo pegajoso del esquisto, una tendencia disminuida de los recortes de esquisto a aglomerarse en masas en la barrena y los lastrabarrenas y en lugares ampliados del agujero.

Aunque siempre se ha considerado como buena práctica incrementar el peso del lodo con objeto de evitar que el esquisto se caiga, aumentar a más de 11.5 lb/gal. el peso del lodo para curar un problema de esquisto, parece un procedimiento dudoso. Hay pozos con problemas de esquisto en los que el peso del lodo se aumentó por etapas cada 10 días. El esquisto dejaba de derrumbarse por unos días después de cada incremento y luego volvía a aparecer. En algunos de esos pozos, parece que las fisuras y uniones en el esquisto se cargaban con lodo a la presión hidrostática total, un proceso que llevaba algunos días. Luego, cuando se sacaba la tubería, la acción de achique jalaba hacia adentro el fluido cargado, causando que los esquistos sumamente inclinados y fracturados se derrumbaran.

Cambio a Lodo de Emulsión de Aceite.— El empleo de lodos de emulsión, es generalmente la mejor respuesta a los "problemas de esquisto" después de que se han visto todas las consideraciones mecánicas. Estos lodos proporcionan velocidad de perforación incrementadas debido a las condiciones del agujero prácticamente en cualquier territorio.

Cambio a un Sistema de Lodo Inhibitorio.— El filtrado de un lodo inhibitorio, como el control de esquistos, el yeso y el lodo de lignosulfonato de cromo, tiende a reducir los problemas de esquistos. La hinchazón reducida de los esquistos con menos derrumbes da por resultado un agujero de calibre más uniforme.

PERDIDA DE CIRCULACION

La pérdida de circulación se define como la pérdida de cantidades de lodo completo en la formación; la evidencia de la pérdida es la falta parcial o total de retorno del lodo. Cuando las bombas se paran, el agujero puede quedar lleno o el nivel del fluido puede bajar hasta que se equilibra la presión hidrostática de los fluidos en la formación expuesta.

Las pérdidas de "escape" de lodo no se consideran como "pérdida de circulación". Esas pérdidas pueden llegar a varios barriles por hora y son comunes en el tipo de perforación en el interior de Estados Unidos, en donde se usan lodos de muy bajos sólidos o agua. La pérdida de escape de esos fluidos de perforación en capas permeables puede reducirse con éxito con aditivos como la mica, cuero, fibras o celofán.

Repetidos trabajos experimentales, que comenzaron desde 1919, han demostrado que el lodo total no se puede forzar dentro de una arena sin fracturarla. Una grava con permeabi-

lidad de cerca de 300 darcys es necesaria para que un lodo pueda forzarse dentro y a través de los espacios intergranulares. Por supuesto, el lodo no se puede forzar dentro de rocas impermeables no fracturadas como esquistos, calizas de baja permeabilidad, etc. Hay casos innumerables de pérdida de circulación en pozos en los que no se expusieron capas de grava o cavernosas en el agujero abierto, y es claro que en estos casos el lodo se perdió en zonas de fallas o fracturas. Las formaciones en las que se puede perder el lodo completo, se pueden dividir como sigue:

1. Formaciones cavernosas y de fisuras abiertas. Las aberturas varían desde cavernas hasta bolsas de la Clase 2 y de fisuras abiertas en rocas duras hasta las zonas más apretadas de la Clase 3.

2. Formaciones toscamente permeables, como gravas, filones o calizas abolsadas, etc.

3. Formaciones o zonas con fallas, unidas y con fisuras.

   a. Las que tienen fisuras que ocurren naturalmente.

   b. Aquéllas en las que las fisuras son inducidas o abiertas por la presión ejercida por la columna de lodo.

Resumiendo, para que ocurra una pérdida de circulación, deben existir aberturas en la formación para aceptar el lodo y una presión excesiva para forzarlo dentro de la formación.

Algunos pozos tienen trabajos de cementación malos en la tubería superficial o en tubería de ademe protectora y el cemento se ha canalizado en el espacio anular entre el agujero y la tubería de ademe. Hay registros de pozos en los que la cementación de la tubería de ademe alivió la pérdida de circulación. Esta es una de las razones por las que se recomienda la técnica de cementación con el uso de raspadores, centradores y movimiento alternativo en muchas áreas para tubería de superficie, así como las sartas de protección y producción.

RESUMEN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA PERDIDA DE CIRCULACION

1. Corrección de prácticas de perforación, equipo o propiedades del lodo; todos esos pasos están dirigidos a bajar la presión en las formaciones.

2. Corrección de la pérdida por "periodos de espera" —sacando la tubería de perforación hasta dentro de la tubería de ademe y dejando reposar el pozo sin circulación hasta que la formación se ajuste a las nuevas condiciones de presión.

3. Colocación de un tapón suave (lodo espesado con materiales a granel) en la zona de la pérdida. Hay una tendencia a no circular estos materiales y hacia la práctica de localizarlos en lotes como tapones.

4. Colocación de un tapón con partículas de puenteo (lodo cargado con partículas para puentear) en la zona de pérdida.

5. Adopción de un método de perforación especial como la "perforación ciega", perforación a presión con la formación fluyendo o perforando con aire.

PERDIDAS EN FORMACIONES TOSCAMENTE PERMEABLES

Se han efectuado experimentos en capas de grava que prueban que los materiales que se encuentran en el comercio para la pérdida de circulación se extenderán a través y dentro de las aberturas en la grava, en calizas toscamente permeables o formaciones finamente agrietadas y que se acumulará una torta de lodo en la cubierta. Si se encuentran condiciones en los pozos como las de los experimentos, se puede así recuperar la circulación, pero en muchos casos el comportamiento de estos materiales es decepcionante.

Los materiales para la pérdida de circulación, pueden clasificarse como voluminosos, fibrosos o escamosos del tipo de relleno o como materiales granulados del tipo de puenteo:

1. Fibras de plantas como vainas de algodón, cápsulas de algodón, bagazo de caña de azúcar, tallos de lino, aserrín, fibras de madera, fibras de corteza.

2. Celofán y escamas de corcho.

3. Mica y escamas de vermiculita.

4. Materiales granulados como plástico molido o cáscaras de nuez molidas.

La mayoría de estos materiales se distribuyen profusamente en los campos petroleros.

Se debe establecer claramente que ninguno de estos materiales es "bueno" para un lodo de perforación. Su presencia aumenta la viscosidad, la fuerza de gelatinosidad, el espesor de la torta de filtro y la tendencia a aglutinarse. Con lodos ligeros como agua los incrementos pueden no ser de importancia, pero los incrementos de presión de fondo del agujero acompañan su uso con lodos de altos sólidos. Algunas veces el material separado en el cedazo se recoge y se guarda para volverlo a usar. La experiencia de laboratorio y en los pozos, muestra que una mezcla de dos o tres de estos materiales es más probable que bloquee los poros que uno solo.

Hay un procedimiento que se recomienda ampliamente para el uso de estos materiales para pérdida de circulación. Cuatro a doce libras de cada uno de dos o tres materiales diferentes para la pérdida de circulación por barril, se mezclan en 50 a 100 barriles de lodo en la presa de succión. Este lodo se bombea entonces dentro de la zona de dificultades. El pozo se deberá dejar reposar sin circulación durante varias horas. Luego, si no se restablece la circulación, se coloca un lote con más material para la pérdida de circulación. Puede que sea necesario repetir este procedimiento varias veces. Se pueden tener que usar concentraciones hasta de 50 lb. de material para la pérdida de circulación por barril en un lote de lodo.

En un intento para prevenir un deterioro inicial o pérdida de lodo, algunos operadores tratan previamente un sistema con 2 a 12 lb. de material a granel por barril de lodo antes de alcanzar una zona de posible pérdida de circulación. Este procedimiento puede tener algo de mérito cuando el lodo que se va a usar tiene bajos sólidos y baja viscosidad, como con el lodo de 9.3 lb/galón en el oeste de Texas. Con lodos de altos sólidos, como los que se usan en la costa del Golfo, el tratamiento previo aumenta la presión de bombeo del fondo del agujero (por el incremento de viscosidad, espesor de la torta y tendencia a aglutinarse) y es más probable que cause una falla más que prevenirla.

PERDIDAS EN FORMACIONES CON FALLAS, EMPALMES O AGRIETADAS

Parece que la corteza de la tierra en muchos campos petroleros y en campos de exploración petrolera está fallada, empalmada y agrietada. Esos sistemas de grietas no tomarán lodo a menos que se exceda una presión hidrostática crítica. En la mayoría de los pozos perforados, cualquiera que sea la profundidad a la que se coloque la tubería de ademe, el lodo se puede bombear a la formación a bajas presiones si los preventores de reventones están cerrados. Cuando se corre un registro durante una pérdida de retorno, la zona que toma el lodo se encontrará que está bastante cerca de la zapata de la tubería de ademe. Se ha perdido la circulación con lodos que pesan de 8.5 a 18 lb/galón. Una revisión de las operaciones de cementación a presión y de fracturación demostró que la formación se deterioró con gradientes de presión iguales a los de los lodos que pesan entre 10.5 y 22.0 lb/galón.

Mucha gente de perforación de pozos, está familiarizada con la regla general para los pozos del norte de Texas de que "con lodo de 9.3 lb/galón, el agua salada entra al agujero y con lodo de 9.7 lb/galón se pierde totalmente la circulación". Se recuerda una aseveración similar para un pozo en Lovell's Lake, en la costa del Golfo, en donde, "con un lodo de 17.5 lb/galón los indicios de gas achicado eran tan notorios, que amenazaba un reventón y con lodo de 17.6 lb/galón se perdió la circulación". En ambos casos, el problema de pérdida de circulación debió haberse manejado atendiendo al lodo y a las prácticas de perforación para que no se excediera la presión crítica, más bien que empleando materiales para la pérdida de circulación en un intento de reforzar la formación.

También se acepta ordinariamente que entre más profunda se coloque una sarta de superficie o una protectora de tubería de ademe, más alto será el peso del lodo que se puede tener sin pérdida de circulación. Para pozos situados en estructuras asentadas profundamente en la costa del Golfo y con tubería de ademe superficial de 1,500 a 3,000 pies, por lo general no se puede circular lodo de más de 14.5 lb/galón en pozos profundos a menos que se coloque una sarta protectora a 9,000 pies o más profunda. Generalmente, la colocación de una sarta de esas permite la circulación de lodo de 16.0 a 18.0 lb/galón si se requiere. Hay excepciones a ésto, y la profundidad correcta para colocar esta sarta, deberá determinarse mediante un cuidadoso estudio de la estructura y de los registros de otras pruebas de profundidad en la vecindad.

BALANCE DE LA PRESION DE DETERIORO, PRESION DEL POZO Y VARIACIONES DE PRESION

Como se estudiará, muchos casos de pérdida de circulación no se pueden corregir con las técnicas actuales y se debe usar un método de perforación que permita colocar tubería de ademe a través de la zona problema. Se cree que la mayoría de otras ocurrencias de pérdida de circulación se deberán manejar disminuyendo los pesos de los lodos al mínimo consistente con la seguridad, cambiando las condiciones mecánicas como incrementando los espacios libres de las herramientas o cambiando a lodo de emulsión de aceite para disminuir el aglutinamiento y el empaque.

Además de la presión aumentada en el fondo del agujero debido al espacio libre pequeño del hoyo, el aglutinamiento, las malas propiedades del lodo, etc., el manejo de la tubería de perforación y de la bomba, pueden contribuir a variaciones de presión que causen pérdidas de lodo. En los territorios de lodo de poco peso, se observa con frecuencia que la

circulación es normal hasta un cierto viaje redondo, y con una barrena nueva en el fondo, no se obtienen los retornos. Con lodos de alto peso, se ha observado que la perforación inicial de tubería causa pérdidas. Estos cambios de presión y las variaciones se han medido con registradores de presión en el fondo del agujero que se han corrido con la tubería de perforación.

Algunas veces, se ha encontrado en determinados pozos un incremento de unos cuantos décimos de libra por galón en el peso del lodo, causará la pérdida del lodo. Por esa razón, es útil interpretar esas variaciones en términos de incremento equivalente en la densidad del lodo. Algunas variaciones de presión medidas mientras se está corriendo tubería de perforación a velocidades normales (cerca de 15 segundos por parada), son: 450 lb/pulg^2 a 7,500 pies, lo que es equivalente a un incremento momentáneo en el peso del lodo de 1.1 lb/galón; 650 lb/pulg^2 a 10,000 pies, lo que equivale a un incremento de 1.2 lb/galón. Cuando la velocidad de dejar caer la tubería se redujo a cerca de 40 segundos por parada, las variaciones eran menores de 100 lb/pulg^2. El correr una barrena taponada en el agujero incrementa grandemente la cantidad de la variación.

El efecto de iniciar la perforación mientras la bomba está corriendo también es importante. Por ejemplo, una variación de 750 lb/pulg^2 se midió a 7,500 pies y esto es igual a un incremento momentáneo del peso del lodo de 1.9 lb/gal.

Se midió el efecto de abrir rápidamente la bomba para iniciar la circulación. A 8,000 pies se registró una variación de 300 lb/pulg^2. Esta disminuyó a 150 lb/pulg^2 tan pronto como se estableció la circulación y después de 15 minutos de bombear disminuyó a 50 lb/pulg^2; la última disminución aparentemente fue causada al romperse la gelatinosidad del lodo. Cuando las bombas se arrancaron lentamente, la presión inicial fue de 150 lb/pulg^2; por lo tanto, la variación innecesaria fue de 150 lb/pulg^2, que actúa momentáneamente igual a un incremento en el peso del lodo de 0.36 lb/galón.

TAPONANDO GRIETAS

Parece claro que un sistema de grietas debe taponarse dentro de las fisuras y no cubriendo con material sobre toda la superficie como se puede hacer en la cara de la grava. Se pueden usar los siguientes materiales y métodos para taponar grietas.

1. Tapones suaves.— Esta técnica se usa ampliamente para combatir la pérdida de circulación. Mientras que los materiales y el tiempo del equipo son costosos, hay poco peligro de pegar la tubería de perforación o perder el agujero.

    a. El lodo espeso de alta gelatinosidad puede mezclarse y desplazarse dentro de las grietas para taparlas. Se han bombeado hasta 20,000 sacos de arcilla en un pozo combatiendo la pérdida del retorno.

    b. Se pueden desplazar dentro de las grietas lodos espesados con cantidades de materiales fibrosos o de escamas para la pérdida de circulación previamente enlistados. Esos tapones generalmente, requieren menos lodo y son más fuertes que los del inciso anterior.

    c. Se pueden desplazar dentro de las grietas cantidades relativamente pequeñas de material espeso gelatinoso, como la base asfáltica de un lodo a base de aceite. Un material de ésos se endurece con viscosidades extremas al

mezclarse con agua. El procedimiento usual es desplazar un lote de 5 a 20 barriles del material dentro de las grietas; el agua para espesar se recoge del lodo en las grietas.

2. Tapones duros.— Tapones de gel y cemento o arcilla gelatinosa, son particularmente útiles cuando una sola grieta o zona de corte está tomando el lodo. La localización de la zona de la dificultad no siempre se conoce y hay también la posibilidad de que el cemento se salga en algún otro lugar del agujero, por lo que el uso de estos tapones tiene los riesgos de pegar la tubería de perforación o de perder el agujero desviándose al perforar el tapón. Algunas veces se hace el intento de meter a presión esos tapones cuando están en su lugar. Generalmente, se harán intentos para localizar la zona de dificultades con registros giroscópicos, de temperatura, transductor de presión u otros registros especiales antes de cementar.

   a. El cemento gelatinoso que es cemento Portland mezclado con 4 a 15% en peso de bentonita de Wyoming, tiene alta viscosidad y ángulo de reposo, además de baja densidad o peso. El alto porcentaje de bentonita disminuye la fuerza de fraguado y disminuye la posibilidad de perder el agujero por desviarse. Se requiere generalmente, una adición a la mezcla de lignosulfonato para la fluidez apropiada. Antes de ejecutar ese trabajo, se deberán consultar personas con experiencia con objeto de seleccionar las proporciones correctas de cemento, bentonita, agente dispersor, etc.

   b. Si se manejan con cuidado, el yeso y los cementos de fraguado rápido, como el Calseal, se pueden mezclar y desplazar en las grietas. En este caso, también los expertos deben analizar las condiciones antes de intentar hacer el trabajo.

   c. Otras mezclas como la bentonita con aceite diesel, cemento y arcilla de fraguado lento y arcilla de silicato de sodio, se endurecerán en la zona de grietas para formar tapones y se pueden clasificar como tapones duros. Aunque no son tan duros como el cemento gelatinoso o los tapones de yeso, estos materiales, cuando se colocan correctamente, producen gelatinosidades extremadamente altas que pueden ser efectivas para taponar fisuras. Nuevamente aquí, se requieren técnicas especiales para la colocación correcta y se debe obtener recomendación de un experto.

   d. La barita—atapulgita inyectada a presión, se ha usado con buenos resultados para sellar fracturas inducidas. La arcilla atapulgita se usa porque suspenderá la barita y los materiales para la pérdida de circulación hasta que se pueden situar en la zona de pérdida. Como resultado de la alta relación de filtración de este tipo de arcilla, el agua se disipa en la formación, dejando un tapón bien empacado de considerable fuerza en la fractura.

3. Tapones puente (o cegadores).— En los últimos años anteriores, los materiales granulares de baja densidad de masa han obtenido algo de éxito para combatir la pérdida de circulación. Estas partículas cuando se bombean dentro de las zonas de fisuras forman puentes sólidos sobre los cuales se deposita una torta de filtro. Estos materiales también se usan para sellar empacadores de formación que tienen escurrimientos. Algunos de estos materiales se pueden obtener en tamaños de partículas cuidadosamente tamizados. La selección apropiada de tamaños y la cantidad de cada tamaño (la variación de tamaños de partículas) no se comprende muy bien y es cuestión de experiencia en cada área donde se usa. Con todos estos

materiales, es conveniente mezclar un lodo concentrado cerca de la succión de la bomba y desplazarlo. La concentración del material que se va a usar, puede variar de 10 a 50 lb/barril de lodo, dependiendo de la bombeabilidad del lote; por lo tanto, se deberán seguir las recomendaciones del fabricante. La evidencia del éxito es, por supuesto, el restablecimiento de la circulación. Después de que se ha restablecido la circulación, algunos operadores aplican una ligera presión de inyección en el agujero en un intento de asegurar las partículas en los puentes. Ha habido casos en los que después de empezar un viaje sacando tubería esta se ha pegado. Esos casos se atribuyeron a la acción de achique que regresó los materiales para la pérdida de circulación al agujero y que formó un puente alrededor de los lastrabarrenas cuando se hizo un retroceso.

PERDIDAS EN GRIETAS QUE SON INDUCIDAS O ABIERTAS POR LA PRESION DE LA COLUMNA DE LODO

Las pérdidas que resultan por la falla de las formaciones con pesos altos de lodo, han sido particularmente difíciles cuando se perforan las formaciones de presiones anormales que se encuentran en la costa del Golfo en Texas y Louisiana. Los procedimientos que se usan para combatir esas pérdidas ordinariamente siguen los métodos estudiados en "pérdidas en formaciones con fallas, empalmes o agrietadas". Se debe enfatizar especialmente que el control de las técnicas de perforación debe evitar variaciones de presión. En algunos casos, un periodo de espera de 6 a 12 horas con el cuidadoso control subsecuente de las operaciones de perforación ha dominado la pérdida y aún permitido incrementos en el peso del lodo de 0.2 ó 0.3 lb/galón, sin la adición de materiales para taponar.

Después de que se ha perdido la circulación en un pozo y luego se ha restablecido y a medida que prosigue la perforación, las formaciones que previamente tomaron lodo, parece que se vuelven más fuertes y se pueden usar mayores pesos de lodo sin pérdida. Este refuerzo de la formación ayuda tremendamente a veces haciendo posible que se siga perforando sin más pérdidas.

PERDIDAS EN CAVERNAS O FORMACIONES CON GRIETAS ABIERTAS

En terrenos petroleros, hay muy pocas cavernas secas como la de Carlsbad, Nuevo México. Generalmente, las cavernas que se encuentran abajo de la mesa acuífera, están llenas de líquido que está a la presión normal de las condiciones geológicas existentes. Algunas veces, cuando un pozo se perfora dentro de una caverna o grieta, el lodo del agujero baja tan rápidamente que se supone que ha entrado a una zona de presión atmosférica. Esto es muy poco probable y la caída rápida la causan los vanos (alta permeabilidad) de la zona problema. El descenso del nivel del lodo puede permitir que las formaciones superiores expuestas revienten porque la columna de lodo acortada no puede controlar su presión de fluido. Algunas veces, la caída de nivel causa derrumbes de formación que pegan la tubería de perforación. En territorio en el que se ha tenido experiencia con esas condiciones, es prudente tener la succión de la bomba alta para que no se bombee hacia adentro todo el lodo inmediatamente. También es raro que la caída del nivel del lodo sea tan súbita que ocurra inmediatamente un reventón o una tubería pegada. Después de que se ha perdido la circulación, estas catástrofes pueden prevenirse por lo general, bombeando constantemente una pequeña corriente de lodo en el espacio anular. Cuando la barrena se hunde durante la perforación, generalmente, se supone que se ha encontrado una caverna, pero pueden ser

zonas fracturadas en las que una barrena se hunde con la bomba corriendo, como si fueran cavernas.

Perforación Ciega.— No hay manera de taponar provechosamente una caverna o una mina con cemento o concreto. Cuando se encuentra un tiro de mina en Illinois (Estados Unidos), se continúa perforando por "perforación ciega" que consiste en bombear agua por la tubería de perforación para enfriar la barrena y acarrear los recortes dentro de la mina. Por supuesto, que no hay retorno a la superficie. Después de que se han hecho algunos pies en la formación sólida abajo del túnel de la mina, se corre tubería de ademe y se cementa en la zapata y luego con una herramienta de etapas, se coloca para quedar precisamente arriba del tiro de la mina. Si no se tiene agua disponible para este tipo de perforación, el otro único recurso es seguir perforando y colocar la tubería de ademe con herramientas de cable. Se han usado herramientas de cable para colocar tubo conductor a través de gravas de cauce de arroyos, terrenos de acarreo glaciares, etc.

Perforando con Columna de Lodo Flotante.— Cuando hay formaciones expuestas arriba de las cavernas o grietas que podrían reventar o derrumbarse, se puede usar una columna de lodo flotante. Esto consiste en llenar el agujero para tener una presión hidrostática de lodo únicamente algo mayor que la presión del fluido en la zona de dificultades. La tapa de lodo flota en el agua de perforación que se bombea hacia abajo por la tubería de perforación y sube parcialmente por el espacio anular y entra a las cavidades llevándose los recortes. Cuando se pasa la zona porosa, se puede colocar tubería de ademe. Durante los viajes se bombea algo de lodo al espacio anular para mantener el equilibrio. Este método se ha usado en las calizas cavernosas de Saudi Arabia, el sur de Florida y otras calizas cavernosas o fracturadas cuando se perfora en zonas repartidas en todo el mundo.

Casos en la Línea Fronteriza; Cavernas, Grietas Abiertas o Bolsas.— En la caliza Devoniana de Alberta, Canadá, algunas ocurrencias de pérdida de circulación se dominan fácilmente agregando aserrín al lodo. En otros casos, grandes cantidades de material para relleno se usan sin resultado y se requieren varios tapones de cemento gelatinoso antes de restablecer la circulación. En casos raros, la colocación de hasta 100 tapones de cemento gelatinoso no ha restablecido la circulación y parece que la perforación en seco hubiera sido más provechosa.

ESTUDIO DEL PROBLEMA

Aunque el problema de pérdida de circulación se ha presentado en este estudio clasificándolo como pérdidas en tres tipos de formación, se deberá hacer hincapié en que las diferencias entre estos tipos no están bien definidas y las formaciones pueden cambiar gradualmente de un tipo a otro. Si se sospecha cierto tipo de formación, los procedimientos para ese tipo en particular pueden seguirse inicialmente; sin embargo, con frecuencia se encuentran los métodos dados para otros tipos de formación se tienen que usar antes de que se pueda restablecer la circulación. En todos los casos de pérdida de circulación, los beneficios ganados con la atención cuidadosa a todas las fases de las operaciones de perforación, deberán utilizarse para evitar las variaciones de presión.

Cuando un pozo está en la etapa de planeación y se están seleccionando los programas de tubería de ademe, de lodo, equipo, etc., se deberán considerar las posibilidades de pérdida de circulación y los procedimientos que se usen para la recuperación de la circulación en todos los pozos similares en la vecindad deberán estudiarse. Se puede entonces hacer un programa para manejar las ocurrencias de pérdida de circulación y para suministrarlo a las cuadrillas y a los supervisores de pozos con anticipación.

ALTAS TEMPERATURAS EN EL AGUJERO DEL POZO

Los gradientes geotérmicos varían considerablemente en todo el país. En general, las rocas más viejas geológicamente del interior de Estados Unidos y Canadá, están más "frías" y tienen gradientes geotérmicos más bajos, y los territorios de rocas más jóvenes de California y de las costas del Golfo en Texas y Louisiana, están más "calientes" y tienen gradientes más altos. Moses ha recopilado las observaciones para el suroeste de Estados Unidos en un mapa, Fig. 17. Este estudio reciente es comprensivo e incluye datos de perforación profunda.

En general, se ha encontrado que una elevación de temperatura de 18°F, duplica la velocidad de las reacciones químicas. Muchos componentes de los fluidos de perforación, son relativamente estables a las temperaturas de la superficie, pero reaccionan fácilmente uno con otro a las altas temperaturas que se encuentran en los pozos.

Las temperaturas elevadas que se encuentran en la perforación profunda, presentan un problema para controlar económica y satisfactoriamente las propiedades de los fluidos de perforación. Los lodos tratados con fosfato son de uso limitado a profundidades en las cuales se encuentren temperaturas de 175°F o menos. El desarrollo de los lodos tratados con cal, extendió los límites de temperatura a 250°F, además de proporcionar otras propiedades convenientes estudiadas antes. Por estas razones, un lodo tratado con cal todavía lo consideran algunos operadores como el mejor lodo de agua dulce para perforación moderadamente profunda. Cuando se encuentran temperaturas superiores a 250°F, este tipo de lodo puede también ser difícil de controlar y en algunos casos se solidificará. El uso de separadores mecánicos para mantener sólidos de baja densidad en un mínimo, extenderá la estabilidad de este tipo de lodo a temperaturas algo más altas. Los lodos de lignosulfonato, surfactantes y de yeso con un pH de 8.5 a 9.5 y los lodos de aceite, son menos susceptibles al problema de las altas temperaturas y por lo tanto, se deben considerar cuando se van a encontrar temperaturas de más de 275°F.

Debido a que las altas temperaturas aceleran el espesamiento de muchos tipos de lodos de perforación, retardar esta acción de espesamiento es un problema vital en la perforación actual. Los lodos altamente viscosos, cualquiera que sea la causa de que se espesen, interfieren con muchas operaciones de perforación. Los instrumentos para registros y las pistolas para hacer perforaciones, pueden no llegar al fondo y se perderá tiempo acondicionando el lodo para lo que se hace un viaje. Después de cambiar la barrena, puede que sea necesario parar y acondicionar el lodo a varios intervalos antes de llegar al fondo. Las herramientas de pruebas de formación pueden pegarse por el lodo gelatinizado o solidificado antes de completar la prueba. En reparaciones de pozos, se pueden requerir costosas operaciones de lavado para recuperar la tubería de producción y el empacador, si se dejan lodos de alto peso detrás de la tubería de producción para la terminación. La magnitud de la interferencia con las operaciones de perforación causada por los lodos muy gelatinizados o solidificados, depende del tipo de lodo que se use, el tratamiento y la temperatura.

El lodo tratado incorrectamente, el derrumbe del agujero, la contaminación del lodo y el asentamiento del material para dar peso, también pueden causar una o más de las dificultades anteriores. Un conocimiento de las temperaturas del hoyo del pozo obtenido de registros eléctricos en el pozo que se esté perforando o de los pozos cercanos ayudará a distinguir entre el calor y otras causas posibles de las dificultades en el agujero.

Hay otros dos auxiliares para reconocer el problema de las altas temperaturas: una alta temperatura de flujo en la línea y pruebas de calor en el lodo de que se trate.

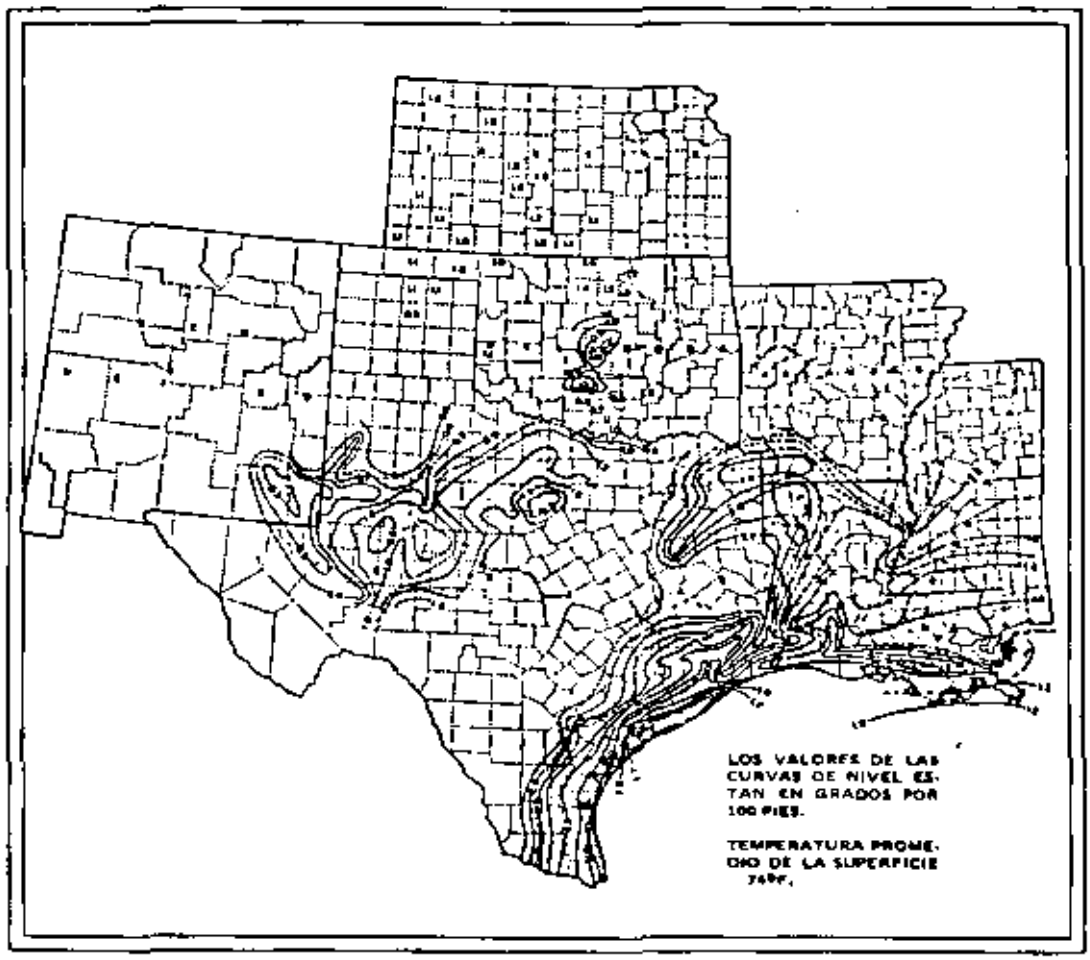


Fig. 17.— Mapa de curvas de nivel de gradientes geotérmicos en el suroeste de Estados Unidos. (De "gradientes geotérmicos" por P.L. Moses. Publicación API No. 926–6–K, Marzo 1961).

PRESIONES ANORMALES DE FLUIDO DE FORMACION

Las ocurrencias de presiones anormalmente altas de fluidos de formación, han recibido mucha atención en la literatura, pero no son un fenómeno más notable que las presiones anormalmente bajas de los fluidos de la formación y éstos apenas se han mencionado. Una presión normal de fluido de la formación, se define aproximadamente como una que iguala a la de una columna de agua dulce o salada que se extiende hasta la superficie, es decir, aquéllas que tienen un gradiente de presión de 43.3 a más de 46.5 lb/pulg^2 por cada 100 pies. Esta no se deberá tomar en firme y la definición que se debe tener en mente se dará más adelante. En las planicies canadienses, los gradientes de presión son generalmente subnormales y varían de 24 a 40 lb/pulg^2 por cada 100 pies. También se hace referencia en este volumen a otras ocurrencias de presiones subnormales en el medio–continente y en el oeste de Texas.

Mientras que el asunto no está bien tratado en la literatura, un pensamiento muy convencional es que los yacimientos de aceite y gas, además de aquéllos de forma lenticular, son partes de mantos de arena que tienen continuidad con afloramientos a elevaciones más altas y más bajas y que la distancia vertical hasta el afloramiento, debe tenerse en cuenta al describir un yacimiento de presión normal o anormal. Este no es el caso con la mayoría de los yacimientos de presión anormalmente alta, que generalmente se concede que son cerrados y del tipo de agotamiento. Se ha sugerido que muchos de los yacimientos de presión anormalmente baja, también se encontrará que son del tipo cerrado, es decir, que no tienen conexión con un afloramiento.

Las presiones subnormales parece que pertenecen a áreas geológicas que tienen rocas más viejas y menos actividad tectónica y están reducidas al interior de Estados Unidos y el Canadá. Las presiones anormalmente altas, parece que están restringidas a las áreas de rocas terciarias y con pronunciada actividad estructural, especialmente las fallas normales y se encuentran en las áreas costeras de California, Texas, Louisiana y Trinidad en las Indias Británicas Occidentales. Las únicas presiones anormalmente altas verificadas que se recuerdan en el interior de Estados Unidos, son aquéllas en las profundidades de la cuenca de Anadarko de Oklahoma y en la cuenca de Michigan.

Estos fenómenos son extraordinarios, porque se espera que debiera existir suficiente permeabilidad vertical por las fallas, grietas y empalmes o que se desarrolle durante la edad geológica para que los fluidos de la formación debajo de la mesa acuífera se ajustaran en presión a un gradiente común. Parece que en base mundial la ocurrencia de presiones anormales es una rareza y las presiones normales son una regla general.

El término "presión normal" no tiene significado, excepto en relación con yacimientos subsuperficiales. Un "yacimiento de presión normal" se define como uno que tiene una presión de fluidos, medida o calculada en la superficie de contacto agua–aceite o agua–gas, que es igual a la de una columna de agua de la formación que se extiende desde la superficie. Inherente a ésto, está la analogía con el tubo en U y el hecho de que el gradiente de presión dentro de una zona de aceite o gas, que se extiende desde el punto de contacto con el agua a la cresta de la zona, es substancialmente más inclinado que en el brazo que contiene el agua.

Esto significa que un lodo de 9 lb/galón puede balancear la presión del fluido de la formación en un pozo que se perfore cerca del contacto agua–aceite en una estructura de la costa del Golfo y un lodo de 10 lb/galón proveería suficiente sobrecarga para el control mientras se perfora esa zona. Sin embargo, si la estructura tuviera 600 pies de alivio productivo, como tiene Conroe en la costa del Golfo de Texas, y el pozo estuviera localizado

en la cresta estructural, entonces un lodo de 10 lb/galón equilibraría la presión del fluido de la formación y se requeriría un lodo de 11 lb/galón para la perforación segura de la zona. Generalmente, sin embargo, las estructuras de la costa del Golfo tienen columnas de aceite y/o gas más cortas que las que tiene Conroe.

Aun con estos conocimientos, todavía queda el deseo de una definición de presión anormal como una "presión de fluido que requiere un lodo arriba de cierto peso para perforarla". El subcomité que preparó el Boletín D–5 de A.P.I. decidió, para sus propósitos, que los pozos de presiones anormalmente altas, son aquellos que requieren un peso de lodo para perforarlos de 12 lb/galón o mayor.

Las aguas de formación difieren en muchas provincias geológicas. En la costa del Golfo, un trazo de las presiones originales en muchos campos productivos, en los contactos agua–aceite, contra la profundidad, muestra que las presiones quedan cerca de una línea recta que pasa por el origen y que tiene un declive de 46.5 lb/pulg^2 por cada 100 pies. Este es el gradiente de una columna de agua salada que tenga 80.000 ppm. de sólidos totales. En otras áreas, por ejemplo en las Montañas Rocallosas, las aguas de formación son prácticamente dulces y se usa un gradiente de 43.3 lb/pulg^2 por cada 100 pies.

En relación con la presión del fluido de la formación máxima que se puede encontrar, parece que el peso de la sobrecarga, que tiene un gradiente muy aproximado a 100 lb/pulg^2. por 100 pies de profundidad, es el límite superior. El conjunto de datos de pozos acumulados en el Boletín D–5 de A.P.I. indica que la presión máxima encontrada hasta ahora en la costa del Golfo, tuvo un gradiente de 90 lb/pulg^2 por 100 pies o posiblemente menor. Un lodo de 17.2 lb/galón equilibraría esa presión y un lodo de 18 lb/galón contrarrestaría apropiadamente para controlarla mientras se perfora.

Las presiones anormales crean problemas de perforación. Las áreas de presiones subnormales, tienen problemas marcados de pérdida de circulación y éstos se estudian en varias secciones de este volumen. Las presiones anormalmente altas, son responsables de muchas dificultades y perforación costosa y estos problemas se estudian en la siguiente sección.

REVENTONES Y LA PERFORACION DE FORMACIONES DE ALTA PRESION

Los reventones ocurren cuando se perfora una formación que contiene un fluido a una presión superior a la presión hidrostática de la columna de lodo; el lodo entonces regresa más aprisa de lo que se bombea al agujero y esto se verá por una elevación del nivel de la presa. Los perforadores cuidadosos en territorio de altas presiones, mantienen una vigilancia constante del nivel de la presa. Está aumentando el uso de medidores de nivel de presas con registradores y alarmas destellantes localizadas cerca de la estación del perforador.

Hay tres pasos importantes que se deberán dar para prevenir cualquier tipo de reventones: primero, el posible reventón deberá reconocerse en una etapa del principio para que el lodo en el agujero sólo se emulsione ligeramente con gas–aceite o agua; segundo, deberá controlarse de inmediato; y tercero, no se debe bombear lodo de bajo peso al agujero. El primer paso para controlar el pozo, es cerrar los preventores de reventones y tomar el flujo a través de una línea de estrangulador. El pozo se deberá circular con un estrangulado o estranguladores tan grandes como sean para dar un retorno de una cantidad igual a lo que se mete. Este equilibrio es esencial si se ha de controlar el pozo correctamente.

Muchos pozos prácticamente se cierran con estranguladores muy pequeños y entonces el exceso de contrapresión deteriora la formación, causando una pérdia de lodo que agrava el reventón. La necesidad de aplicar presión de estrangulador a un pozo, da por resultado que se apliquen presiones más altas a las secciones menos profundas del agujero abierto. Por ejemplo, si un flujo que requiere un lodo de 16 lb/galón para control se encuentra a una profundidad de 13,000 pies mientras el lodo que se está usando es de 14 lb/galón, se necesitará una presión de estrangulador inicial de 1,350 lb/pulg^2 para control. Debido a que la presión del estrangulador se aplica uniformemente hacia abajo del agujero, una presión equivalente a lodo de 16.6 lb/galón se aplica a 10,000 pies. Bajo estas circunstancias, puede esperarse una pérdida de circulación si hay mucho agujero abierto.

El material para apesantar debe agregarse rápidamente, pero también juiciosamente. Por lo general, 4 a 8 sacos por minuto son apropiados al principio. Si la velocidad de mezcla aumenta a 10 o más sacos por minuto, se puede bombear hacia abajo del agujero una lechada de barita de 20 a 28 lb/galón por la tubería de perforación y casi siempre se va a la formación en lugar de regresar por el espacio anular. Se deben pesar muestras representativas del lodo que se esté bombeando al agujero a intervalos para tener la seguridad de que tiene la densidad apropiada.

En casos de emulsión de gas y contaminación del fluido de perforación con los fluidos de la formación, hay una posibilidad de que no todo el gas se desprenda del lodo en un solo paso por el sistema superficial de lodo. Si este lodo emulsionado con gas se incrementa al peso requerido para controlar la emulsión del gas, el peso del lodo continuará aumentando a medida que el gas se desprende del lodo en las circulaciones subsecuentes y es probable que resulten pérdidas del retorno. El uso de un desgasificador para ayudar a remover el gas del lodo en su primer paso por el sistema de superficie, se ha encontrado que es muy útil para evitar sobrepeso. Así, el desgasificador no solamente reduce al mínimo el peligro de perder la circulación, sino que también produce economías en la cantidad de barita requerida para controlar la emulsión del gas.

En pozos en los que únicamente se ha colocado la tubería superficial en el agujero, el ajuste del tamaño apropiado de estrangulador y la mezcla del material para dar peso, se inician tan pronto como se termina el trabajo preliminar de cerrar el pozo. Se deberá establecer una guardia en las cabezas de tubería de ademe de pozos cercanos si los hay y en la superficie del terreno alrededor del equipo. La formación de un cráter generalmente, se indica al principio por pequeños cazos que se ven en la superficie que las cuadrillas de perforación dicen que se originan en los agujeros de tuza o cangrejo. Cuando se ven esos agujeros de cazos, se deben de abrir los preventores de reventones y dejar que el pozo escape sin control con la esperanza de que se puentee alrededor de la tubería de perforación en lugar de formar un cráter y causar la pérdida del equipo.

Cuando se está perforando una zona de alta presión o cuando se está acercando a una, los perforadores por lo general, tienen órdenes de perforar solamente de 2 a 4 pies cuándo se encuentra una rotura de formación, levantar la barrena del fondo y bombear los recortes hacia arriba. Después de levantar el fondo, el perforador vigila cuidadosamente el nivel de la presa, con un medidor de nivel de presa o con una marca en la presa para asegurarse de cualquier cambio en el volumen del lodo; un incremento del volumen indica un flujo de gas, de aceite o de agua. Un posible reventón puede, generalmente, reconocerse por una observación de 5 a 20 minutos. Si no se indica ningún reventón, se puede proseguir con la perforación. Algunos consideran buena práctica observar el retorno en cada rotura de formación antes de seguir perforando.

Los riesgos de reventones casi siempre se pueden evitar con la atención apropiada a las prácticas de lodo y de perforación. El peso del lodo, debe ser lo bastante alto para contrarrestar presiones anticipadas, pero si es demasiado alto, puede causar pérdida de circulación. Una reducción de la altura hidrostática debida a la pérdida de circulación, puede a su vez causar o conducir a un reventón. El peso del lodo debe verificarse a intervalos frecuentes, tanto en la succión como en la línea de flujo. Cualquier cambio indebido en el peso del lodo, se deberá remediar de inmediato. Si el peso del lodo es crítico y se va a agregar aceite al lodo, se debe agregar barita para compensar la reducción de peso. Si se agrega barita muy aprisa, se puede causar la pérdida de circulación y la subsecuente pérdida de altura hidrostática. El lodo se debe mantener en buenas condiciones todo el tiempo para evitar cambios indebidos en las propiedades de flujo debidas a contaminación. También si el lodo está en buen estado, hay menos oportunidad de que entre agua salada o gas por achique, y cualquier gas atrapado en el lodo puede escapar fácilmente.

ACHIQUE O REDUCCION DE PRESION POR EL RETIRO DE LA TUBERIA DE PERFORACION

La evidencia común, ampliamente reconocida del achique, es el "gas de viaje" el indicio de gas en la línea de flujo que ocurre durante unos minutos precisamente después de un viaje cuando el retorno llega del fondo a la superficie.

Se recordará que la mayoría de los reventones ocurren cuando en la perforación rotatoria se está sacando la tubería del agujero. Esto indica que la reducción de la presión de lodo en el fondo del agujero mientras se hace un viaje, es algunas veces suficientemente grande para disipar el equilibrio ligeramente excedido del peso de la columna de lodo sobre la presión del fluido de formación. Con objeto de determinar la magnitud real de esas reducciones de presión, un operador de la costa del Golfo colocó un manómetro para presión de fondo de agujero en el fondo de varios agujeros con tubería de ademe en los que se metió y sacó la tubería de perforación. Se hace hincapié en que las reducciones de presión observadas, se debieron totalmente al retiro de una sarta de perforación limpia. Esto no se debe confundir con los otros conceptos de "achicar" que incluye sacar fluido de un agujero con un achicador de producción, una barrena con esquistos aglutinados o un empacador de probador de formación que trabaje como achicador. El achique resulta por la adhesión de las partículas del lodo cuando está en reposo, en una forma elástica o tixiotrópica, unas o otras, a la pared del agujero y a la tubería de perforación. La Tabla IX explica claramente que la fuerza de gelatinosidad del lodo, la cantidad de tubería de perforación en el agujero y el espacio libre entre la tubería de perforación y la de ademe o la pared del agujero, son factores principales que gobiernan la magnitud de las reducciones de presión.

Se notará que con una tubería de perforación de 3–1/2" en una tubería de ademe de 7", una reducción de fuerza de gelatinosidad de 60 a 36 unidades disminuyó el achique sólo ligeramente, pero que reduciendo la gelatinosidad a 6 unidades, dio una reducción muy real de la caída de presión. Con una tubería de perforación de 4–1/2" dentro de una tubería de ademe de 10–3/4", que es el espacio libre común para perforar las formaciones de menos profundidad, un lodo de 36 unidades de fuerza de gelatinosidad dio una reducción de presión de 100 lb/pulg^2 a 2,500 pies y un lodo de 12 unidades de gelatinosidad dio solamente una reducción de 52 lb/pulg^2 a esa profundidad.

La viscosidad y la fuerza de gelatinosidad, son propiedades del lodo que están relacionadas, pero en una forma general, las viscosidades altas de embudo indican fuerzas de gelatinosidad altas, y generalmente, "baja viscosidad significa fuerza de gelatinosidad baja".

Los datos de prueba también demuestran que el achique aumenta rápidamente con la disminución de los espacios libres. Un desequilibrio de la presión de la columna de lodo sobre la presión del fluido de la formación de 200 a 600 lb/pulg^2, se puede usar con una tubería de perforación de 4–1/2" en un agujero de 8–5/8" comparado con las 800 a 1,400 lb/pulg^2 de desequilibrio que se requieren con tubería de perforación de 3–1/2" en agujero de 6–1/2". Se recuerdan algunos pozos de la costa del Golfo, en los que se colocó tubería de ademe de 5–1/2" en una zona de alta presión y los indicios de achique fueron entonces tan grandes, que hicieron imposible que se siguiera perforando.

Otros puntos fueron estudiados por Cannon como el efecto del peso del lodo, efecto de velocidad de retiro de tubería de perforación, efecto del drenaje de la tubería de perforación, efecto de un lastrabarrenas de tamaño excedido y el efecto de la distancia a que se movía la tubería de perforación. Todos éstos tenían muy poco o ningún efecto en las reducciones de presión.

Las reducciones de presión por achique, pueden causar los derrumbes de esquistos dentro del agujero; este es un problema especialmente en formaciones marcadamente inclinadas fracturadas.

PRUEBA DE ACHIQUE O VIAJE CORTO

Después de encontrar y controlar altas presiones de fluidos de formación, nunca se sabe si el exceso de presión hidrostática del equilibrio de la presión del fluido de la formación de nuevas zonas perforadas, es lo suficientemente grande para permitir un viaje redondo seguro. Es una buena práctica por lo tanto, hacer una prueba de achique o "viaje corto" antes de intentar el siguiente viaje redondo. Este consiste en sacar 2,000 a 3,000 pies de tubería de perforación del agujero, luego volvería a meter al fondo y bombear los retornos. Si hay indicio pequeño de achique o si no lo hay, entonces se puede hacer con seguridad un viaje redondo completo. Si el retorno del fondo del lodo está emulsionado con gas durante un periodo muy largo, se deberá aumentar el peso del lodo y hacer otra prueba de achique antes de que se intente un viaje redondo completo.

LLENANDO EL AGUJERO MIENTRAS SE SACA LA TUBERIA DE PERFORACION

Las reducciones de presión hidrostática del lodo al sacar una sarta seca de tubería de perforación, se pueden demostrar con un ejemplo. Cuando una parada de 90 pies de tubería de 4–1/2" y 16.6 lb. se saca seca de una tubería de ademe superficial de 10–3/4", y 40.5 lb., el fluido en la tubería de ademe (adentro y afuera de la tubería de perforación) baja 6.28 pies. Al sacar 12 paradas secas (una hilera) sin llenar, bajará el fluido 75.36 pies y con un lodo de 10 lb/galón causa una reducción de presión de 39 lb/pulg^2. Cuando una parada de 90 pies de tubería de perforación de 3–1/2", 13.3 lb. se saca seca del interior de una tubería de ademe de 7" y 29.0 lb., el fluido en la tubería de ademe baja 13.85 pies. Cuando se sacan 14 paradas secas (una hilera) sin llenar el fluido bajará 193.9 pies y con un lodo de 10 lb/galón causará una reducción de presión de 101 lb/pulg^2.

Cuando se saca una sarta húmeda de tubería de perforación, es raro que la barrena esté completamente taponada y que a cada retroceso una parada entera de lodo junto con el acero del que está compuesta la parada se saque del agujero. De hecho, en el trabajo ordinario húmedo, solamente el lodo de un tramo o menos de la parada de tubería de

perforación se remueve del agujero. El siguiente ejemplo ilustra la peor situación posible en lo que se refiere a reducción de presión y eso es por sacar una sarta completamente taponada. Cuando se saca una parada de 90 pies completamente llena de tubería de perforación de 4–1/2" de tubería de ademe de 10–3/4", baja el fluido en la tubería de ademe 23.36 pies. Cuando se sacan 6 (media hilera) de paradas llenas, baja el fluido 140 pies y con un lodo de 10 lb/galón, causa una reducción de presión de 73 lb/pulg^2. Al sacar una parada de 90 pies llena de fluido de tubería de perforación de 3–1/2" de una tubería de ademe de 7" baja el fluido en la tubería de ademe 42.81 pies. Cuando se sacan 7 paradas (media hilera) completamente húmedas, se baja el fluido 306.7 pies y con un lodo de 10 lb/galón, causa una reducción de presión de 159.9 lb/pulg^2.

En muchos equipos, al fogonero o maquinista se le asigna la responsabilidad de ver que el agujero se mantenga lleno cuando se saca la tubería de perforación y de notificar al perforador si el agujero no toma lodo correctamente o si el lodo empieza a derramarse del espacio anular. La objeción de llenar corriendo una bomba continuamente en la línea de llenado, es que no sería posible determinar si el agujero está tomando el lodo en la proporción de la tubería de perforación sacada y ni aún si el lodo se está derramando mientras se saca la tubería de perforación.

En perforación con lodo apesantado, es apropiado cargar la tubería de perforación con un lote de 8 a 15 sacos de barita, dependiendo de la profundidad, antes de empezar a salir del agujero. Este material para dar peso no se desperdicia, porque entra al lodo y ayuda a mantener el peso. El "lote" es una medida de seguridad, porque si se saca la tubería seca queda el piso más seguro para trabajar y permite la observación necesaria del nivel del lodo en el espacio anular.

En los territorios de lodo ligero, ha sido la costumbre bajar la succión de la bomba para tomar lodo más pesado de lo profundo de la presa durante los últimos minutos de bombeo antes de hacer un viaje. Esta práctica puede tener el mal efecto de agregar sólidos indeseables al lodo y deberá revisarse siempre que se use. Los lodos de bajos sólidos, generalmente tienen baja fuerza de gelatinosidad y por lo tanto, la tubería de perforación se sacará seca después de la primera o la siguiente parada.

Además del peligro de un reventón por la falla de llenar correctamente el agujero, resulta el derrumbe del agujero y su inestabilidad por las reducciones de presión. Las buenas prácticas de perforación exigen buenas prácticas de llenado con lodo.

INDICIOS DE ACEITE, GAS O AGUA SALADA

En la perforación de alta presión, se distinguen tres tipos de indicios de gas: el indicio de achique, el indicio perforado y el reventón. Cada uno puede causarlo el gas, aceite o agua salada, porque el aceite y el agua salada en yacimientos de presión anormal, tienen gas en solución y por lo tanto, habrá evidencia de gas en la línea de flujo. La buena práctica de perforación requiere que se distinga entre los tres tipos de indicios por la muy buena razón de que el uso de lodo de peso innecesariamente alto, es un desperdicio y puede producir una pérdida de circulación. El peso del lodo, con frecuencia, se incrementa innecesariamente y sin justificación, debido a indicios de achique o perforados.

El corte con gas (emulsión), medido por la reducción del peso del lodo en la línea de flujo, no distinguirá entre los tres tipos de indicios. De hecho, la aparición de gas en el lodo, es sólo una advertencia importante para el perforador, para que pare y verifique si hay un posible reventón.

TABLA IX

RELACION DE REDUCCIONES DE PRESION POR ACHIQUE A FUERZA DE GELATINOSIDAD DEL LODO, PROFUNDIDAD DEL AGUJERO Y ESPACIO LIBRE ENTRE LA TUBERIA DE PERFORACION Y LA PARED DEL AGUJERO

CAIDA DE PRESION LB/PULG²	ESPACIO LIBRE	PROFUNDIDAD PIES	FUERZA DE GELATINOSIDAD
275	Tubería de perforación de 4–1/2" en tubería de ademe de 10–3/4".	7,000	36
125		7,000	12
125		3,000	36
62		3,000	12
487	Tubería de perforación de 3–1/2" en tubería de ademe de 7".	7,000	60
462		7,000	36
362		7,000	6
212		3,000	60
200		3,000	36
160		3,000	6

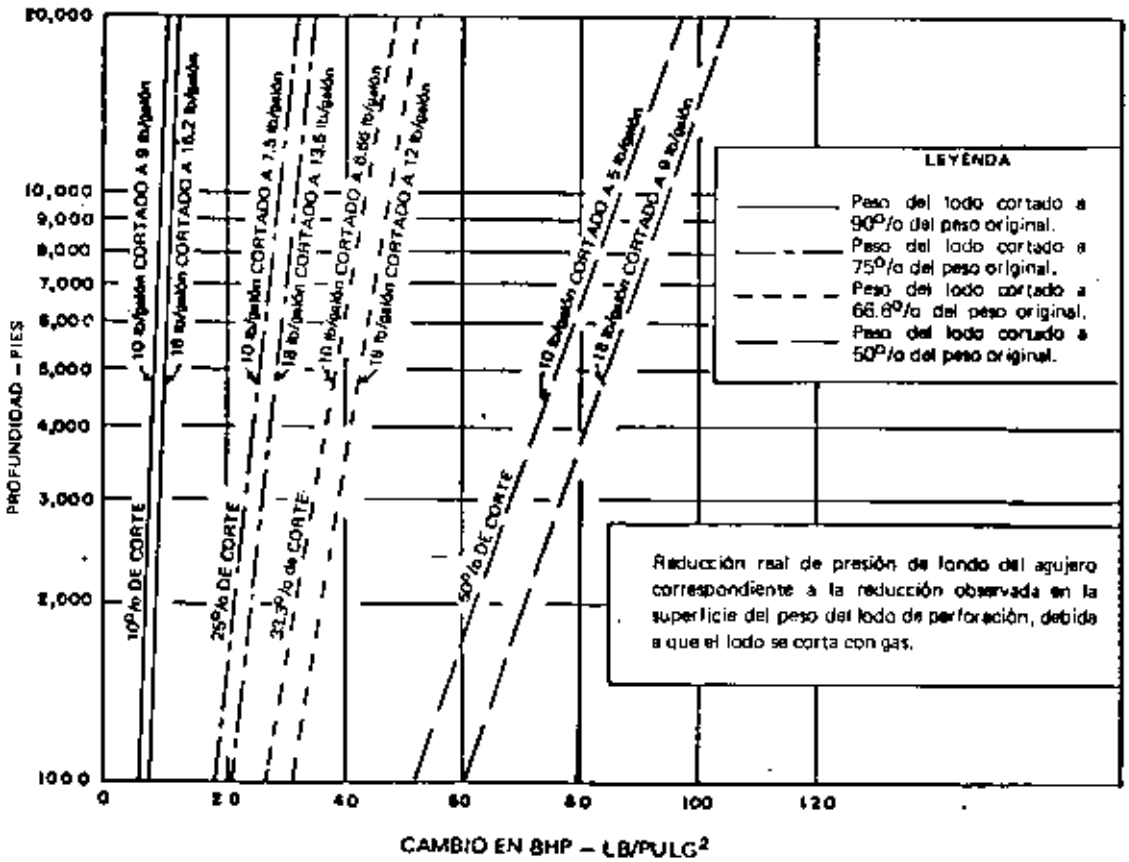


Fig. 18.– Gráfica de las reducciones de presión de fondo del agujero, debidas a lodo cortado con gas.

Cuando el gas corta el lodo, la mayor parte del corte (emulsión) tiene lugar en los pies de arriba de la columna de lodo. Si hay una burbuja de gas en un lodo a 10,000 pies que se está bombeando hacia arriba, la burbuja habrá aumentado cuatro veces de tamaño cuando llega a 2,500 pies, 16 veces a 625 pies, 93 veces a 78.12 pies y 287.5 veces cuando llega a 4.88 pies. Se ha formulado una ecuación diferencial para expresar el efecto del corte del lodo con gas en términos de la reducción de presión en el fondo del agujero. Como un ejemplo de este cálculo: la profundidad era de 10,000 pies, se estaba circulando un lodo de 16 lb/galón y estaba regresando lodo con gas emulsionado de 13.6 lb/galón. La presión del fondo del agujero de la columna sin cortar de 16 lb/galón era 8,320 lb/pulg^2 y el corte por gas redujo ésta a 8,301 lb/pulg^2, una reducción de solamente 19 lb/pulg^2. Se recordará que se usan compensaciones del equilibrio mucho más altas a esas profundidades. Una presentación gráfica de las reducciones de presión del fondo del agujero debidas al lodo emulsionado con gas, se dan en la Fig. 18.

Indicios Achicados.— Los indicios por achique (gas, aceite o agua), ocurren en el retorno del lodo del fondo después de un viaje y deberán durar sólo de unos cuantos segundos hasta 15 ó 20 minutos. Ese gas es común cuando se perforan yacimientos de gas y condensado. Si el indicio persiste mucho más de 10 minutos, es una práctica usual incrementar el peso del lodo unos cuantos puntos. Se debe ejercer buen juicio al aumentar el peso del lodo, porque muy frecuentemente ésto se hace innecesariamente. Se puede ver que si el exceso del equilibrio del lodo sobre la presión del fluido de la formación es mayor que la reducción de presión hidrostática debida al achique, no entrará ningún fluido al agujero y no habrá indicios. Se comprende que los lodos modernos de baja fuerza de gelatinosidad son esenciales en todas las perforaciones de formaciones de alta presión. Su uso mantiene el achique en el mínimo y esos lodos, por lo general, desprenden gas mientras viajan por la zanja. Si la tubería de perforación ha estado fuera del agujero durante un periodo largo de tiempo, el indicio achicado, frecuentemente parecerá mucho mayor que uno ordinario. Esto no necesariamente indica que se jaló más gas originalmente o que se filtró mientras estaba en reposo, sino que la cantidad original ha subido en el agujero y mientras se ha expandido el cierre, de manera que cuando aparece en la superficie parece que es mucho mayor que después de un viaje ordinario.

Se deberán hacer pruebas de contenido de cloruros del filtrado del lodo cada turno durante la perforación profunda. También es buena práctica apartar una muestra de los retornos de peso más bajo, mientras hay indicios de gas de viaje y después de que se ha escapado el gas titular el filtrado del lodo de peso bajo para cloruros. Este contenido de sal se debe registrar en la hoja del turno. La intensidad del achique se juzga por la duración del indicio que sigue al viaje normal, y poco se puede decir por la reducción del peso de lodo en el derrame durante el indicio. Los pesos de los lodos, sin embargo, deberán verificarse ccada 2 ó 5 minutos, hasta que el indicio cesa, y el tiempo del indicio y los límites del peso del lodo se deben anotar en el informe del turno.

Cuando ha habido indicios achicados después de cada viaje y se ha penetrado otra arena, algunas veces es una precaución que vale la pena hacer, una prueba de achique (viaje corto) antes de sacar la barrena, aun cuando la nueva arena no haya dado un incremento en el nivel de la presa.

Indicios Perforados.— Generalizando, puede decirse que cuando una barrena penetra una capa permeable, algo de los fluidos contenidos en ella se unirán a la corriente de lodo. Estos son los indicios de la zanja del registro del perforador, y cuando los indicios de gas son fuertes, se puede interpretar como un reventón incipiente y el peso del lodo se incrementa innecesariamente. Si no se nota un incremento en el nivel de la presa cuando se penetró la

arena o más tarde cuando el indicio viene hacia arriba, no se deberá agregar material para dar peso. Si la velocidad del retorno es normal el pozo deberá circularse hasta que desaparezca el indicio y entonces se puede reanudar la perforación. Algunas veces después de que un pozo "patea" (descarga repentina), aun cuando se disipa apropiadamente, una precaución que vale la pena tener, es hacer una prueba de achique (viaje corto) antes de sacar la tubería de perforación del agujero.

Retorno del Lodo Inyectado.— La circulación perdida o la pérdida de algo de lodo, frecuentemente va acompañada del uso de lodos del más alto peso, y mucha de la experiencia en los pozos indica que el lodo que se pierde en la formación, puede regresar al agujero cuando se reduce la presión sobre la formación. Las presiones de formación más altas encontradas hasta ahora en la costa del Golfo, tienen gradientes de presión de cerca de 90 lb/pulg^2 por cada 100 pies: a 10,000 pies, un lodo de 17.3 lb/galón la contrarrestaría y un lodo de 18.3 lb/galón debe proporcionar suficiente exceso de equilibrio para una perforación segura. Muchos observadores insisten en que los gradientes de presión más altos sí existen, porque han observado flujos aparentes o intentos de flujo de pozos que usan pesos de lodos arriba de 18.3 lb/galón. Una posible explicación de estas ocurrencias, es que debido a una columna de lodo no uniforme, causada por emulsión de gas, pesos variables de lodo o cambio en la presión de la bomba, el flujo aparente es solamente el retorno del lodo inyectado de la formación.

TAPON DE BARITA

En pozos en los que únicamente se ha colocado la tubería de superficie, el peso del lodo necesario para matar un flujo con frecuencia se encuentra que es superior al que soportarán las formaciones poco profundas expuestas, y la circulación se pierde antes de que se pueda matar el flujo. Es una experiencia común que el intento de reforzar las formaciones con materiales para la pérdida de circulación sea infructuoso. Los intentos, por lo tanto, deberán hacerse para matar el flujo en el fondo.

En el pasado, se han usado para este propósito lechadas de cemento puro, que pesaban 16 a 17 lb/galón; pero por lo común, el uso de lechadas de barita en agua, que pesan 24 lb/galón está aumentando. La cantidad de tapón de barita deberá calcularse cuidadosamente como para un tapón de cemento y la barita deberá mezclarse y desplazarse hasta que esté uniforme con un camión de cemento.

Cuando se usa barita, hay menos oportunidad de pegar la tubería de perforación que cuando se usa cemento. La barita es también más efectiva, porque es más pesada y se asentará y "fraguará" aun cuando el fluido que esté entrando sea suficiente para evitar que el cemento fragüe. Las ventajas de presión de un tapón de barita, se pueden ver con un ejemplo de campo. En un pozo de 9.400 pies de profundidad, que tenga lodo que pese 13.5 lb/galón (y que da 6,600 lb/pulg^2 de presión en el fondo), la colocación de un tapón de cemento de 500 pies (16 lb/galón) proporciona un peso promedio de la columna de 13.65 lb/galón (6,666 lb/pulg^2), mientras que el uso de un tapón de barita de 500 pies (24 lb/galón) da un peso promedio de 14.1 lb/galón (6,874 lb/pulg^2).

Con mucha frecuencia, a un agujero durante un reventón o flujo, se le formará un puente. Después de que se ha formado el puente, puede que sea posible bajar la densidad del lodo a un valor que permita la circulación y acondicionamiento del lodo hasta el puente. Entonces, se puede colocar tubería de ademe, o se pueden hacer intentos para sellar la zona de pérdida con las técnicas descritas bajo "pérdida de circulación". Después de que se han

usado algunos métodos para sellar, el pozo puede probarse a presión para asegurarse de que el agujero resistirá la densidad del lodo requerido para perforar con seguridad el puente. Si no se puede hacer que el agujero resista la presión requerida, entonces se debe colocar tubería de ademe si se ha de continuar la perforación.

LOS PREVENTORES DE REVENTONES

La columna de lodo o la presión hidrostática, sólo controla las presiones del fluido de la formación (excepto en perforación a presión). El equipo para la prevención de reventones es para emergencia y control del pozo solamente en ese caso y se usa únicamente mientras el lodo se apesanta y acondiciona hasta que otra vez controle los fluidos de la formación.

En cada área, se conocen ciertos tipos de preventores de reventones que se sabe son adecuados. Este es un problema de planeación y no se deben correr riesgos al seleccionar el equipo. Los conjuntos incluyen la cabeza del pozo y los accesorios de la línea de flujo, múltiple de estranguladores y líneas a la bomba de alta presión y al canal. Cuando se conecta con tubería el tubo de revestimiento, se instalan los preventores. Esta operación, cuando se maneja correctamente, consiste en una inspección completa, reposición y apriete de todas las tuercas y conexiones. El conjunto total deberá completarse en ese momento y probarse a presión, para que esté listo para una emergencia. La tubería de ademe a la cual se fijan los preventores, deberá estar adecuadamente cementada y colocada a una profundidad propia para las condiciones que se puedan encontrar.

Después de que están instalados los preventores, se deberán probar para ver si funcionan bien. Entonces, se corre la tubería de perforación en el agujero, se empaca con el preventor y tanto la tubería de ademe, como el conjunto del preventor, se deberán probar a presión. Una vez que se perfora el cemento de la tubería de ademe, se deberá probar el funcionamiento de los preventores, se deberá probar siempre que la tubería de perforación esté fuera del agujero. Esas pruebas no verifican la condición de la tubería de ademe cerca de la superficie. Se deben tomar todas las precauciones para mantener un alineamiento apropiado del equipo, mientras se esté perforando, para que el niple del tubo vertical y la tubería de ademe superior no se desgasten mucho con la rotación del barretón (vástago cuadrado). Se recomiendan pruebas adicionales a intervalos regulares cuando se esté perforando una zona de alta presión. Además un probador de preventores, es decir, un empacador en una parada de tubería, deberá correrse para probar la parte superior de la tubería de ademe cuando se acerca la zona productiva o de alta presión.

Aun el mejor equipo es inútil en una emergencia si la gente no puede manejarlo correctamente. Los simulacros de reventones se deben efectuar frecuentemente para que todos los miembros de las cuadrillas conozcan su función en una emergencia. En las juntas de seguridad, se deben estudiar todos los procedimientos de seguridad posibles e ilustrarlos con simulacros (o ejercicios).

APENDICE A

DATOS DE INGENIERIA Y CALCULOS QUE SE USAN EN EL TRABAJO DE LODOS

Los cálculos requeridos para el acondicionamiento del lodo son pocos y sencillos, pero bastante importantes. Las computaciones más usadas en el trabajo se presentan aquí en forma de fórmulas y tablas que se usan fácilmente. Se han adicionado tablas útiles en todo este manual. Las tablas que aparecen en otros capítulos, se pueden encontrar consultando el índice "Tablas" en la parte de enfrente de este libro.

VOLUMEN DE LODO EN EL SISTEMA

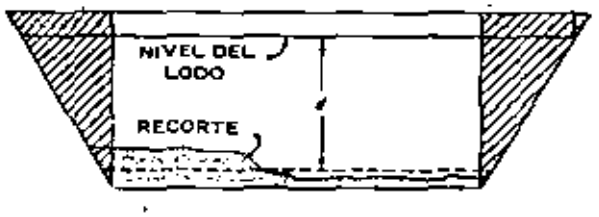
Una de las primeras preocupaciones de la gente de pozos, es el volumen del lodo en el sistema. Esto incluye el lodo en la presa y el lodo en el agujero. También es útil saber cuánto lodo de reserva hay disponible en tanques o presas de reserva.

Barriles de lodo en el sistema = barriles de lodo en la presa + barriles de lodo en el agujero

VOLUMEN DE LODO EN LA PRESA

$$\text{Volumen en barriles} = \frac{\text{Longitud (pies)} \times \text{ancho (pies)} \times \text{profundidad (pies)}}{5.6}$$

En el caso de presas de tierra, los declives en los extremos y en los lados de la presa, se deben tomar en cuenta.



Este diagrama ilustra el método para medir una presa de tierra. La longitud efectiva "longitud ó 1", incluye la medida de un extremo inclinado. Para todo propósito práctico, el

extremo que no se mide queda compensado por las secciones cónicas que quedan. Si los lados también tienen declive, este mismo tipo de medición debe seguirse para determinar el ancho.

Los tanques y presas de trabajo casi nunca se limpian; la regla es que los recortes y la arena se han asentado para llenar irregularmente el fondo. Por lo tanto, es necesario tomar la profundidad en el tanque o presa por sondeos que se hacen con un palo, con una pala o algo por el estilo. Se deben hacer varios sondeos y promediar la profundidad determinada.

CAPACIDAD DEL AGUJERO

La fórmula que se usa con más frecuencia para determinar el volumen del lodo en el agujero, es:

$$\text{Vol. en barriles/1,000 pies de agujero} = (\text{diámetro en pulgadas})^2$$

así, si un agujero está hecho de tubería superficial de 10–3/4" y agujero perforado de 9–7/8", el cuadrado del diámetro aproximado de 10" (10 x 10) da una aproximación bastante cercana del volumen real, 100 barriles por 1,000 pies en números enteros se hace fácilmente. El volumen ocupado con la interpolación de los cuadrados de los números enteros más cercanos, se hace fácilmente. El volumen ocupado por el acero de la tubería de perforación, generalmente se desprecia y la multiplicación sencilla anterior es todo lo que se usa para dar los "barriles de lodo en el agujero".

Es bien sabido que el agujero abierto raras veces es del tamaño de la barrena; que las formaciones de sal, esquistos y similares, generalmente se exceden del calibre, mientras que las arenas y las calizas duras pueden tener un diámetro cercano al tamaño de la barrena (diámetro). Este hecho, generalmente no se toma en cuenta en los cálculos de lodo y se usa el volumen indicado por el tamaño de la barrena. Algunos ingenieros, sin embargo, agregan 50% del volumen del agujero abierto para compensar los lugares que tienen mayor calibre, pero esta práctica, generalmente no es bien aceptada.

Debido a la incertidumbre del volumen exacto en el agujero abierto, los cálculos de volumen en el trabajo de lodos, raras veces se llevan con exactitud. Esto no es por descuido y la experiencia de los años enseña que estas aproximaciones prácticas y razonables son apropiadas. Para esas ocasiones, sin embargo, en las que se desean cifras muy aproximadas, se incluyen las siguientes tablas; también estas tablas son necesarias para el cálculo de las velocidades en el espacio anular.

DESCARGA DE LA BOMBA Y EL CICLO DEL LODO

Para el acondicionamiento del lodo, frecuentemente es importante saber el tiempo que se requiere para que el lodo haga un ciclo de la succión de la bomba al fondo del agujero y regrese. Cuando se agrega material para dar peso o productos químicos, casi siempre se desea agregar estos materiales a una velocidad que el lodo haga por lo menos un ciclo completo durante el tratamiento. Dos factores intervienen en el tiempo del ciclo: 1). el volumen de lodo en el agujero y 2). la velocidad de descarga de la bomba de lodo.

TABLA X

CAPACIDAD DEL AGUJERO ABIERTO

DIAMETRO EN PULGADAS	CAPACIDAD BLS/100 PIES
3–7/8	1.46
4–1/4	1.75
4–3/4	2.19
5–5/8	3.08
6	3.50
6–1/8	3.65
6–1/4	3.80
6–3/4	4.43
7–3/8	5.28
7–5/8	5.65
7–7/8	6.02
8–3/8	6.81
8–1/2	7.02
8–5/8	7.23
8–3/4	7.45
9–5/8	9.00
9–7/8	9.49
11	11.75
12–1/4	14.58
15	21.86
17–1/2	29.75
18	31.47
20	38.86

TIEMPO DEL CICLO

Descarga de la bomba en barriles por minuto = barriles por embolada × emboladas por minuto

Tiempo de circulación = barriles de lodo en el agujero / barriles por minuto de descarga

Es una práctica común para hacer registro del lodo medir realmente el tiempo de circulación, usando avena o tiras de celofán como marcas. Esta práctica se usa cada vez más en el trabajo de lodo. Cuando un nuevo tramo de tubería de perforación se ha armado y se baja a la mesa, un par de puños del marcador se ponen en la caja de la unión, entonces se arma el barretón (vástago cuadrado) y se toma el tiempo desde que se arranca la bomba hasta que el marcador aparece en cantidad en el cedazo vibratorio.

TABLA XI

CAPACIDAD DE TUBERIA DE ADEME DE NORMA API

TAMAÑO NOMINAL DIAMETRO EXTERIOR	PESO LB/PIE	CAPACIDAD BLS/100 PIES
5	11.50	2.02
5	13.00	1.96
5	15.00	1.89
5	18.00	1.78
5-1/2	14.00	2.44
5-1/2	15.50	2.38
5-1/2	17.00	2.32
5-1/2	20.00	2.22
5-1/2	23.00	2.11
6	18.00	2.85
6	20.00	2.78
6	23.00	2.66
6-5/8	20.00	3.55
6-5/8	24.00	3.41
6-5/8	28.00	3.26
7	17.00	4.15
7	20.00	4.05
7	23.00	3.93
7	26.00	3.83
7	29.00	3.71
7	32.00	3.60
7	35.00	3.50
7	38.00	3.40
7-5/8	24.00	4.79
7-5/8	26.40	4.72
7-5/8	29.70	4.59
7-5/8	33.70	4.45
7-5/8	39.00	4.26
8-5/8	24.00	6.37
8-5/8	28.00	6.24
8-5/8	32.00	6.10
8-5/8	36.00	5.95
8-5/8	40.00	5.79
8-5/8	44.00	5.65
9-5/8	32.30	7.87
9-5/8	36.00	7.73
9-5/8	40.00	7.58
9-5/8	43.50	7.45
9-5/8	47.00	7.32
9-5/8	53.50	7.08
10-3/4	32.75	10.09
10-3/4	40.50	9.81
10-3/4	45.50	9.62
10-3/4	51.00	9.43
10-3/4	55.50	9.25
13-3/8	48.00	15.71
13-3/8	54.50	15.46
13-3/8	61.00	15.22
13-3/8	68.00	14.97
13-3/8	72.00	14.81
16	65.00	22.59
16	75.00	22.22
16	84.00	21.89
20	94.00	35.53

TABLA XII

CAPACIDAD – DESPLAZAMIENTO DE TUBERIA DE PERFORACION DE NORMA API

TAMAÑO NOMINAL	TAMAÑO D.I. PULGADAS	PESO LB/PIE	CAPACIDAD BLS/100 PIES	DESPLAZAMIENTO BLS/100 PIES
2–3/8	1.815	6.65	.320	.287
2–7/8	2.151	10.40	.450	.406
3–1/2	2.764	13.30	.742	.513
3–1/2	2.602	15.50	.659	.585
4	3.340	14.00	1.113	.566
4–1/2	3.820	16.60	1.422	.643
4–1/2	3.640	20.00	1.288	.771
5	4.276	19.50	1.780	.750
5–1/2	4.778	21.90	2.220	.871
5–1/2	4.670	24.70	2.110	.964
6–5/8	5.965	25.20	3.456	.984

VELOCIDAD EN EL ESPACIO ANULAR

Se recordará que la velocidad hacia arriba en el espacio anular del lodo entre la tubería de perforación y la pared del agujero, es una consideración importante con aquella función del fluido de perforación de remover los recortes. La expresión usual de esta velocidad es en pies por minuto.

El volumen del espacio anular en barriles, es igual a la capacidad del agujero abierto en barriles por pie, menos la suma de la capacidad y desplazamiento de la tubería de perforación en barriles por pie.

$$\text{Velocidad en el espacio anular en pies por minuto} = \frac{\text{Descarga de la bomba en bl/min.}}{\text{Volumen del espacio anular en bl/pie.}}$$

Por ejemplo, el volumen del agujero abierto de 9–7/8" en barriles por 100 pies es 9.49.

Volumen de tubería de perforación de 4–1/2" (1.42) + el desplazamiento de la tubería de perforación (.64) = 2.06.

Por lo tanto, el volumen del espacio anular por 100 pies, es la diferencia, o sea 7.43.

Una bomba de 8 x 20, mueve .355 barriles por embolada x 40 emboladas por minuto = 14.2 barriles por minuto.

(14.2÷7.43) x 100 = 191 pies por minuto.

La velocidad en el espacio anular, puede incrementarse aumentando la descarga de la bomba. Para una descarga dada de la bomba, también puede aumentarse incrementando el tamaño de la tubería de perforación o disminuyendo el tamaño del agujero.

Las velocidades en el espacio anular varían considerablemente durante las operaciones de perforación. En país de roca dura, donde la penetración es de baja velocidad, se pueden

NOTA: Considere una embolada como un movimiento en cada dirección, adelante y atrás de cada pistón. La cuenta base es de un solo pistón.
Bomba de vapor 85%; bomba de potencia 90% de eficiencia.

TABLA XIII

TABLAS DE DESPLAZAMIENTO DE LAS BOMBAS EFICIENCIA DE LA BOMBA 100%

EMBOLADA	TAMAÑO DE LA CAMISA	EMBOLADA POR BARRIL	BARRILES POR EMBOLADA
10"	3–1/2"	27.7	.0361
10"	4"	20.7	.0483
10"	4–1/2"	16.15	.0619
10"	5"	13.4	.0745
12"	4"	17.3	.0578
12"	5"	11.2	.0894
12"	5–1/2"	9.13	.1095
12"	6"	7.58	.1320
12"	6–1/4"	6.96	.1437
12"	6–1/2"	6.39	.1565
12"	6–3/4"	5.92	.1690
12"	7"	5.48	.1825
14"	5"	9.6	.1040
14"	5–1/2"	7.81	.1280
14"	6"	6.50	.1540
14"	6–1/4"	5.96	.1675
14"	6–1/2"	5.48	.1825
14"	6–3/4"	5.08	.1970
14"	7".	4.70	.2130
14"	7–1/4"	4.46	.2240
14"	7–1/2"	4.15	.2410
14"	7–3/4"	3.88	.2575
16"	5"	8.81	.1135
16"	5–1/2"	7.12	.1405
16"	6"	5.86	.1705
16"	6–1/4"	5.40	.1855
16"	6–1/2"	4.93	.2025
16"	6–3/4"	4.55	.2200
16"	7"	4.21	.2375
16"	7–1/4"	3.91	.2560
16"	7–1/2"	3.64	.2750
16"	7–3/4"	3.39	.2950
18"	5"	7.84	.1275
18"	5–1/2"	6.33	.1580
18"	6"	5.21	.1920
18"	6–1/4"	4.78	.2090
18"	6–1/2"	4.38	.2280
18"	6–3/4"	4.05	.2465
18"	7"	3.74	.2670
18"	7–1/4"	3.47	.2880
18"	7–1/2"	3.22	.3100
18"	7–3/4"	3.02	.3310
20"	5–1/2"	5.69	.1760
20"	6"	4.68	.2134
20"	6–1/4"	4.29	.2332
20"	6–1/2"	3.95	.2530
20"	6–3/4"	3.65	.2740
20"	7"	3.37	.2970
20"	7–1/4"	3.12	.3200
20"	7–1/2"	2.91	.3440
20"	7–3/4"	2.72	.3680
20"	8"	2.54	.394
20"	8–1/2"	2.14	.469
22"	7–3/4"	2.47	.4050

TABLA XIV

AJUSTE DEL PESO DEL LODO CON BARITA O CON AGUA

PESO INICIAL DEL LODO, LB/GALON	PESO DESEADO DEL LODO, LB/GALON																	
	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0
9	29	59	90	122	156	192	229	268	308	350	395	442	490	542	596	653	714	[illegible]
9.5		29	60	92	125	160	196	234	273	315	359	405	452	503	557	612	672	[illegible]
10	43		30	61	93	128	164	201	239	280	323	368	414	464	516	571	[illegible]	[illegible]
10.5	85	30		31	62	96	131	167	205	245	287	331	376	426	479	531	[illegible]	[illegible]
11	128	60	23		31	64	98	134	171	210	251	294	339	387	437	490	[illegible]	[illegible]
11.5	171	90	46	19		32	66	101	137	175	215	258	301	348	397	449	[illegible]	[illegible]
12	214	120	69	37	16		33	67	103	140	179	221	263	310	357	408	[illegible]	[illegible]
12.5	256	150	92	56	32	14		34	68	105	144	184	226	271	318	367	[illegible]	[illegible]
13	299	180	115	75	48	27	12		34	70	108	147	188	232	278	327	[illegible]	[illegible]
13.5	342	210	138	94	63	41	24	11		35	72	111	150	194	238	286	[illegible]	[illegible]
14	385	240	161	112	78	54	36	21	10		36	74	113	155	199	245	[illegible]	[illegible]
14.5	427	270	185	131	95	68	48	32	19	9		37	75	116	159	204	[illegible]	[illegible]
15	470	300	208	150	110	82	60	43	29	18	8		37	77	119	163	210	[illegible]
15.5	513	330	231	169	126	95	72	54	39	26	16	8		39	79	122	168	[illegible]
16	556	360	254	187	142	109	84	64	48	35	24	15	7		40	81	126	[illegible]
16.5	598	390	277	206	158	123	96	75	58	44	32	23	14	7		41	84	[illegible]
17	641	420	300	225	174	135	108	86	68	53	40	30	21	13	6		42	[illegible]
17.5	684	450	323	244	189	150	120	98	77	62	49	38	28	20	12	6		43
18	726	480	346	262	205	163	132	107	87	71	57	45	35	26	18	12	5	

La parte inferior izquierda de esta tabla muestra el número de barriles de agua que deben agregarse a 100 barriles de lodo, para producir las reducciones de peso deseadas. Para usar esta porción de la tabla, localice el peso inicial del lodo en la columna vertical a la izquierda, entonces localice el peso del lodo deseado en la hilera horizontal superior. El número de barriles de agua que hay que agregar para 100 barriles de lodo, se lee directamente a través del peso inicial y directamente abajo del peso deseado del lodo. Por ejemplo, para reducir un lodo de 11 lb/galón a 9.5 lb/galón, se deben agregar 128 barriles de agua por cada 100 barriles de lodo en el sistema.

La mitad superior derecha de esta tabla muestra el número de sacos de barita que se deben agregar a 100 barriles de lodo para producir los incrementos deseados de peso. Para usar esta porción de la tabla, localice el peso inicial del lodo en la columna vertical de la izquierda, luego localice el peso deseado del lodo en la hilera horizontal superior. El número de sacos de barita que hay que agregar a cada 100 barriles de lodo, se lee directamente a través del peso inicial y directamente abajo del peso deseado del lodo. Por ejemplo, para elevar un lodo de 11 lb/galón a 14.5 lb/galón, se deben agregar 251 sacos de barita por cada 100 barriles de lodo en el sistema.

usar velocidades bajas del espacio anular. Si las formaciones son suaves y las velocidades de penetración altas, entonces se necesita una velocidad en el espacio anular más alta.

Si se necesita una velocidad del espacio anular más alta, las bombas se pueden correr en paralelo, con ambas bombas descargando en un múltiple común o a una línea. En esta operación, las bombas operan cerca de 70 ó 80% de su eficiencia y la descarga en barriles por minuto es la suma de ambas bombas a esa velocidad. Cuando se corren las bombas en paralelo, se da un volumen mayor de fluido y velocidades del espacio anular también mayores.

Si se necesita más presión, las bombas también se pueden arreglar en serie, con una primera bomba descargando en la segunda bomba. La descarga en barriles por minuto, es la capacidad de la bomba más pequeña, operando a una velocidad seleccionada. Operan a una presión aproximadamente como la suma de las dos bombas. Arreglando las bombas en serie, no dan un incremento de la descarga, pero sí dan un incremento de presión. Esto puede ser ventajoso cuando existen pérdidas a alta presión en el sistema.

EQUIVALENTES DE PRESION HIDROSTATICA

Presión hidrostática (lb/pulg^2) = peso del lodo (lb/galón) x 0.052 x profundidad (pies).

Presión hidrostática (lb/pulg^2) = peso del lodo (lb/pie^3) x 0.00695 x profundidad (pies).

Presión promedio del fluido de la formación (lb/pulg^2) (gradiente de agua dulce) = 0.433 x profundidad (pies).

Presión promedio del fluido de la formación (lb/pulg^2) (gradiente de agua salada) = 0.465 x profundidad (pies).

Peso del lodo en lb/galón x 7.4805 = peso del lodo en lb/pie^3.

Peso del lodo en lb/pie^3 x 0.1337 = peso del lodo en lb/galón

CANTIDADES Y VOLUMENES DE MATERIALES

INCREMENTO EN PESO

Barita: peso específico 4.25 ó 35.5 lb/galón ó 1490 lb/barril.

Aproximadamente: en los límites de peso de 9.0 — 12.0 lb/galón, 60 sacos de barita incrementan el peso de 100 barriles de lodo 1 lb/galón.

Para pesos arriba de 12.0 lb/galón divida el peso deseado o final entre 0.2, para encontrar el número de sacos de barita para elevar el peso de 100 barriles de lodo 1 lb/galón

Sacos de barita necesarios para incrementar el peso de 100 barriles de lodo:

$$X = \frac{1450(W_2 - W_1)}{35.5 - W_2}$$

W_1 = peso actual del lodo en lb/galón.
W_2 = peso deseado del lodo en lb/galón.

INCREMENTO DE VOLUMEN POR LA ADICION DEL MATERIAL PARA DAR PESO

Aproximadamente: 15 sacos de barita igual a 1 barril en volumen ó 100 sacos de barita igual a 6.64 barriles en volumen.

Incremento de volumen en barriles al apesantar 100 barriles de lodo:

$$V = \frac{100\,(W_2 - W_1)}{35.5 - W_2}$$

V = incremento de volumen en barriles.
W_1 = peso inicial del lodo en lb/galón.
W_2 = peso final del lodo en lb/galón.

INCREMENTO DE PESO USANDO ARCILLA

Arcilla: peso específico 2.5 ó 20.8 lb/galón u 875 lb/barril.

Arpximadamente: agregue 8 sacos de arcilla por cada 0.1 lb/galón de incremento de peso deseado por cada 100 barriles de lodo.

Sacos de arcilla necesarios para incrementar el peso de 100 barriles de lodo:

$$C = \frac{875\,(W_2 - W_1)}{20.8 - W_2}$$

C = sacos de arcilla.
W_2 = peso deseado del lodo en lb/galón.
W_1 = peso actual del lodo en lb/galón.

INCREMENTO DE VOLUMEN USANDO ARCILLA

Aproximadamente:

$$\frac{\text{sacos de arcilla agregados}}{8.75} = \text{incremento de volumen en barriles}$$

Incremento de volumen en barriles apesantando 100 barriles de lodo con arcilla:

$$V = \frac{100\,(W_2 - W_1)}{20.8 - W_2}$$

V = incremento de volumen en barriles.
W_1 = peso inicial del lodo en lb/galón.
W_2 = peso final del lodo en lb/galón.

Para determinar la cantidad de agua necesaria para obtener una reducción de peso dada:

$$X = \frac{(W_1 - W_2)\,V_1}{W_2 - 8.34}$$

X = barriles de agua que hay que agregar.
W_1 = peso original del lodo en lb/galón.
W_2 = peso deseado del lodo en lb/galón.
V_1 = volumen original del lodo en barriles.

FORMULAS

Volumen de un tanque cilíndrico en barriles = (diámetro en pies)^2 x profundidad en pies x 0 1781.

Volumen de una presa rectangular en barriles = longitud en pies x profundidad en pies x 0.1781.

Desplazamiento del metal de la tubería en barriles por 100 pies = peso de la tubería en lb/pie x 0.3638.

Capacidad aproximada del agujero abierto en barriles por 100 pies =

$$= \frac{(\text{diámetro de la barrena en pulgadas})^2}{10}$$

Altura hidrostática en libras por pulgada cuadrada = profundidad en pies x peso del lodo en lb/galón x 0.52.

APENDICE B

UNA LISTA PARCIAL DE LOS ADITIVOS Y PRODUCTOS QUIMICOS PARA TRATAMIENTO DE LODOS COMUNMENTE DISPONIBLES

NOMBRE COMERCIAL (Marca Patentada)	COMPOSICION	FABRICANTE O ABASTECEDOR
	PARA CONTROL DE ALCALINIDAD O pH	
—	Cloruro de calcio.	Todas las compañías de lodos.
Potasa cáustica.	Hidróxido de potasio.	IMC lodo de perforación.
Sosa cáustica.	Hidróxido de sodio.	Todas las compañías de lodos.
Cal.	Cal hidratada.	Todas las compañías de lodos.
Synergic.	Compuesto orgánico de silicato.	Milchem, Inc.
	BACTERICIDAS	
Aldecide	Biocido.	Div. Baroid, National Lead Co.
Surfio – 819, 33.	Biocido.	Div. Baroid, National Lead Co.
Varios.	Paraformaldehido.	La mayoría de las compañía de lodos.
	DESESPUMADORES	
—	Estearato de aluminio.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Alcoholes de alto peso molecular.	Algunas compañías de lodos.
Defoamer 23.	Desespumador de agua salada.	Div. Baroid, National Lead Co.
Froban.	—	Div. Baroid, National Lead Co.
Imco–Defoam.	Desespumador de agua salada.	IMC lodo de perforación.
LD–7.	Desespumador no surfactante.	Milchem Inc.
Santomerse.	—	Milchem Inc.
Surfio–W200, W300.	—	Div. Baroid, National Lead Co.
	EMULSIFICANTES	
Aktafio–E.	—	Div. Baroid, National Lead Co.
Atiosol.	—	Milchem, Inc.
Economagic.	Emulsificante de aceite crudo.	Oil Base Inc.
Imco Crude–X Conc.	Emulsificante de aceite crudo invertido.	IMC lodo de perforación.
Imco Ken–Flo Conc.	—	IMC lodo de perforación.
Imco–MD.	Detergente de lodo.	IMC lodo de perforación.
Invermul.	Estabilizador de lodo de aceite.	Div. Baroid, National Lead Co.
Magco Mul.	—	Dresser Magcobar.
Magconate.	Sulfonato de petróleo.	Dresser Magcobar.
Mil–Olox.	Jabón neutralizado.	Milchem, Inc.
Protecto–Mul.	Lodo de aceite invertido concentrado.	Dresser Magcobar.
Salinex.	Emulsificante de agua salada.	Dresser Magcobar.

NOMBRE COMERCIAL (Marca Patentada)	COMPOSICION	FABRICANTE O ABASTECEDOR
	PARA REDUCCION DE FILTRADO	
Varios.	Bentonita de Wyoming.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Almidón gelatinizado previamente	Todas las compañías de lodos.
Bascoil.	Lodo de base de aceite concentrado.	Barium Supply Co.
Black Magic.	Base de lodo básico de aceite.	Oil Base, Inc.
CMC.	Carboximetilcelulosa de sodio.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Material lignítico.	La mayoría de las compañías de lodos.
Dextrid.	Polímero orgánico.	Div. Baroid, National Lead Co.
Duratone.	Control de filtración de lodos de aceite.	Div. Baroid, National Lead Co.
Imco RD—111.	Lignosulfonato procesado.	IMC lodo de perforación.
Imco—Thin.	Lignita custicizada.	IMC lodo de perforación.
Imco VC—10.	Lignosulfonato de ferrocromo.	IMC lodo de perforación.
OB Gel.	Material gelatinoso de base de aceite.	Oil Base, Inc.
Stabimul.	Para emulsión invertida.	Dresser Magcobar.
	INHIBIDOR DE CONTROL DE ESQUISTO	
Aktallo—S.	Control de esquisto y sólidos.	Div. Baroid, National Lead Co.
Basco Filter Rate.	Compuesto asfáltico.	Barium Supply Co.
——	Cloruro de calcio.	Todas las compañías de lodos.
Caltrol.	——	Milchem, Inc.
——	Yeso.	La mayoría de las compañías de lodos.
Shale Ban.	Lignosulfonato de calcio retardado	Div. Baroid, National Lead Co.
T—8.	——	Dresser, Magcobar.
XP—20.	Lignita de cromo.	Dresser, Magcobar.
	ADELGAZADORES, DISPERSANTES	
Varios.	Compuestos de fosfato.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Extracto de quebracho.	Todas las compañías de lodos.
Alkatán.	Quebracho causticizado.	Dresser Magcobar.
Varios.	Material lignítico.	La mayoría de las compañías de lodos.
Basco Drilflo.	Lignosulfonato modificado.	Barium Supply Co.
Imco—Cal.	Lignosulfonato de calcio.	IMC lodo de perforación.
Imco—Flo.	Extracto de abeto.	IMC lodo de perforación.
Imco RD—111.	Lignosulfonato modificado.	IMC lodo de perforación.
Imco VC—10.	Lignosulfonato de hierro.	IMC lodo de perforación.
Kembreak.	Lignosulfonato de calcio.	Dresser Magcobar.
Mil Flo.	Corteza de abeto.	Milchem, Inc.
OB Mix Fix.	Adelgazador de lodo a base de aceite.	Oil Base, Inc.
O—Broxin.	Lignosulfonato de hierro y cromo.	Div. Baroid, National Lead Co.
Salt Kem.	Lignosulfonato de sodio.	Milchem, Inc.
Spersine.	Lignosulfonato de cromo.	Dresser Magcobar.
Tannex.	Quebracho y material lignítico.	Div. Baroid, National Lead Co.
Uni—Cal.	Lignosulfonato de sodio y cromo.	Milchem, Inc.

NOMBRE COMERCIAL (Marca Patentada)	COMPOSICION	FABRICANTE O ABASTECEDOR
	MATERIALES PARA DAR PESO	
Barita (Baryte)	Sulfato de bario.	Todas las compañías de lodos.
— —	Carbonato de bario.	Todas las compañías de lodos.
Baroid.	Sulfato de bario.	Div. Baroid, National Lead Co.
Basco Wate	Sulfato de bario.	Barium Supply Co.
Galena.	Polvo de sulfuro de plomo.	Div. Baroid, National Lead Co.
Imco Bar.	Sulfato de bario.	IMC lodo de perforación.
Imco Wate.	Carbonato de calcio.	IMC lodo de perforación.
Lo–Wate.	Carbonato de calcio.	Dresser Magcobar.
Magcobar.	Sulfato de bario.	Dresser Magcobar.
Mil–Bar.	Sulfato de bario.	Milchem, Inc.
OB Heavywate.	Sulfato de bario.	Oil Base, Inc.
OB Wate	Carbonato de calcio.	Oil Base, Inc.
	MATERIALES PARA PERDIDA DE CIRCULACION	
Varios.	Fibras de madera desmenuzadas.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Fibras de caña desmenuzadas.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Celofán desmenuzado.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Escamas de mica.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Cáscaras de nuez granuladas.	Todas las compañías de lodos.
Varios.	Vainas de semilla de algodón.	Algunas compañías de lodos.
Varios.	Fibras de asbesto.	Algunas compañías de lodos.
Varios.	Cuero desmenuzado.	Algunas compañías de lodos.
Tiroid.	Compuestos de hule desmenuzados.	Div. Baroid, National Lead Co.
Formeplug.	Material de arcilla de fraguado lento.	Dresser Magcobar.
Mil–Squeez.	Silicato de aluminio activado.	Milchem, Inc.

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 2

PREGUNTAS SOBRE LA LECCION 2 DE LA UNIDAD II

"LODO DE PERFORACION"

NOMBRE: _____

FECHA: _____

1. La mayoría de los fluidos de perforación están clasificados como lodos a base de agua. ¿Cuáles son las tres partes de un lodo a base de agua?

_____

_____

_____

2. Cuando las formaciones que se están perforando no hacen buen lodo natural, se agregan arcillas. ¿Cuáles son dos propósitos?

_____

_____

3. a). ¿Cuál es el nombre de la arcilla que se usa para hacer lodo de agua dulce?

_____

b). ¿Cuál es el nombre de la arcilla que se usa para hacer lodo de agua salada?

_____

4. Las propiedades físicas de un lodo de perforación, generalmente las miden las cuadrillas de perforación y los instrumentos para medir cada propiedad, son:

Propiedad del Lodo	Instrumento Usado

20. Mencione seis clases de materiales que se usan en el lodo de perforación para controlar la pérdida de circulación.

_____ _____

_____ _____

_____ _____

20. Mencione seis clases de materiales que se usan en el lodo de perforación para controlar la pérdida de circulación.

_____	_____
_____	_____
_____	_____

20. Mencione seis clases de materiales que se usan en el lodo de perforación para controlar la pérdida de circulación.

_____ _____

_____ _____

_____ _____

INSTITUTO
MEXICANO
DEL
PETROLEO

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 3

PERFORANDO UN AGUJERO RECTO

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

1980

LECCIONES DE PERFORACION ROTATORIA

INDICE DE MATERIAS

UNIDAD II

OPERACIONES DE PERFORACION NORMALES

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 3

PERFORANDO UN AGUJERO RECTO

1980

Este manual es traducción de la Serie titulada Rotary Drilling, Unit II Lesson 3, Drilling a Straight Hole, editado por Petroleum Extension Service, The University of Texas—Division of Extension, Austin, Texas, en colaboración con la American Association of Oilwell Drilling Contractors, quien concedió la autorización correspondiente al Instituto Mexicano del Petróleo, en fecha 15 de abril de 1969, para su traducción y edición en español. El Instituto Mexicano del Petróleo agradece dicha colaboración.

P R O L O G O

El Comité de Educación y Capacitación de la Asociación Americana de Contratistas de Perforación de pozos petroleros, es el patrocinador de 4 unidades de material elemental de capacitación sobre la perforación de pozos de petróleo y gas. Estas representarán aproximadamente 4 años de estudio en la casa, aunque algunos encontrarán que es posible completar el estudio en una fracción de ese tiempo.

Esta es la Lección 3 de la Unidad II.

La lista completa de las 5 lecciones que constituyen la Unidad II, está impresa en el interior de la cubierta frontal de este manual. La lista de las 10 lecciones que constituyen la Unidad I, está impresa en el interior de la cubierta posterior.

Los patrocinadores comprenden que la mayor parte del aprendizaje logrado por los hombres que trabajan en la industria de perforación, necesariamente tendrá lugar en el trabajo. Se espera que estas lecciones impresas en forma breve ayudarán al novato a obtener una ventaja en este trabajo y asimismo, acelerar el procedimiento de aprendizaje.

El Comité de Educación y Capacitación estará dispuesto a hacer sugestiones sobre la manera más apropiada para usar estas lecciones. La AADCPPP también estará en condiciones de proporcionar materiales complementarios en forma de películas, guías de estudio, otras publicaciones y varias cosas de esa índole.

Todas las partes interesadas se comprometen formalmente con la meta de hacer que el estudio del trabajo vital de perforación de pozos de petróleo y gas, sea tan remunerativo como sea posible para el usuario de las lecciones.

John Woodruff, Director Asociado
Servicio de extensión de Petróleo
Universidad de Texas

Austin, Texas
Junio de 1968

Contenido

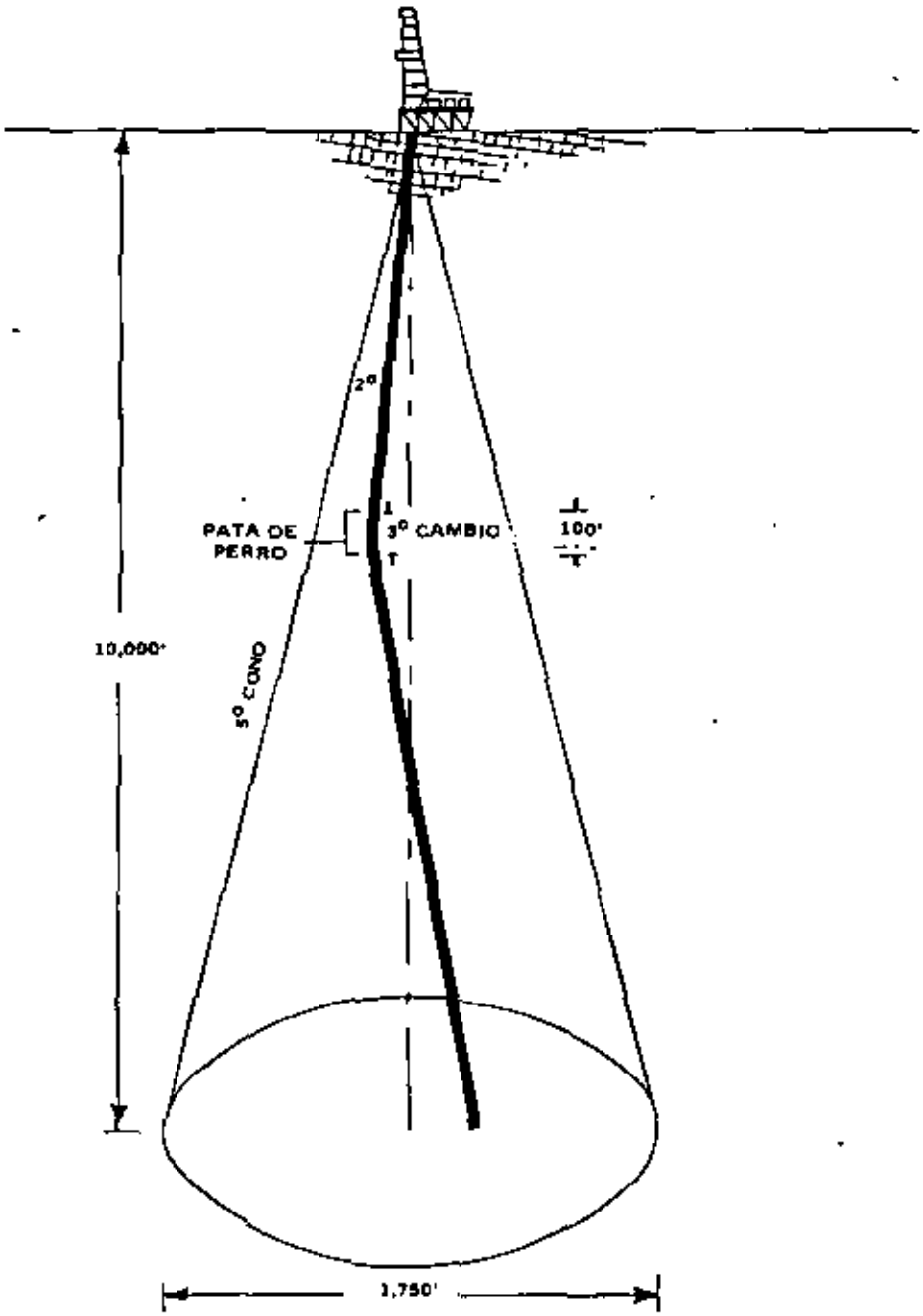


Fig. 3—1.— Ejemplo de una pata de perro. Esta, muestra especificaciones pata un pozo de 10,000 pies con una desviación máxima de 5°, haciendo el área de objetivo un círculo de 1,750 pies directamente abajo del piso de la torre. Una especificación de 3° reduciría el área del objetivo a un diámetro de 1,048 pies. Solamente se ilustra un cambio de ángulo. Un pozo real puede tener muchos de esos cambios de ángulo y aún así se acepta como un agujero recto.

LECCIONES DE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 3

PERFORANDO UN AGUJERO RECTO

DEFINICION DE UN AGUJERO RECTO

El término agujero recto, como se usa en esta lección, está destinado a describir un agujero que se perfora verticalmente. Esto puede parecer obvio, pero ya se ha señalado, que teóricamente, un agujero puede iniciarse con un cierto ángulo vertical y perforarse "recto como con mira de rifle" hasta su terminación sin cambio en la desviación. Aun cuando esto sería un agujero recto, prácticamente es imposible perforar. Es de comprender que ningún agujero se puede perforar verticalmente desde el principio hasta el fin. Así, para ser realista, se debe decir que un agujero recto, perforado por el método rotatorio, es uno que:

1). Está dentro del límite de un "cono", como se designa con las especificaciones del operador. (Fig. 3–1).

2). No cambia de dirección rápidamente (no más de 3° por 100 pies de agujero); y

3). No tiene desplazamiento fuerte que dé por resultado la formación de un borde.

El inciso (1) asegura que el agujero llegará al fondo dentro de una distancia razonable horizontal de la localización de la superficie. La distancia horizontal puede limitarse por factores, tales como la proximidad de los límites de la concesión, pequeños objetivos geológicos y objetivos de yacimiento y diseños de drenaje del yacimiento.

El inciso (2) se refiere a la creación de "patas de perro". Una pata de perro muy marcada puede ser causa de que la tubería de ademe se pegue por lo que no pueda bajarse más allá de la profundidad a la cual ocurre la pata de perro. Si la tubería se puede bajar a través de una pata de perro con éxito, todavía la pata de perro puede causar severos esfuerzos y desgaste en el equipo de perforación y de producción más tarde.

El inciso (3) se refiere al cambio instantáneo del ángulo del agujero que resulta por querer enderezar el agujero en una distancia demasiado corta reduciendo abruptamente el peso en la barrena o por un cambio repentino en el ángulo de inclinación de la formación. (Figs. 3–2, 3–3 y 3–4).

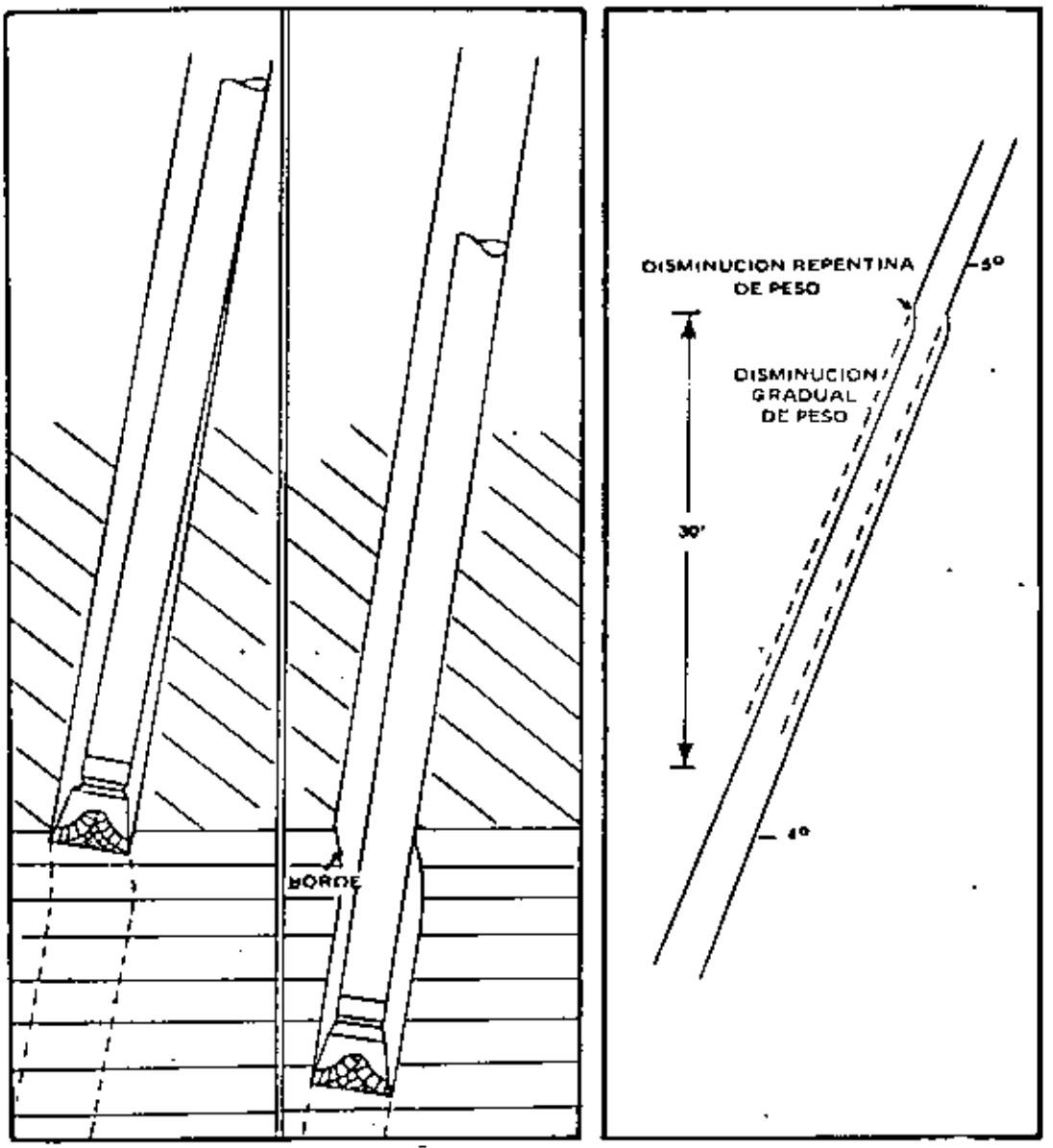


Fig. 3–2.– Agujero recto inclinado. El agujero se perfora a través de formaciones excesivamente inclinadas hasta que alcanza capas menos buzadas. La desviación de la barrena hacia la vertical forma una pata de perro.

Fig. 3–3.– Formación de la pata de perro. Al desviarse la barrena en las formaciones horizontales el lastrabarrenas descansa a un lado del hoyo del pozo.

Fig. 3–4.– Disminución repentina de peso. El efecto de una reducción repentina y drástica de peso en la barrena, como se ve en la Fig. 3–3, es una tendencia a llevar el agujero hacia la vertical. Para evitar la formación de una pata de perro angulosa, la reducción del peso en la barrena deberá ser gradual.

RECONOCIMIENTOS PRIMITIVOS

Hasta antes de 1929 y del desarrollo de los reconocimientos de desviación, los agujeros torcidos no se consideraban como problemas. Se había supuesto previamente que si un agujero se iniciaba verticalmente, permanecería vertical mientras se perforara de arriba a abajo. Los pozos tendían a ser poco profundos y no se perforaban demasiado abajo de los 7,000 pies. La penetración era lenta, porque el peso en la barrena generalmente no excedía de 15,000 libras. El conjunto de fondo del agujero, generalmente consistía de una barrena de cola de pescado, una unión tubular substituta y tubería de perforación, una parte de la cual se corría en compresión con objeto de obtener el peso deseado en la barrena.

Las dificultades para perforar, terminar y producir muchos de los primeros pozos, hicieron que el operador sospechara que los pozos estaban torcidos. Se han contado varias historias de un contratista, durante el auge de Seminole, Oklahoma, que entró en un agujero que estaba perforando otro contratista. Otra observación fue que la profundidad total de los agujeros no correspondía con la profundidad proyectada de los horizontes geológicos. Por ejemplo, el geólogo predecía que la barrena entraría a la zona productora entre 7,220 pies y 7,240 pies. En cambio, el perforador encontró la parte superior de la zona explotable a 7,330 pies. Si la perforación se hubiera suspendido a 7,240 pies, el agujero se habría considerado seco. Afortunadamente, la práctica primitiva era perforar unos 100 pies adicionales de agujero si el pozo era seco, por las dudas. Estas profundidades falsas no solamente preocupaban a los geólogos, sino que se sumaban al costo de perforación del pozo. El operador tenía que pagar por el metraje (los pies) adicional(es) perforado y suministrar tubería de ademe adicional, tubería de producción y varillas si el pozo se iba a bombear. (Fig. 3–5). Para obtener información más precisa, los geólogos pidieron los reconocimientos de los pozos.

Los instrumentos para reconocimiento de pozos petroleros se desarrolló en 1929, siendo uno de los primeros, la botella de ácido. (Fig. 3–6). Una botella o tubo de vidrio se llenaban con cerca de media onza de ácido fluorhídrico al 20–40% con una capa de aceite en la parte superior, colocada en una cubierta apropiada y se bajaba por la tubería de perforación hasta la barrena. Se permitía que permaneciera inmóvil hasta que el ácido grababa una raya alrededor del interior de la botella. Después de retirarla del pozo, se leía e interpretaba el ángulo de inclinación indicado por la línea grabada en la botella. (Fig. 3–7).

DESARROLLO DE CLAUSULAS DE DESVIACION EN CONTRATOS

La botella de ácido y los instrumentos de reconocimiento subsecuentemente mejorados, demostraron que los pozos no se perforan verticalmente de manera normal y que algunos se perforan muy torcidos. También por 1929, el conjunto de fondo de agujero había progresado al punto en el que un escariador y un lastrabarrenas se consideraban convenientes para mantener un agujero recto. El problema de agujero torcido persistía, sin embargo, y la elevación de los costos de terminación y producción de esos pozos quedó bajo el escrutinio estricto de las compañías productoras.

En el mismo año, el Instituto Americano del Petróleo, hizo un reconocimiento y obtuvo datos experimentales de la perforación de 25 pozos en California, 13 en Texas–Louisiana–Arkansas y 2 en el área del Continente medio. El Instituto acompañó estas averiguaciones con las opiniones expresadas por casi 100 operadores, contratistas e ingenieros que contestaron cuestionarios enviados por el comité de procedimientos de perforación. En un informe sobre la investigación, se juzgó que los siguientes factores eran de primera importancia para perforar agujeros rectos:

1). Una iniciación vertical.

2). Peso ligero en la barrena.

3). El tipo apropiado de barrena.

4). Un régimen de circulación moderado.

5). El peso correcto del lodo.

6). Una concentración de peso adyacente a la barrena.

7). El uso de un vástago de perforación de tamaño mayor o rígido inmediatamente arriba de la barrena.

8). El uso de guías para centrar la tubería de perforación en el agujero.

9). La evasión de los agujeros de rata u otro cambio innecesario del tamaño del agujero.

Los factores que estaban incluidos en el cuestionario, pero que la mayoría consideró que eran de importancia secundaria o no probados por lo que se refiere a la rectitud del agujero, son:

1). La velocidad de rotación de la tubería de perforación.

2). El uso de protectores de tubería de ademe en la tubería de perforación.

3). El tipo de fuerza empleada.

4). La necesidad de precauciones especiales al perforar el cemento.

5). La inclinación de los estratos penetrados.

6). La acción hidráulica de la corriente de lodo.

A medida que se desarrolle esta lección sobre perforación de agujeros rectos, será interesante notar cuáles de estos factores todavía se conservan y cuáles se han descartado. Uno de los factores enlistados como de importancia secundaria o no probados actualmente, ha llegado a ser de primera importancia.

No debido a los resultados de la investigación, sino porque las compañías productoras vieron los beneficios que resultaban de los agujeros perforados verticalmente, empezaron a aparecer contratos que contenían cláusulas de desviación. La mayoría de los contratos en ese tiempo especificaban una desviación máxima de 10°. Algunos solamente permitían 5° mientras que otros iban hasta 15°.

Aun cuando la adición de una cláusula de desviación ayudó a reducir los costos en muchos casos, no los redujo tanto como se esperaba. Gradualmente las especificaciones fueron estrechándose hasta que la mayoría de los contratos, para 1935, contenían una cláusula de desviación, ya sea de 2° ó 3°. Permanecieron de esa manera hasta después de la segunda guerra mundial, cuando el incremento de la actividad de perforación empezó las

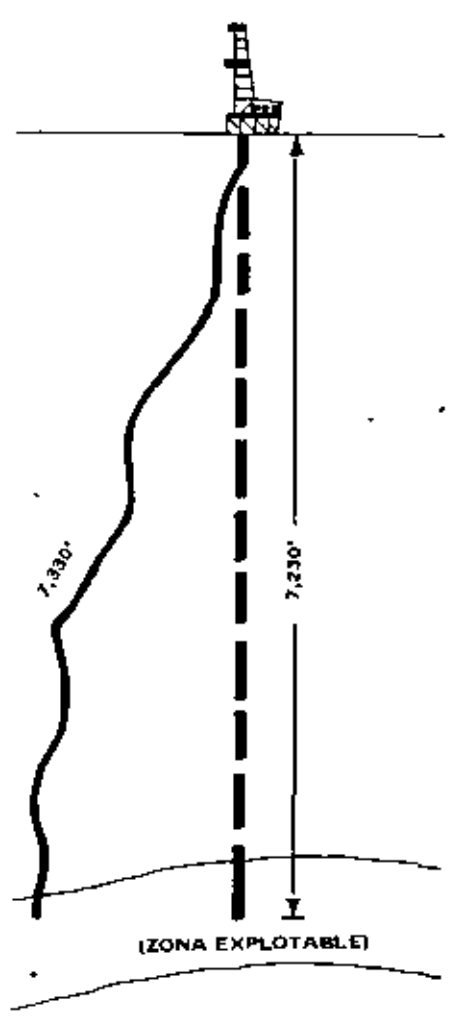


Fig. 3–5.– Profundidad de agujero torcido comparado con la profundidad de un agujero vertical.

áreas profundas de rocas duras de Oklahoma, el oeste de Texas y las Montañas Rocallosas.

Para mantener la velocidad de penetración apetecida en las rocas más duras y profundas, se agregaron más y más lastrabarrenas. No era poco común tener 15 a 20 lastrabarrenas en una columna. El peso en la barrena variaba de 40,000 libras en una barrena de 6–3/4" a 60,000 lb. en una barrena de 8–3/4".

Muchas de las áreas, especialmente aquéllas de las montañas, tenían formaciones con fallas muy severas y muy inclinadas. Era imposible perforar estas formaciones duras sin peso adecuado en la barrena. Por otro lado, la única manera provechosa conocida en ese tiempo para mantener un agujero dentro de los estrictos límites de desviación establecidos por los contratos, era reducir el peso en la barrena.

Todavía ocurrían "patas de perro". Esto era especialmente cierto cuando el perforador veía que iba a exceder el límite de desviación y reducía el peso en la barrena. Esta acción produce una pata de perro cuando la barrena empieza a volver hacia la vertical. Con el peso reducido en la barrena, la velocidad de penetración sufre y la perforación se vuelve

TABLA 3–1

DESVIACION Y PERDIDA DE PROFUNDIDAD EN AGUJEROS TORCIDOS O AGUJEROS PERFORADOS FUERA DE LA VERTICAL

A INCLINACION DEL AGUJERO DE LA VERTICAL		B DESVIACION HORIZONTAL POR C/100 PIES DE AGUJERO	C PROFUNDIDAD VERTICAL PERFORADA POR C/100 PIES DE AGUJERO	D PERDIDA DE PROFUNDIDAD VERTICAL POR C/100 PIES DE AGUJERO
1 DEG.	MIN.	1.75	99.99	0.01
1	15	2.18	99.98	0.02
1	30	2.62	99.97	0.03
1	45	3.05	99.95	0.05
2		3.49	99.94	0.06
2	15	3.93	99.92	0.08
2	30	4.36	99.91	0.09
2	45	4.80	99.89	0.11
3		5.23	99.86	0.14
3	15	5.67	99.84	0.16
3	30	6.11	99.81	0.19
3	45	6.54	99.79	0.21
4		6.98	99.76	0.24
4	30	7.85	99.69	0.31
5		8.72	99.62	0.38
5	30	9.59	99.54	0.46
6		10.45	99.45	0.55
6	30	11.32	99.36	0.64
7		12.19	99.26	0.74
7	30	13.05	99.14	0.86
8		13.92	99.03	0.97
8	30	14.78	98.90	1.10
9		15.64	98.77	1.23
9	30	16.51	98.63	1.37
10		17.37	98.48	1.52
11		19.08	98.16	1.84
12		20.70	97.82	2.18
13		22.50	97.44	2.56
14		24.19	97.03	2.97
15		25.88	96.59	3.41
16		27.56	96.13	3.87
17		29.24	95.63	4.37
18		30.90	95.11	4.89
19		32.56	94.56	5.44
20		34.20	93.97	6.03

D = PROFUNDIDAD — C DEL AGUJERO

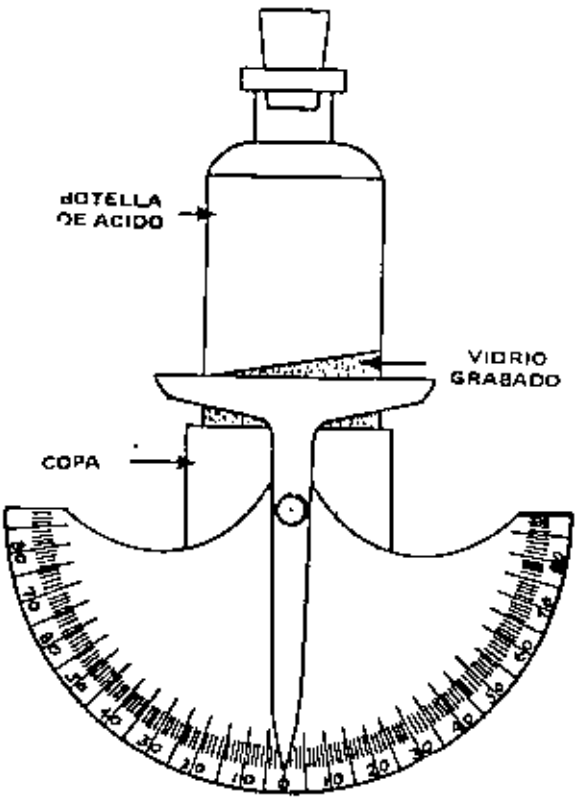


Fig. 3—7.— Transportador para leer ángulos en botellas de ácido.

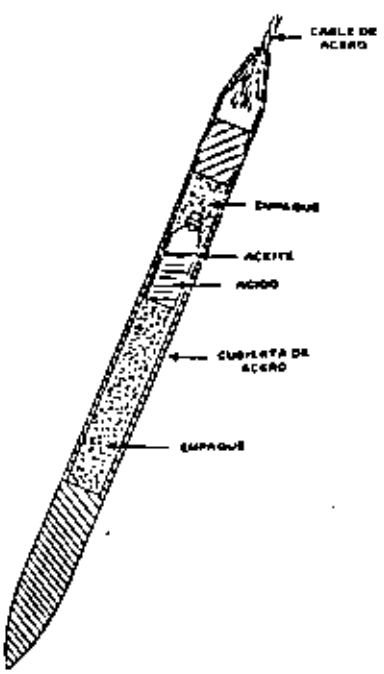


Fig. 3—6.— Instrumento de reconocimiento de botella de ácido.

antieconómica. Se somete a esfuerzos severos a la tubería de perforación adyacente a las uniones de la columna que pasa sobre el borde de la pata de perro. Más tarde esto puede dar por resultado una "rotura por fatiga" en la tubería de perforación. Si la pata de perro está cerca de la parte superior del agujero, se puede formar un "ojo de llave" que causará dificultades, mientras se esté perforando el resto del agujero. (Fig. 3–8). La tubería de perforación y los lastrabarrenas se pueden pegar en el "ojo de llave" cuando se saquen del agujero, puesto que las uniones y los lastrabarrenas son más grandes que la tubería. La tubería de ademe puede no pasar por el borde.

Por 1950, algunos de los operadores habían reconocido los problemas causados por una estricta sujeción a la cláusula de desviación de 3º y se incrementó a 5º (Figs. 3–9 y 3–10).

TEORIA ACTUAL DEL AGUJERO TORCIDO

Dos hechos sobresalieron de la información que se ganó al perforar en terrenos de agujeros torcidos que ayudaron a comprender qué es lo que hace que el agujero se tuerza y qué se puede hacer acerca de ello. Hecho No. 1: en formaciones con buzamientos de 45º o menos, la barrena tiende a perforar "buzamiento arriba" o dentro de la colina. Hecho No. 2: perforar buzamiento arriba prevalece más en formaciones laminares, como los esquistos y las areniscas, que en materiales uniformes, como la caliza.

Una de las teorías desarrolladas de la información sobre los agujeros torcidos, propone que, a medida que la barrena perfora a través de cada capa de una formación laminada, llega a un punto en que esa capa en particular ya no puede soportar la carga aplicada por la columna de perforación y fractura perpendicular al plano de las capas. La cuña resultante no está soportada y se perfora fácilmente. Por el contrario, en el lado cuesta abajo del agujero un pequeño borde forma un guía–barrenas que tiende a empujar la barrena buzamiento arriba.

EL EFECTO DE PENDULO

Cuando se perfora un agujero con una sarta de tubería de perforación y collares, el perforador sólo tiene una cosa que le favorece para mantener el agujero en un curso vertical, a saber, el efecto de péndulo.

Esto puede definirse como una tendencia de la sarta de perforación a colgar en una posición vertical bajo la influencia de la fuerza de gravedad hasta que se encuentra alguna fuerza opuesta para hacer que el péndulo se desvíe de la vertical.

Todavía más, entre más pesado sea el péndulo (o columna de perforación) más fuerte será su tendencia a permanecer vertical y mayor será la fuerza necesaria para desviarlo. Esta es una de las razones para agregar pesados lastrabarrenas al fondo de la sarta de perforación.

Mientras un péndulo esté suspendido en cualquier posición que no sea la vertical, siempre habrá efecto en la fuerza de la gravedad tratando de realinearlo en la posición vertical. Esto se aplica mientras prosigue la perforación en un agujero que se desvía de la vertical. Bajo esas condiciones la barrena y el lastrabarrenas inmediato a ella, tienden a descansar en el "lado inferior" del agujero y buscarán volver a la vertical a menos que se los impidan fuerzas opuestas.

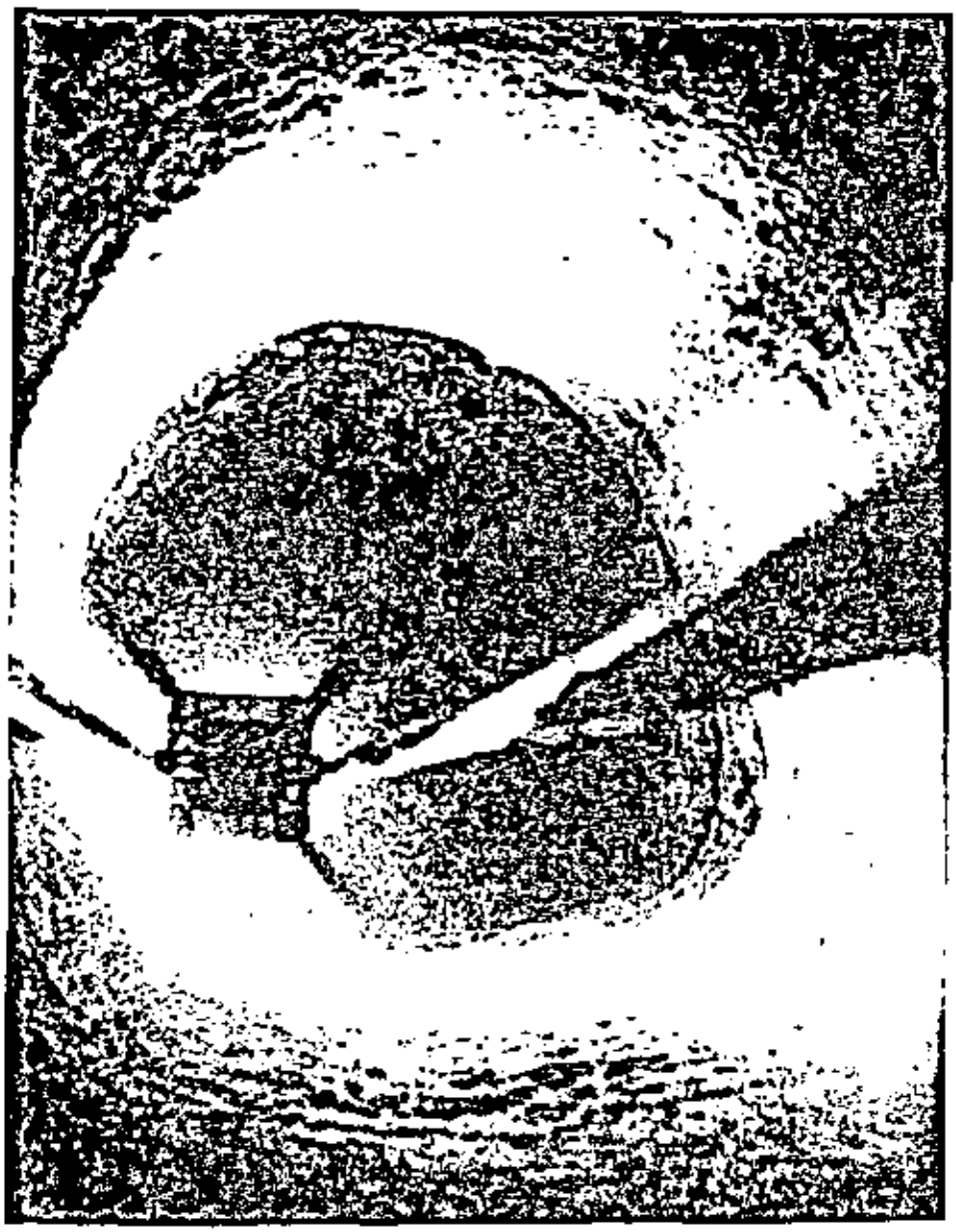
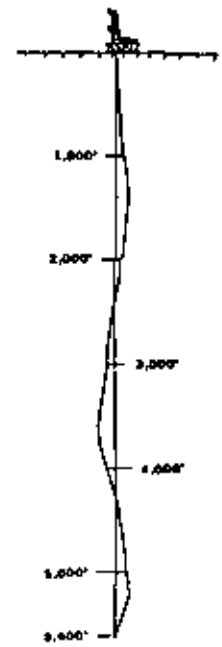


Fig. 3–8.— "Ojo de Llave". Esta es una fotografía real de un "ojo de llave" formado en un pozo en las formaciones de coral de Florida. Se notará que el hoyo del agujero está fuera de redondez hacia la parte inferior derecha.

Fig. 3—10.— Perfil del agujero que se muestra en la Fig. 3—9.



Escala vertical: 1/4" = 200'
Escala horizontal: 5/24" = 10'.

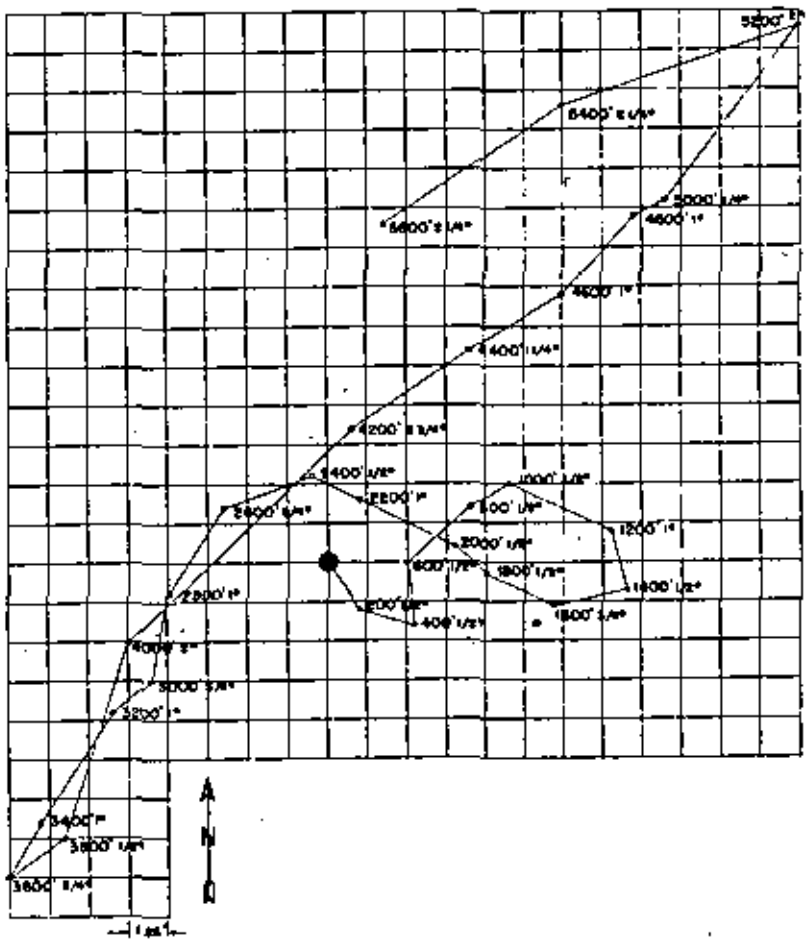


Fig. 3—9.— Un reconocimiento de agujero de múltiples disparos. Vistaa de "ojo de pájaro" sobre un pozo. Los diferentes puntos de profundidad indican dónde se tomaron las lecturas de desviación. Ningún ángulo de desviación en este pozo es mayor de 2—3/4°. Sin embargo, es obvio que hubo muchas oportunidades para la formación de patas de perro.

La Fig. 3—11, ilustra las influencias más importantes que trabajan en la porción inferior de la columna de perforación que tratan de restablecer el péndulo a su posición vertical en un agujero inclinado.

Deberá tenerse en cuenta que la longitud del péndulo, es aquella sección de los lastrabarrenas del fondo que quedan entre la barrena y el "punto de tangencia" en el lado del agujero arriba. Este punto de tangencia es donde los lastrabarrenas descansan primero contra el lado del agujero. Es recomendable tener este punto tan arriba como sea posible, prácticamente para que el péndulo sea tan largo como se pueda, ya que entre más largo sea, mayor será su tendencia a buscar la posición vertical.

La rigidez del lastrabarrenas es un factor importante.

El peso del lastrabarrenas es también de importancia, porque entre más pesado sea el péndulo, más efectivo será.

Para conseguir, tanto rigidez, como peso, se recomiendan lastrabarrenas más pesadas y más largas precisamente arriba de la barrena.

FUERZAS ANTI—PENDULO

Si las fuerzas de gravedad están trabajando en el péndulo para un agujero vertical, entonces las fuerzas con efectos contrarios se pueden considerar como "anti—péndulo".

LA FORMACION

Las formaciones son las que dan origen al término "terrenos de agujeros torcidos". Las formaciones inclinadas, las formaciones dobladas, las formaciones estratificadas (especialmente aquéllos con estratos alternados duros y suaves) son aquéllas en las que es difícil mantener un agujero vertical, y recto.

PESO EN LA BARRENA

Se necesita peso en la barrena para hacer un agujero. Pero el peso también acentúa la tendencia del agujero a desviarse de la vertical. Una gran cantidad de peso puede ser causa de que el lastrabarrenas del fondo se combe o se flexione cerca de la barrena, acortando el péndulo, de hecho.

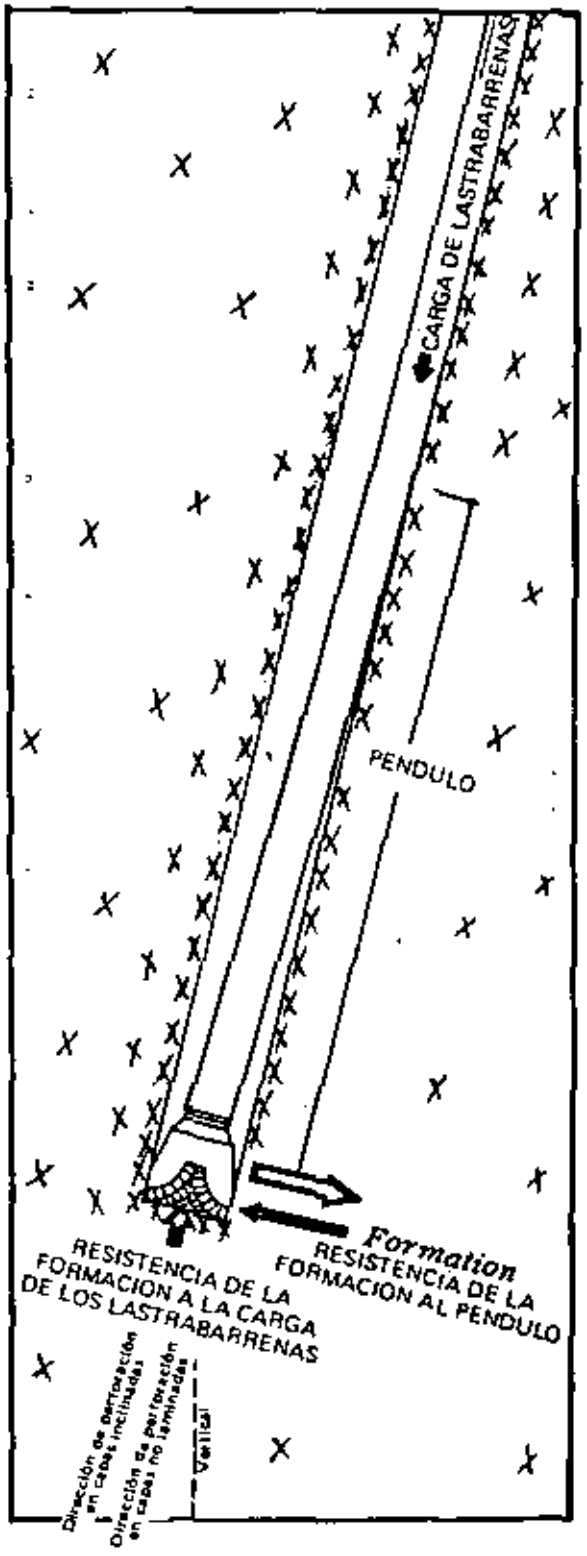
LASTRABARRENAS Y ESPACIOS LIBRES

Los lastrabarrenas de tamaño insuficiente, con los espacios libres excesivos que resultan entre el lastrabarrenas y la pared del agujero, especialmente cuando se acoplan con peso en la barrena, hacen difícil perforar un agujero vertical

ROCAS ALTAMENTE RESISTENTES

Aunque no es novedad para cualquier perforador, la "perforabilidad" de las distintas rocas varía en límites extremadamente amplios. Esto, por supuesto, exige mucho más peso

Fig. 3–11.– Fuerzas que actúan sobre la barrena.



para perforar algunas que para otras. Esto todavía no controla el peso que el perforador pone en la barrena, pero afecta materialmente el peso que debe usar si desea lograr mayor metraje (cantidad de pies). La Fig. 3–12, muestra algunos requerimientos comparativos en diferentes rocas.

EL CONCEPTO DE PATA DE PERRO

Durante los años de 1950, un gran número de los mejores pensadores en los problemas de perforación empezaron a rechazar la necesidad de colocar el límite máximo de desviación en 3º de la vertical. Los pozos direccionales se estaban perforando con éxito y se producían con ángulos de desviación muy superiores a los 3º de limitación que todavía se incluía en los contratos de perforación y en reglamentos de los organismos legales.

Los ingenieros de perforación y los contratistas presentaron argumentos sólidos para el efecto de que:

1). La perforación sería mucho más económica si se permitiera más latitud para la desviación del agujero.

2). La desviación total no era tan importante como la cantidad de desviación en un número dado de pies en el agujero. No resultaría ningún daño, por ejemplo, por un total de 6º en 500' de agujero; mientras que un cambio en dirección de 3º en 100' podría ser perjudicial. En otras palabras, un cambio brusco de dirección (una pata de perro) se debería evitar mientras que un cambio gradual podría permitirse aunque la desviación total podría ser más grande de lo que se había permitido previamente.

Se sugirió (y a la sugestión siguió la práctica real) que sería de importancia desplazar la localización una cierta distancia, ignorar los requerimientos de desviación y dejar que el agujero siguiera la inclinación natural de la formación hasta su objetivo original. La idea se ilustra en la Fig. 3–13.

La moderación de los requerimientos de desviación se ejemplifica todavía más con la Fig. 3–14, que es una porción de un contrato de perforación sugerido y facilitado a los contratistas de perforación de Estados Unidos. Refleja algo del nuevo pensamiento de la fraternidad de ingenieros de perforación.

Si el "concepto de pata de perro" ganara aceptación como línea de guía para la perforación de agujeros rectos en lugar de la limitación rígida sobre la desviación total, necesitaría que la comprendiera mucha gente. Todos los relacionados con la perforación, deberían saber cómo aplicar este concepto y operar dentro de sus limitaciones.

El problema era (y todavía lo es) complicado, por el hecho de que un agujero que se esté perforando no solamente se desvía de la vertical (haciendo así una curvatura) sino que también se desvía direccionalmente hacia diferentes puntos de la brújula. Esto complica el asunto de la determinación agujero abajo de las condiciones del agujero. Por ejemplo, un estudio sencillo de inclinación no indicará la severidad de la curvatura del agujero. ("Curvatura del agujero" es otro nombre para la severidad de una pata de perro).

Por lo tanto, cuando se corren registros direccionales que indican los cambios verticales

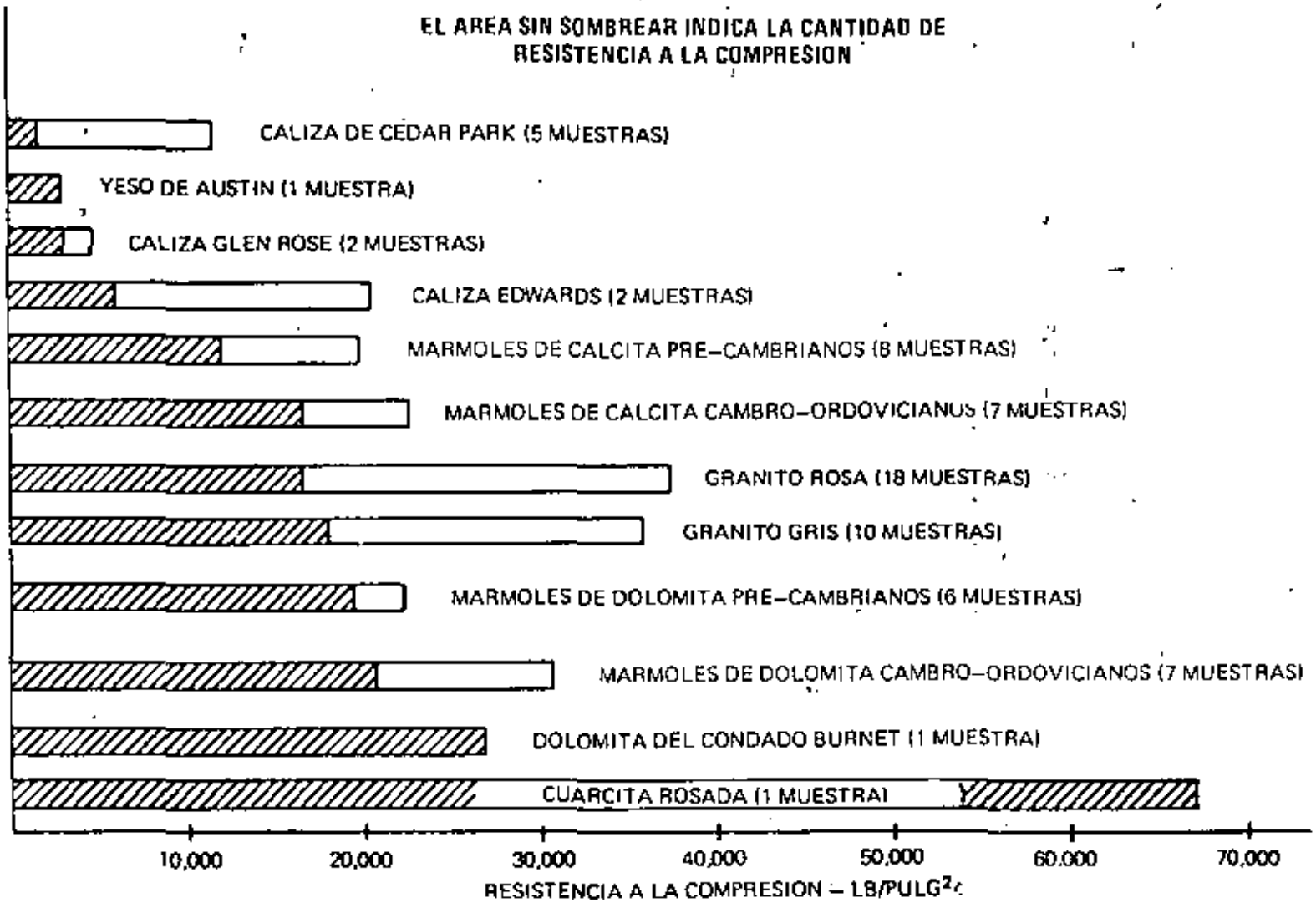


Fig. 3–12.– Resistencia a la compresión de las rocas. Estos datos se tomaron de pruebas de laboratorio hechas por Hughes Tool Company, mientras estaban probando barrenas. El término "resistencia a la compresión" denota el peso en lb/pulg² que se requiere para perforar la roca con el tipo apropiado de barrena de tres conos para roca.

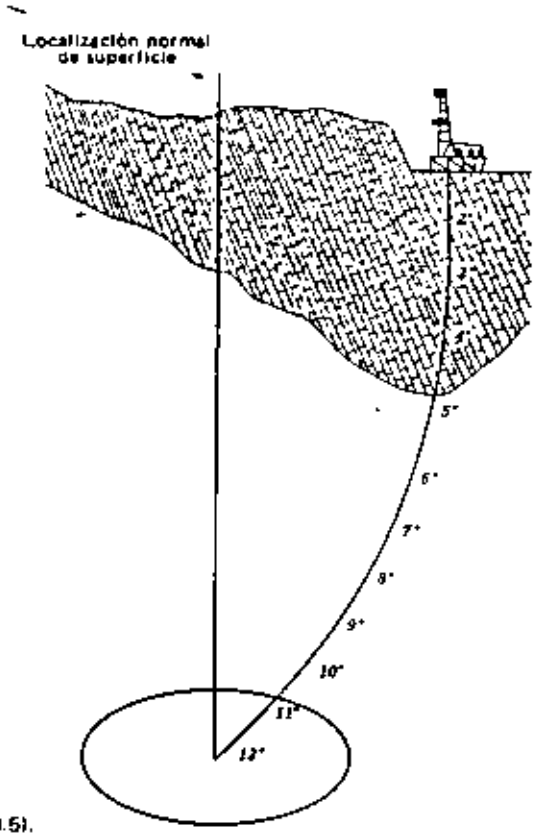


Fig. 3–13.– Desplazando una localización. Esto describe una situación en que la desviación del agujero puede seguir su tendencia natural como se ve en el camino curvo de la torre a la sección productiva "A". Se han perforado pozos por el principio de desplazar la localización en terrenos de agujeros torcidos en el sur de Oklahoma. Aplicando más peso, la perforación es más económica. La tendencia normal de la formación guía a la barrena a su objetivo.

3. ESPECIFICACIONES DE AGUJERO RECTO. (Ver párrafo 10.5).

PROFUNDIDAD DEL POZO DE	A	DISTANCIA MAXIMA ENTRE REGISTROS, PIES	DESVIACION MAXIMA DE LA VERTICAL, GRADOS	CAMBIO MAXIMO DE ANGULO (o ángulo total) ENTRE DOS REGISTROS CUALESQUIERA, GRADOS (1)
0'	400'	100'	1/2°	1–1/2°/100'
400'	6,000'	200'	1°/1,000'	1–1/2°/100'
6,000'	12,000'	200'	6° + 1–1/2°/1,000'	2–1/2°/100'
13,000'	14,000'	200'	6° + 1–1/2°/1,000'	3–1/2°/100'
14,000'	15,000'	200'	6° + 1–1/2°/1,000'	4°/100'

La localización del agujero a 15,000' estará a no más de 1,308' del centro de la mesa rotaria.

(1) a. Reducir proporcionalmente para intervalos de registro menores de 100', pero no use intervalos más cortos de 30'
b. Si se exceden estos límites y la distancia entre registros es más de 100' el contratista tomará registros intermedios a no más de los límites anteriores, si han excedido en cualquier intervalo, el contratista corregirá la desviación del agujero a quedar dentro de los límites de las especificaciones anteriores.
c. Cuando los registros direccionales se ordenan, el cambio de ángulo será el cambio total del ángulo.

4. SEGURO (Ver párrafo 16)

4.1 Se aplicará un seguro de Compensación a los trabajadores que se ajuste a las Leyes Federales (o del estado) o un seguro de riesgo para los empleados que cubra a todos aquéllos que trabajen con el contratista bajo este acuerdo.

Fig. 3–14.– Cláusula de desviación que se usa en la presente forma de contrato editada por la Asociación Americana de Contratistas de Perforación de Pozos Petroleros.

y horizontales de dirección de un punto de toma a otro, todavía queda un problema bastante duro de matemáticas que resolver para encontrar la curvatura del agujero (severidad de la "pata de perro").

La Fig. 3—15, presenta una muestra de un conjunto extenso de cálculos o tablas por medio de los cuales se puede determinar rápidamente la severidad de la pata de perro, usando los datos de dos tomas sucesivas de desviación del agujero. El juego completo de estas tablas, que fueron desarrolladas por un sub—comité del distrito del continente medio de A.P.I., se pueden obtener de A.P.I., 300 Corrigan Tower, Dallas.

ESTABILIZANDO EL AGUJERO

Un resultado de la investigación y estudio de los agujeros torcidos en los años 1950, fue volver a despertar el interés en la aplicación de estabilizadores en la sarta de perforación como un medio para controlar la desviación del hoyo del pozo. Se hicieron numerosos ensayos diferentes y la mayoría de ellos dieron pruebas de utilidad. Algunos pueden describirse como se hace adelante. Todos tenían el propósito general de permitir la aplicación de más peso en la barrena sin aumentar la tendencia a desviar.

TENSORES

Los lastrabarrenas más grandes y pesados que se corren arriba de la barrena para hacer un conjunto de "agujero empacado" han sido aceptados de tiempo atrás como un medio efectivo para estabilizar la sarta de perforación contra las tendencias desviadoras de la formación. El espacio libre entre el collar de fondo o collares y la pared del agujero, debe ser bastante para permitir el paso del fluido de perforación hacia arriba por el espacio anular.

El uso del llamado lastrabarrenas cuadrado arriba de la barrena, se ha practicado en los últimos años como un medio para proporcionar más espacio libre para el fluido de perforación sin sacrificar peso. Las cuatro aristas del lastrabarrenas cuadrado pueden zunchar con material de superficie endurecida para aumentar su vida útil.

COMBINACIONES DE ESTABILIZADORES Y ESCARIADORES

El escariador ha estado por todos lados durante mucho tiempo. Ahora la industria de perforación usa el escariador de rodillos como una herramienta separada para varios propósitos:

1). Escariar el agujero precisamente atrás de la barrena para mantener el tamaño del agujero.

2). Para actuar como un punto de apoyo precisamente arriba de la barrena para aumentar el ángulo en los agujeros perforados direccionalmente.

3). Para actuar como estabilizadores en el ensamblado de agujero con tensor y

4). Para actuar como devastador de un "ojo de llave" para agrandarlo hasta cerca del tamaño del agujero de modo que los lastrabarrenas y la barrena pasen por él sin atorarse o pegarse y para reducir la severidad de las "patas de perro"

ANGULOS VERTICALES EN GRADOS		CAMBIO DE ANGULO HORIZONTAL EN GRADOS –O CAMBIO EN GRADOS H–																					
MAS PEQUEÑO	MAS GRANDE	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
2 3/4	3 1/4	50	50	50	60	60	70	90	120	140	160	190	210	230	260	280	300	320	350	370	390	410	420
2 3/4	3 1/2	70	70	80	80	80	90	110	130	150	170	200	220	250	270	290	320	340	360	380	400	420	440
2 3/4	3 3/4	100	100	100	110	110	120	130	150	170	190	220	240	270	290	310	340	360	380	400	420	440	460
2 3/4	4	120	130	130	130	130	140	150	170	190	210	230	260	280	310	330	350	380	400	420	440	460	480
2 3/4	4 1/4	150	150	150	150	160	160	170	190	210	230	250	280	300	320	350	370	390	420	440	460	480	500
2 3/4	4 1/2	180	180	180	180	180	190	200	220	230	250	270	300	320	350	370	390	420	440	460	480	510	530
2 3/4	4 3/4	200	200	200	200	200	210	220	230	250	270	290	320	340	360	390	410	430	460	480	500	530	550
2 3/4	5	230	230	230	230	230	230	240	260	280	300	320	340	360	390	410	430	460	480	500	530	550	570
2 3/4	5 1/4	250	250	250	250	250	260	270	280	300	320	340	360	380	410	430	460	480	500	530	550	570	590
2 3/4	5 1/10	270	280	280	280	280	280	290	310	320	340	360	380	410	430	450	480	500	520	550	570	590	610
				300	300	310	310	310					400	430	450	470	500	520				620	640

COMO USAR EL

METODO TABULAR PARA DETERMINAR LA SEVERIDAD DE LA PATA DE PERRO

Ejemplo: Primer registro.
Angulo vertical: 4° 45' (4–3/4°)
Dirección: S 23° E
Profundidad: 5,700'

Segundo registro
Angulo vertical: 2° 45' (2–3/4°)
Dirección: S 1° E
Profundidad: 5,750'

SOLUCION USANDO LA TABULACION:

1. Determine la combinación de ángulos verticales:
   Angulo más pequeño: 2° 45'
   Angulo más grande: 4° 45'

2. Determine el cambio de dirección:
   En este caso, el cambio de ángulo horizontal se encuentra restando 1° de 23°, ó 22° de cambio.

3. Luego, vaya a las tablas y encuentre el valor para 2° 45' y 4° 45' en un cambio de ángulo horizontal de 22°. Como no está en la lista 22° tome el valor siguiente más próximo, que sería de 20°. Lea el valor de la tabla. Este valor es 230.

4. Para determinar la severidad de pata de perro, divida el valor leído de las tablas (230) entre la distancia entre registro (50').

$$\text{Severidad de la pata de perro} = \frac{230}{50} = 4.6^{\circ}/100 \text{ pies}$$

Fig. 3–15.– Método tabular para determinar la severidad de la pata de perro

El escariador de tipo de rodillos puede tener sus cortadores, ya sea verticales o inclinados. (Fig. 3–16). Los cortadores verticales dan una acción verdadera de rodillo, mientras que las cuchillas inclinadas dan una acción raspadora y acanaladora que evita la vibración de la sarta, eliminando el nivel plano que ocurre entre dos rodillos verticales. Generalmente, hay tres cortadores colocados alrededor del cuerpo del escariador y a esto se conoce como un escariador de "tres puntos". Este tipo se usa para escariar detrás de la barrena para mantener el tamaño del agujero y como un punto de apoyo para aumentar el ángulo de la perforación direccional de agujeros. El escariador de "tres puntos" se puede también usar como estabilizador, o como devastador de "ojos de llave". La única diferencia entre un escariador de fondo de agujero y de sarta, es que la rosca macho y la caja están invertidos, pero no es aconsejable voltear un escariador de fondo de agujero de arriba a abajo para convertirlo en un escariador de sarta o viceversa.

El escariador de 6 puntos, es simplemente un par de escariadores de "tres puntos" armados en un solo cuerpo. (Fig. 3–17). Generalmente estos se usan precisamente arriba de la barrena para hacer un conjunto rígido de fondo de agujero. Los cortadores, ya sea en el escariador de 3 o 6 puntos pueden reponerse cuando se amuelan o pierden el calibre. (Figs. 3–18 y 3–19).

Hay varios tipos de cortadores. La Fig. 3–20, muestra un ejemplo de los tipos y sus usos. Cada tipo tiene un extremo más pequeño que el otro. Este es el extremo que se coloca abajo hacia la barrena, para que si la barrena pierde su calibre, el extremo del cortador se ajuste al agujero cortado por la barrena. Esta es también la razón, por la cual los escariadores de fondo de agujero y de sarta no son intercambiables volteando los extremos. El resto del cortador es más grande para que por lo menos la mitad siempre esté cortando la formación. Cuando se desgastan los dientes de fondo del cortador, el declive se moverá gradualmente hacia arriba del cortador y los nuevos dientes entrarán en acción para seguir cortando el agujero a su calibre total.

El escariador de tipo de hoja también se puede usar como estabilizador. Sus hojas pueden también ser verticales o inclinadas, igual que en el escariador de rodillos y pueden fijarse con pernos o cuñas o soldarse al cuerpo. (Fig. 3–21). Algunas de las hojas que estén soldadas se pueden quitar cortándolas fuera del cuerpo con un soplete de soldador. Luego se sueldan las hojas nuevas con un arco eléctrico para soldar. Las hojas generalmente están recubiertas con trozos burdos de una aleación especial dura, resistente al desgaste por abrasión que se parece al carburo de tungsteno. En la mayoría de los casos las hojas giran con la sarta de perforación; por lo tanto, su función principal es escariar. Hay, sin embargo, escariadores especiales del tipo de hoja o devastadores de "ojos de llave" en los que las hojas pueden girar o no con la sarta de perforación como el desvastador de "ojo de llave" que se muestra en la Fig. 3–22. Estos nunca se usan como estabilizadores.

ESTABILIZADORES

El verdadero estabilizador es una manga acostillada montada en un mandril de manera que la manga acanalada permanece estacionaria en el agujero mientras el mandril y la sarta de perforación giran durante las operaciones de perforación. Las costillas o nervaduras pueden hacerse con hule sólido o neopreno, de hule o neopreno reforzados con aluminio o acero, de aluminio recubierto de carburo de tungsteno o de acero recubierto de carburo de tungsteno. (Figs. 3–23a y 3–23b). Generalmente, hay alguna forma establecida para asegurar la porción acanalada y evitar que gire si ocurriera, si hubiese un trabajo de pesca que requiera moler o lavar sobre el estabilizador. En la mayoría de los casos la porción

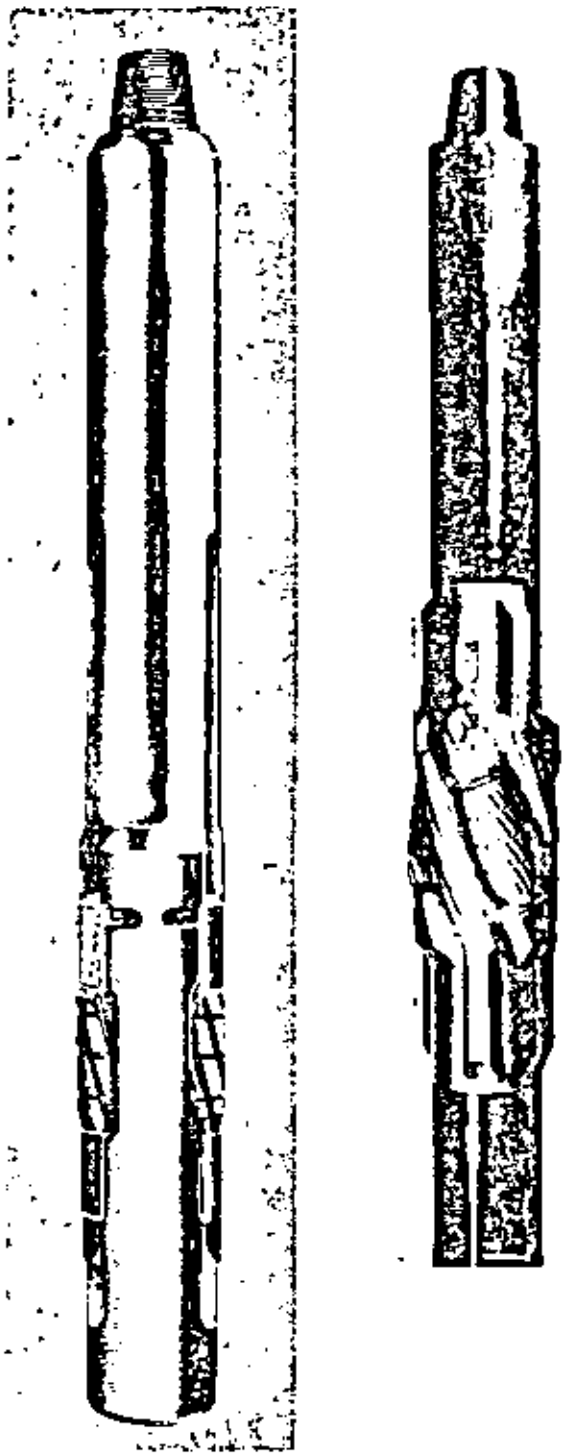


Fig. 3—16.— Escariadores de "tres puntos" de barrena representativos. Este tipo de escariador se corre entre los lastrabarrenas y la barrena. La distancia de la barrena al escariador y cortadores se mantiene al mínimo para asegurar menos repaso del fondo con una nueva barrena.

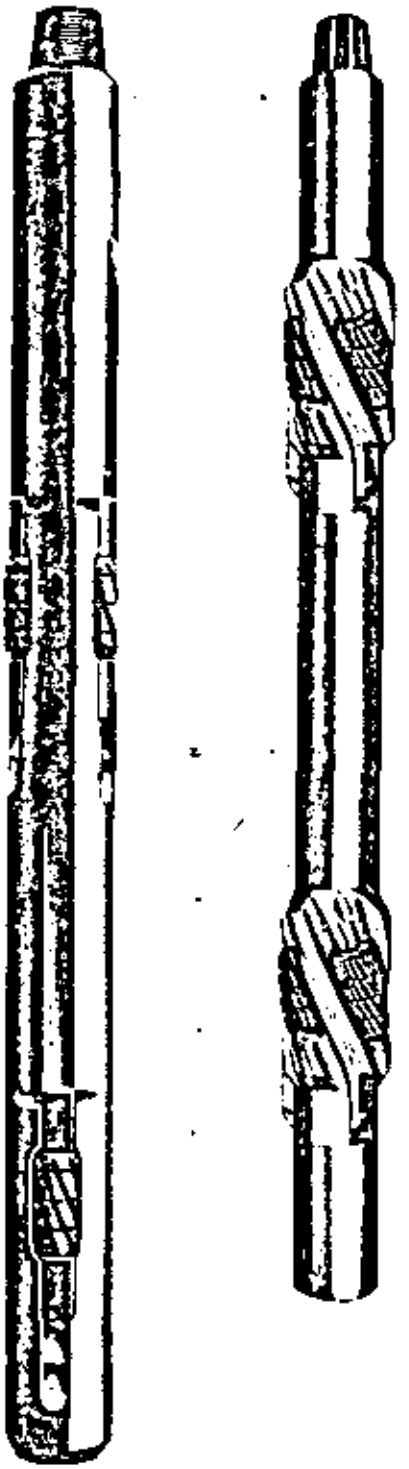
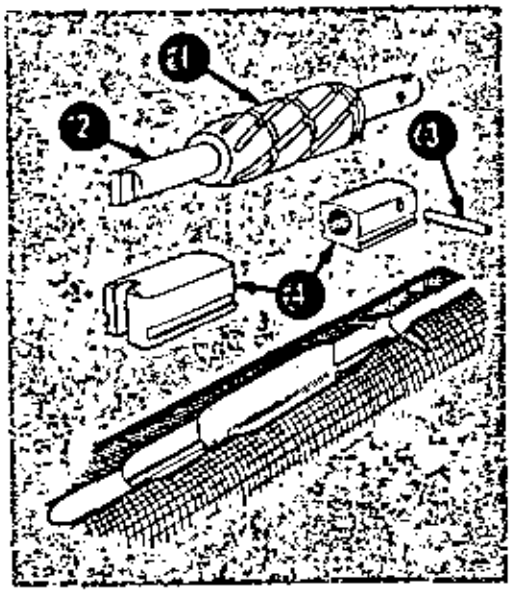


Fig. 3—17.— Escariador representativo de "tres puntos" doblas para barrena. El escariador de este tipo se corre entre los lastrabarrenas y la barrena, como sucede con el diseño de "tres puntos", pero se usa donde se requiere más estabilización o mayor capacidad de escariado.

acanalada o la manga pueden cambiarse en el piso de la torre y hacerlo la cuadrilla si las nervaduras se desgastan, ya sea destrabando la manga o destornillando el mandril y deslizando la manga por un extremo.



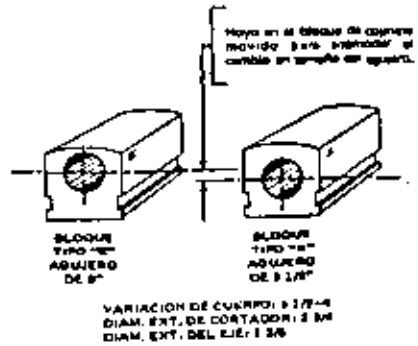


Fig. 3–18.— Cambio de cortadores de escariadores Drilco. Los cortadores: (1) giran en el eje (2) que se mantiene en el cuerpo del escariador con los 2 bloques de cojinete (4) el eje se conserva estacionario y en su lugar con el pasador (3) y una ranura de espiga en el bloque de cojinete de fondo.

Remoción.— Quite el pasador (3) con un punzón y deslice el eje del escariador (2) hasta la ranura larga del cuerpo del escariador. Quite el cortador del hueco. Mueva los bloques de cojinete hacia el hueco del escariador si se requiere quitarlos.

Instalación.— Engrase las ranuras en los bloques de cojinete y métalos en el cuerpo. El bloque con la ranura de espiga va en el fondo, el del pasador arriba. Ponga el cortador en el hueco e inserte el eje del escariador. Se recomienda que este eje se gire 180º en el bloque cuando hay desgaste. El extremo plano del eje, ajusta en la ranura de espiga en el bloque del cojinete de fondo. Reponga el pasador.

CAMBIO DE TAMAÑO DE AGUJERO.— El escariador se puede adaptar a un tamaño diferente de agujero dentro de la variación de tamaño del cuerpo reponiendo los bloques en el equipo. Los bloques de cojinete del cuerpo intercambiables de ajuste variable permiten cambios en el tamaño del agujero dentro de una variación dada del cuerpo, mientras se conserva el mismo cuerpo, cortadores y pasadores. Esto se consigue quitando los bloques de cojinete del cuerpo y substituyéndolos con un juego de bloques que tengan una localización diferente de hoyo. Entonces se arman los mismos ejes, pasadores y cortadores en el cuerpo.

BLOQUES DE COJINETE DEL CUERPO			ESCARIADOR		TAMAÑO DE AGUJERO							
					TIPO DE BLOQUE							
Variación del Cuerpo para Tamaño de Agujero, Pulgs.	No. de Parte	Peso del Juego de 3 Piezas, Lbs.	Diámetro del Eje, Pulgs.	Diámetro del Cortador, Pulgs.	A	B	C	D	E	F	G	H
4 – 4 3/8	RY1	5	3/4	1 3/8	4	4 1/8	4 1/4	4 3/8				
4 1/2– 5	RY2	5	3/4	1 3/8	4 1/2	4 5/8	4 3/4	4 7/8	5			
5 1/8– 5 1/2	RY3	7	3/4	1 7/8	5 1/8	5 1/4	5 3/8	5 1/2				
5 5/8– 5 7/8	RY4	7	1	2	5 5/8	5 3/4	5 7/8					
6 – 6 1/2	RY5	7	1	2	6	6 1/8	6 1/4	6 3/8	6 1/2			
6 5/8– 7	RY6	10	1 1/8	2 1/4	6 5/8	6 3/4	6 7/8	7				
7 1/8– 7 1/2	RY7	10	1 1/8	2 1/4	7 1/8	7 1/4	7 3/8	7 1/2				
7 5/8– 8 3/8	RY8	22	1 3/8	2 5/8	7 5/8	7 3/4	7 7/8	8	8 1/8	8 1/4	8 5/8	
8 1/2– 9	RY9	22	1 3/8	2 3/4	8 1/2	8 5/8	8 3/4	8 7/8	9			
9 1/8– 9 1/2	RY10	28	1 3/4	3 1/4	9 1/8	9 1/4	9 3/8	9 1/2				
9 5/8–10 1/8	RY11	28	1 3/4	3 1/4	9 5/8	9 3/4	9 7/8	10	10 1/8			
10 1/4–10 7/8	RY12	28	1 3/4	3 1/4	10 1/4	10 3/8	10 1/2	10 5/8	10 3/4	10 7/8		
11 –11 5/8	RY13	49	2 1/4	4	11	11 1/8	11 1/4	11 3/8	11 1/2	11 5/8		
11 3/4–12 3/8	RY14	49	2 1/4	4	11 3/4	11 7/8	12	12 1/8	12 1/4	12 3/8		
12 1/2–13 1/8	RY15	49	2 1/4	4	12 1/2	12 5/8	12 3/8	12 7/8	13	13 1/8		
13 1/4–13 7/8	RY16	49	2 1/4	4	13 1/4	13 3/8	13 1/2	13 5/8	13 3/4	13 7/8		
14 –14 7/8	RY17	49	2 1/4	4	14	14 1/8	14 1/4	14 3/8	14 1/2	14 5/8	14 3/4	14 7/8
15 –15 7/8	RY18	100	2 1/2	5 1/2	15	15 1/8	15 1/4	15 3/8	15 1/2	15 5/8	15 3/4	15 7/8
16 –16 7/8	RY19	100	2 1/2	5 1/2								
17 –17 7/8	RY20	100	2 1/2	5 1/2	SOBRE PEDIDO							
18"												

Cuando ordene bloques adicionales, muestre No. de parte seguido del tipo de bloque. Por ejemplo, para agujero de 6 3/4 de tamaño, parte No. es RY6-B.
Si se ordenan cuerpo y cortadores completos, los bloques de tamaño correcto se instalarán en el cuerpo para el tamaño de agujero especificado.
Todos los pesos que se muestran, son pesos netos.

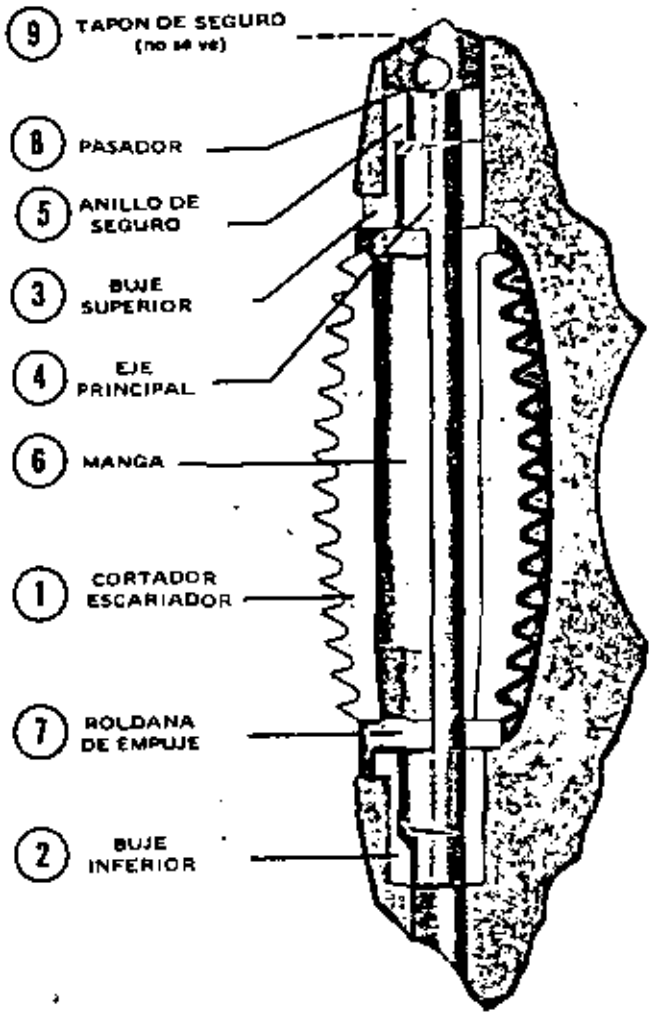


Fig. 3–19.– Cambio de cortadores de escariador Security. Un dispositivo de seguro fijo en posición los cortadores del escariador y asegura el pasador de manera que no sea posible que se dé vuelta o desaloje. Puesto que el cortador gira en el pasador, hay muy poco o ningún desgaste en las protuberancias que sostienen el eje en el cuerpo del escariador; sin embargo, los bujes del cuerpo del escariador (2 y 3) se pueden reponer si es necesario.

Remoción.– Con el escariador colocado en soportes adecuados, destornille el tapón de seguro (9) en la protuberancia superior. Saque el pasador (8) con un punzón. Saque el eje principal (4) por el fondo; el anillo de seguro saltará (5). Extraiga el cortador y la manga (1 y 6).

Instalación.– Ponga una roldana de empuje nueva (7) en la protuberancia inferior del escariador. Inserte la manga nueva (6) en el cortador nuevo (1) y ponga el conjunto en la cavidad del cortador, alineando los planos de la manga con los de la protuberancia superior. Golpéelas hasta su lugar si es necesario. Inserte el eje nuevo (4) por arriba, girándolo con un desarmador hasta que los excéntricos del eje y del buje inferior (2) se acoplan. Deslice nuevo anillo de seguro (5) por el extremo superior del eje y presiónelo hasta la muesca. Inserte el pasador (8) y golpéelo hasta que asiente (con suavidad). Engrase el nuevo tapón de seguro (9) e insértelo en el agujero. Apriételo con una llave hexagonal.

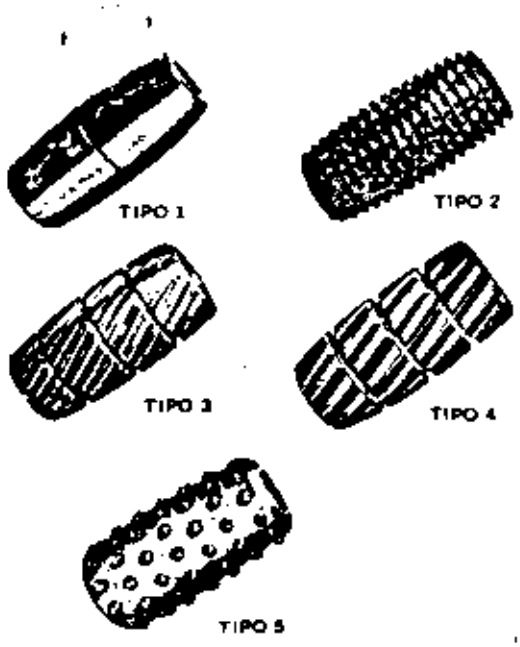


Fig. 3–20.– Cortadores de escariador de rodillos típicos. El *tipo 1* es un rodillo liso con una ranura de desgaste en el centro. Proporciona un máximo de soporte en la pared. Sus usos principales son para estabilización en la formación donde no se requiere escariar y en trabajo de perforación direccional. El *tipo 2* tiene discos circunferenciales que imparten una acción de corte muy eficiente. Se recomienda para operaciones de escariación recta en formaciones medianas. El *tipo 3* tiene estrías espirales que imparten una acción combinada de tonsurar y recortar apropiada para escariar y estabilizar la barrena en la mayoría de los tipos de formaciones duras. El *tipo 4* tiene estrías espirales aplanadas que proporcionan un grado incrementado de apoyo de pared lateral con una ligera cantidad de acción cortadora. Sus usos principales son para estabilización en formaciones extremadamente duras y en trabajos de perforación direccional. El *tipo 5* tiene inserciones de carburo de tungsteno metidas a presión en el cortador para una acción escariadora eficiente y una resistencia máxima a la abrasión. Tiene vida excepcionalmente larga en aplicaciones de escariación y estabilización en formaciones duras y abrasivas.

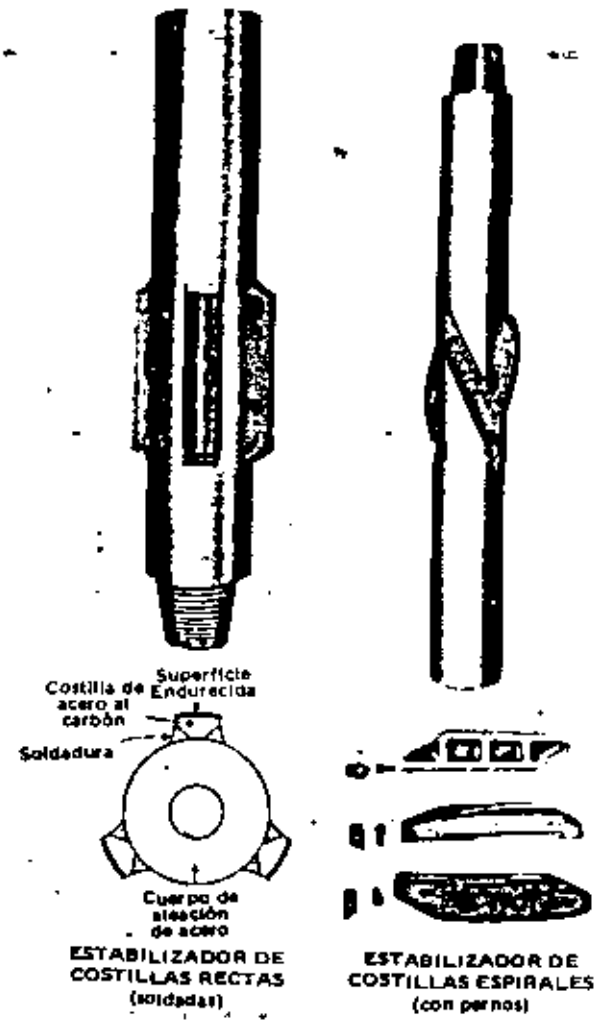


Fig. 3–21.– Estabilizadores tipo de hoja

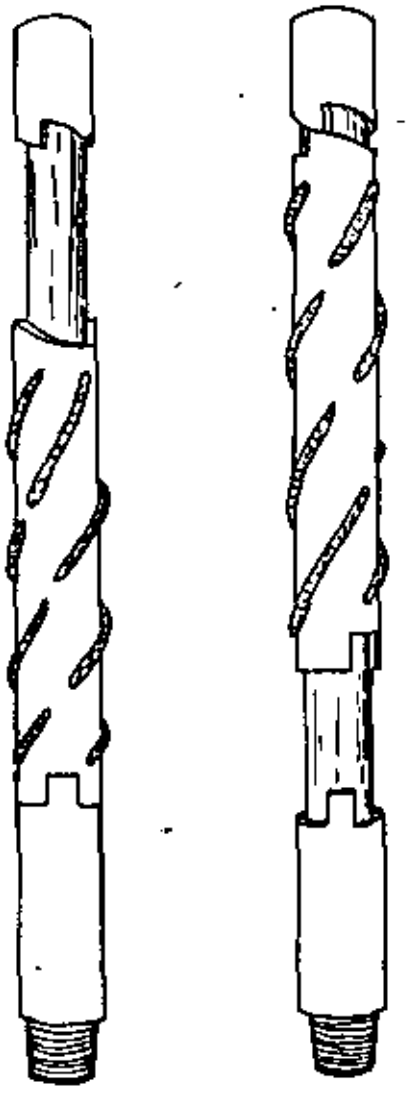
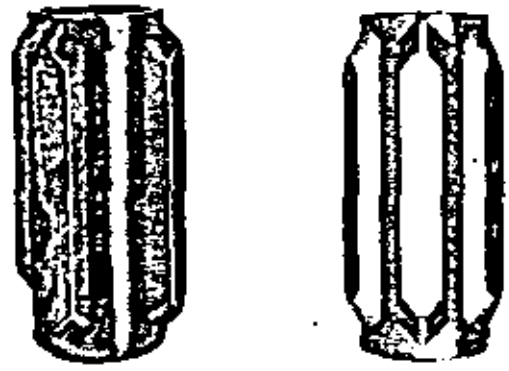


Fig. 3—22.— Operación de desbastar "ojos de llave". El desbastador de "ojo de llave" está relleno de 1/4" a 1/2" más grande que los lastrabarrenas. Está diseñado para usarlo en perforación rutinaria y en operaciones de perforación direccional. La herramienta se corre entre la tubería de perforación y los lastrabarrenas cuando se sospecha que se está formando un "ojo de llave". Su propósito es evitar que se jalen los lastrabarrenas en un "ojo de llave" durante un viaje fuera del agujero. En su lugar, el desbastador de "ojos de llave" se alojará primero.

Cuando el desbastador de "ojo de llave" se aloja, se baja la sarta de perforación cerca de 18" o hasta que la caja descanse en la manga del desbastador. Entonces, se gira la sarta de perforación. Este procedimiento hace que el embrague superior suba y gire alrededor de un embrague de la manga atorada. La rotación del embrague permitirá una elevación y descenso de la sarta de perforación, creando una acción de sacudida. La cantidad de peso aplicada a la sarta de perforación, controlará la cantidad de impacto en la manga del escariador.

Cuando la manga queda libre por las sacudidas, se continúa la rotación mientras la sarta de perforación se eleva a través del "ojo de llave". Se recomienda hacer varios viajes a través del área del "ojo de llave" para asegurar un espacio libre amplio para el paso de los lastrabarrenas y la barrena.



4
COSTILLAS

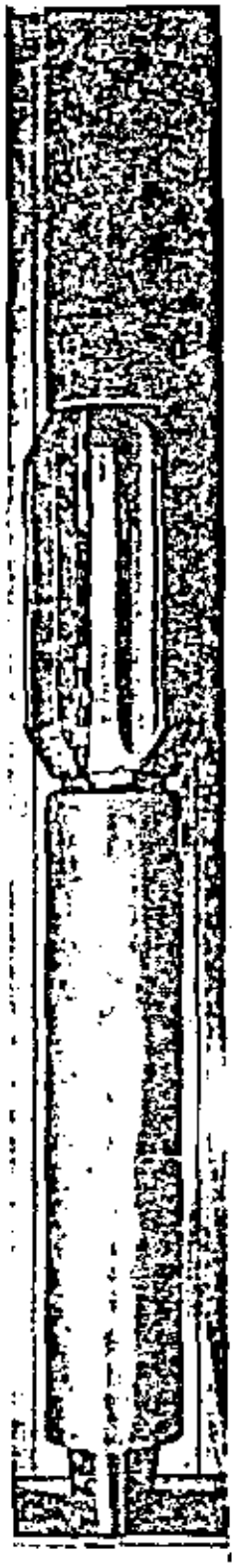
6
COSTILLAS

ESTABILIZADOR DE MANGA TIPICO DE UNA PIEZA CON CIERRE DE SEGURIDAD

Fig. 3–23a.— Selección de mangas estabilizadoras. Para formaciones más duras, como: caliza, dolomita y pedernal, son recomendables mangas estabilizadoras con costillas de hule (como se observan arriba). La manga estabilizadora de 4 costillas, permite circulación máxima mientras que la manga de 6 costillas proporciona contacto máximo con la pared. Para uso más efectivo en formaciones más suaves, tales como: esquistos, conglomerados, anhidritas y caliza rota, la manga del estabilizador está hecha de aluminio.

Reposición de manga y operación de cierre de seguridad. El punto de desenroscado para quitar la manga del estabilizador está entre la unión substituta superior y el mandril. Las tenazas del equipo se pueden usar para desenroscar la unión, pero las tenazas nunca deben ponerse en el mandril, sólo en la unión substituta superior y la que esté debajo de la manga. Una vez que se destornilla la unión substituta superior, se puede deslizar la manga del mandril. La nueva manga se marca del lado que debe ir "arriba". Es muy importante que la manga se ponga con el lado correcto hacia arriba o no trabajará el cierre de seguridad. Deslice la nueva manga en el mandril y apriete con las tenazas del equipo.

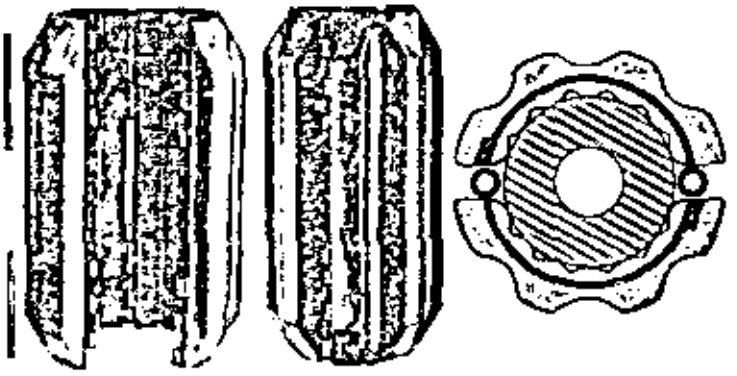
En el caso de que el estabilizador se pegue en su lugar, se puede sacudir hacia arriba o abajo. Si se necesita un trabajo de lavado se baja la junta de lavado hasta la manga del estabilizador y se aplica peso. El hule que cubre los dientes de la matraca en la manga del estabilizador se empuja hacia afuera del lugar donde la manga monta sobre el mandril (G) y se encaja en los dientes de la matraca en el embrague inferior (B). Esto cierra la manga, de manera que no puede girar y la zapata de lavado puede cortar separando las costillas.



COSTILLA ESPIRAL
TAMAÑO DEL AGUJERO
9 3/8 — 12 1/4

COSTILLA RECTA
TAMAÑO DEL AGUJERO
5 5/8 — 9

COSTILLA SEMI—SUPRIMIDAS
TAMAÑO DEL AGUJERO
5 5/8 — 9



CONJUNTO CON BISAGRAS

Fig. 3–23b. Este tipo de manga de estabilizador está construída de un hule resistente al aceite y a la temperatura, moldeado en una sección de acero con un diseño de bisagra para facilitar su montaje y desarmado. La bisagra asegura las 2 secciones de la manga permanentemente en un lado, mientras en el otro lado una bisagra similar puede asegurarse cerrando con 2 pasadores de acero que se deslizan en su lugar, formando el conjunto. Las porciones de metal de la manga se ajustan dentro de la porción depresionada del mandril, de manera que la única sección de hule del estabilizador se extiende más allá del diámetro del mandril.

RESOLVIENDO PROBLEMAS DE ESTABILIZADORES

Hace casi 20 años (por 1950) llegó el principio del brote de interés en la desviación del agujero y en los nuevos desarrollos de desahogo del mismo. Desde aquella época ha habido muchas mejoras, todas dirigidas hacia la perforación de pozos en los que el problema de desviación ejerza menos recargos a la industria.

Algunos de los desarrollos valiosos, incluyen:

1). Investigación y análisis de las causas de la desviación de los agujeros.

2). Educación amplia sobre las causas y algunos de los remedios principales para esta desviación.

3). El desarrollo de numerosos dispositivos para usar agujero abajo para mitigar los problemas.

4). Nuevas técnicas de operación para controlar la desviación sin sacrificar demasiado las velocidades de penetración.

LAS CONTRIBUCIONES DE LUBINSKI-WOODS-ROLLINS

Mucha gente además de los 3 mencionados arriba, probablemente ha contribuido al progreso registrado durante los años de 1950 en el ataque a la perforación de agujeros torcidos. Pero éstos son los nombres que se veían y oían con frecuencia. Sin recurrir a los detalles históricos y sin buscar atribuir cualquier parte del trabajo a determinado individuo, los 3 merecen la mayor parte del crédito por el desarrollo del material de las siguientes páginas.

LA META GENERAL

El objetivo general era calcular cómo se podría correr más peso en la barrena para mejorar la velocidad de penetración mientras se conservaba bajo control la desviación del agujero.

Algunas de las respuestas buscadas (y encontradas) se podrían parafrasear de la siguiente manera:

1). Si un pozo se está perforando sin estabilizadores, ¿cuánta mejoría se podría esperar con el uso de estabilizadores?

2). ¿Qué mejoría podría realizarse con la colocación correcta de los estabilizadores?

3). ¿Qué tanta mejoría podría realizarse usando lastrabarrenas más grandes?

4). Usando los mismos lastrabarrenas y los mismos estabilizadores, ¿qué mejorías serían posibles, perforando un agujero más grande? ¿o uno más chico?

LA NATURALEZA DE LAS RESPUESTAS

Se reconoció que habían 2 pasos para encontrar las respuestas:

1). El primer paso era perforar una sección de –digamos– unos 100', haciendo un registro de los resultados obtenidos con un peso conocido en la barrena y de los lastrabarrenas y estabilizadores en el agujero y de los grados de desviación del hoyo que prevalecían constantemente durante la perforación. También se requería que el ángulo de inclinación de la formación se conociera o estimara.

2). El siguiente paso era usar cálculos (que se tomaban de las cartas de nomogramas o de tablas) para determinar el grado de mejoría posible, simplemente por el incremento de peso y/o cambio de la posición de los estabilizadores (instalándolos si no se estaba usando ninguno durante la prueba mencionada).

El concepto anterior estaba basado en la teoría de que para cualquier formación y cualquier tamaño de agujero, hay un peso máximo que se podría usar si los estabilizadores se instalaran a la altura ideal arriba de la barrena, y que esto se pudiera hacer en cualquier formación dada, sin incrementar la tendencia del agujero a desviarse.

Se ha considerado que en general los estudios han tenido éxito. Se han encontrado las respuestas. Ha habido problemas para obtener las respuestas de los equipos en una forma tal, que se pudieran entender y seguir. No hay duda de que el pensamiento original, que inmediatamente fue pescado por el segmento técnico del personal de perforación, ha dado por resultado una mejoría substancial.

En las siguientes páginas se presenta una sinópsis de los resultados, ya sea en forma de gráfica o tabla. Los 3 pasos de desarrollo de las conclusiones se representan con los 3 tipos de presentaciones que siguen.

LOS NOMOGRAMAS ORIGINALES

La Fig. 3–24, muestra en forma grandemente reducida, una reproducción de las cartas nomográficas que se desarrollaron como una ayuda al perforador para determinar el peso correcto en la barrena y la colocación correcta de los estabilizadores. En tamaño para trabajo, las cartas son mucho más grandes de lo que aparecen aquí. Nadie dudó de su precisión, pero era tedioso usarlas. También, un periodo de tiempo de perforación, tenía que dedicarse a recoger los datos de las condiciones existentes antes de que se pudiera usar la carta para indicar las posibles mejorías. Las cartas nunca se hicieron populares, pero la idea básica que representaban más tarde se pasó a otras 2 formas disponibles: otros nomogramas y otras tablas.

La explicación del uso de los nomogramas en la Fig. 3–24, se ha omitido en este estudio, porque las cartas ya prácticamente nunca se usan.

NOMOGRAMAS SIMPLIFICADOS

En la Fig. 3–25, hay muestras de nomogramas que representaron un paso intermedio en la serie de presentaciones. Estas probaron que eran más aceptables que los nomogramas originales. Las cifras van acompañadas de datos explicativos.

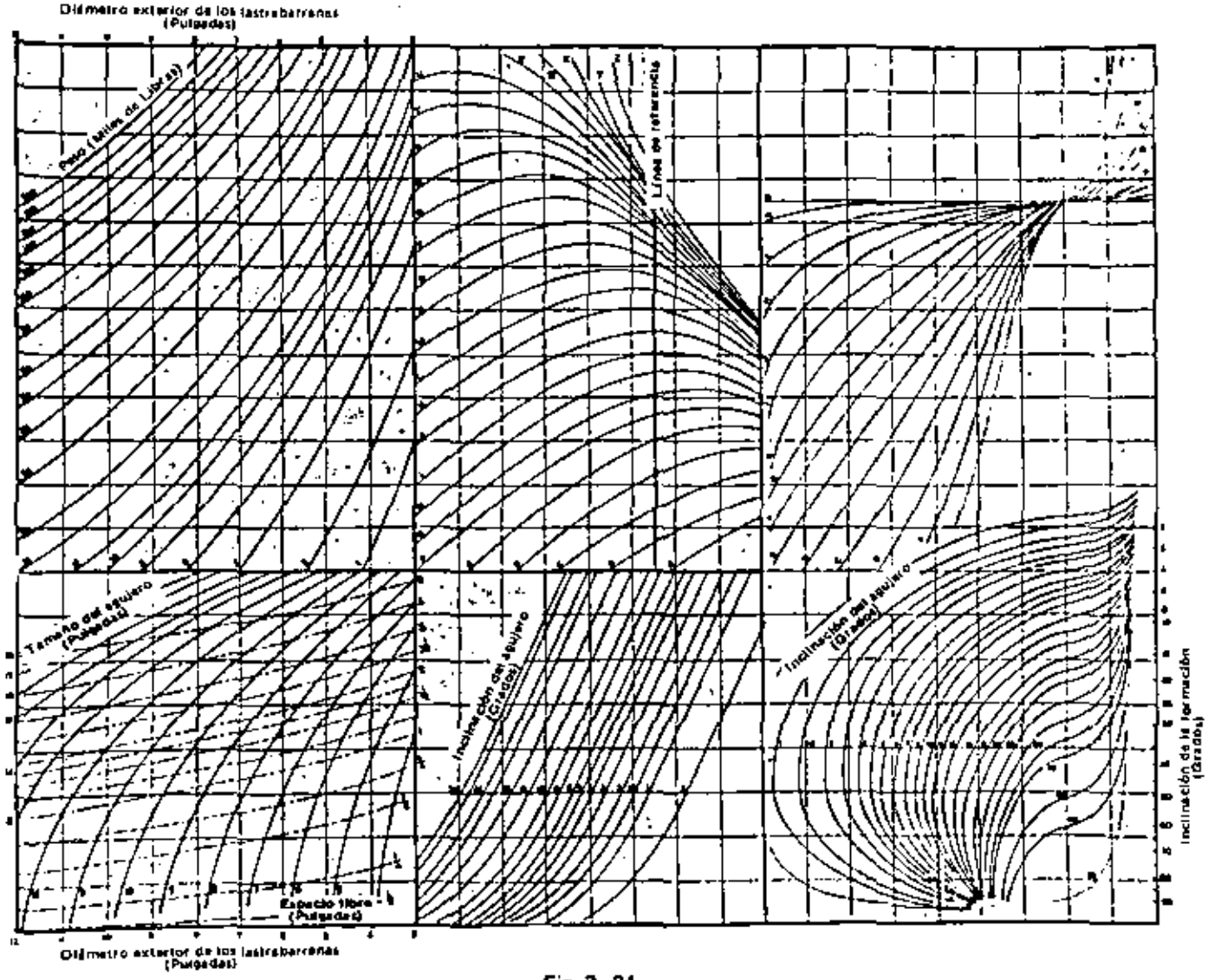

Diámetro exterior de los lastrabarrenas (Pulgadas)
Peso (Miles de Libras)
Línea de referencia
Tamaño del agujero (Pulgadas)
Inclinación del agujero (Grados)
Inclinación del agujero (Grados)
Espacio libre (Pulgadas)
Inclinación de la formación (Grados)
Diámetro exterior de los lastrabarrenas (Pulgadas)

Fig. 3–24

Estos dispositivos casi ya no se usan y los han reemplazado los datos tabulados que parecen ser más aceptables aunque no necesariamente más precisos.

TABLAS DE ESTABILIZADORES

La Fig. 3–26, es una reproducción de una página de las tablas que se prepararon para usar en lugar de las cartas que ya se mencionaron como guía para seleccionar el método más efectivo de aplicar el peso y los estabilizadores para perforar en formaciones inclinadas. Esta tabla se reprodujo del "Manual de Jefes de Perforadores de AADPPP". El juego completo de tablas llena 108 páginas en el Manual de los Jefes de Perforadores.

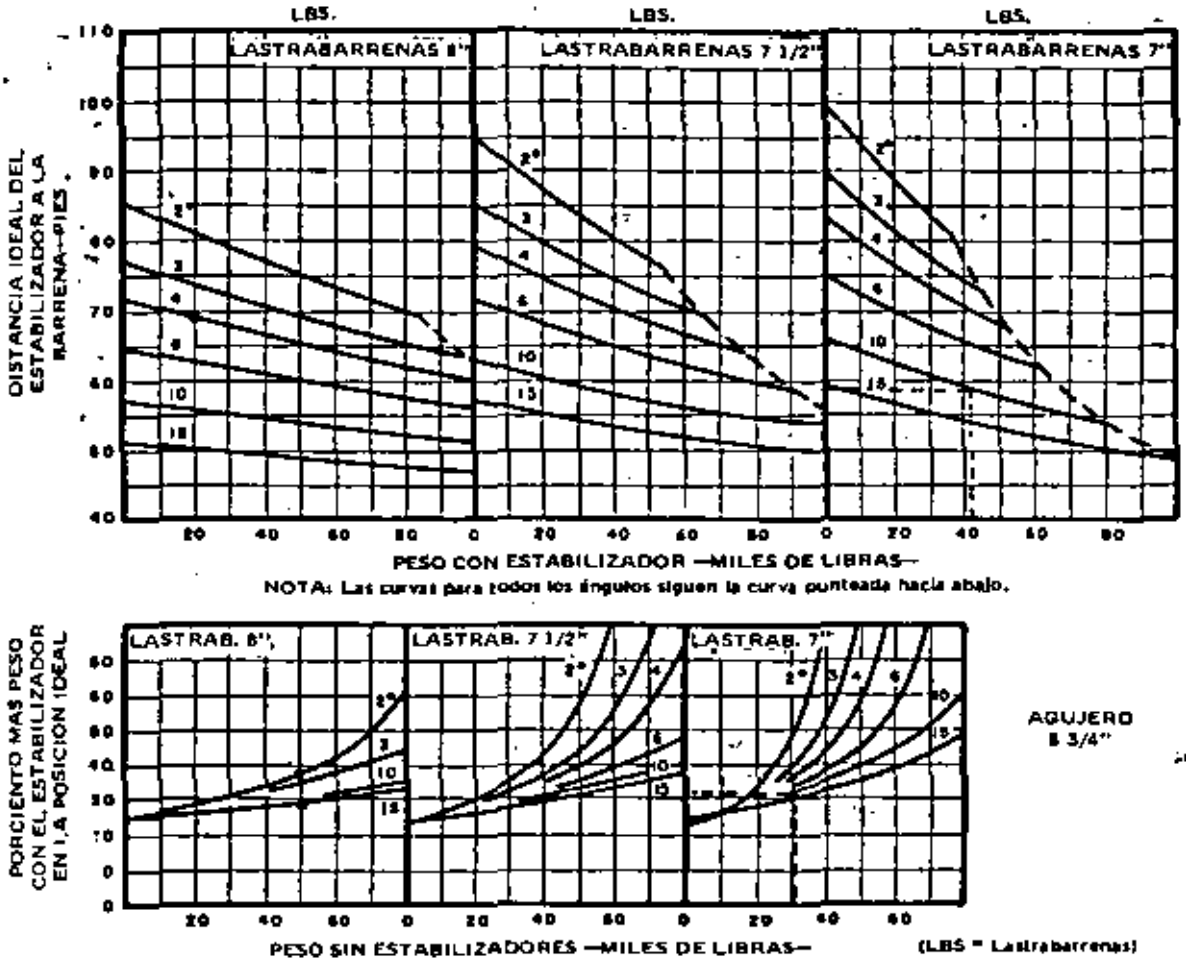


Fig. 3—25.— Colocación de los estabilizadores. Aquí se muestran 3 de las muchas cartas sobre colocación de estabilizadores. Las cartas inferiores muestran qué tan lejos de la barrena se deben colocar los estabilizadores en un agujero de 8 3/4" Se supone que el estabilizador tiene un espacio libre de 3/8".

El uso de estas cartas requiere ciertos datos, tales como: tamaño actual del agujero y del lastrabarrenas; peso en la barrena; y grado de desviación del agujero. A lo largo del fondo de la carta de abajo para el tamaño apropiado de lastrabarrenas, encuentre el peso que se está corriendo en la barrena sin estabilizador. (Ejemplo: 31,900 lb. en lastrabarrenas de 7"). Muévase hacia arriba a la curva que representa la desviación del agujero. (Ejemplo: 10°). Posteriormente, muévase a la izquierda para obtener, qué tanto peso se puede agregar con un estabilizador correctamente colocado. (Ejemplo: 32°/o más o un total de 42,100 lb.). Vaya a la carta superior apropiada y entre en el fondo con 42,100 lb. Mueva hacia arriba a la curva de desviación del agujero y luego a la izquierda para encontrar la colocación ideal del estabilizador. (Ejemplo: 58').

TABLA 28

TAMAÑO DE AGUJERO 8 3/4" – 15° DE INCLINACION DE FORMACION TAMAÑOS DE LASTRABARRENAS

Ø del Agujero y Clasificación		6"	6" con Estabilizador a la Altura Mostrada		6 1/2"	6 1/2" con Estabilizador a la Altura Mostrada		7"	7" con Estabilizador a la Altura Mostrada		7 1/2"	7 1/2" con Estabilizador a la Altura Mostrada		8"	8" con Estabilizador a la Altura Mostrada	
2°	A	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	C	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	D	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	E	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1076	1332	85–94	1120	1400	76–86
	F	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1345	1668	85–94	1398	1746	76–85
	G	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1726	2140	85–94	1795	2245	76–85
	H	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2219	2746	85–94	2305	2880	76–85
	I	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2835	3513	84–93	2945	3680	76–85
	J	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3584	4440	84–93	3729	4660	76–85
	K	3027	3720	90–100	3547	4390	90–100	4050	4980	87–97	4476	5550	84–93	4684	5850	76–84
	L	3869	4810	89–99	4556	5660	88–98	5233	6470	86–96	5823	7280	83–92	6162	7710	76–84
	M	4925	6020	88–98	5826	7280	86–96	6727	8360	85–95	7519	9410	82–91	7918	9960	75–83
	N	6137	7700	86–96	7313	9210	85–95	8517	10640	85–94	9610	12090	81–90	10203	12980	75–83
	O	7679	9760	84–93	9223	11700	84–93	10845	13670	84–93	12381	15700	80–89	13349	16920	74–82
	P	9711	12600	81–90	11803	15230	81–90	14074	17930	81–90	16327	20900	78–87	17912	22900	73–81
	Q	11813	15600	78–87	14550	19200	78–87	17625	23040	79–88	20850	27100	76–85	23473	30360	71–79
	R	15031	21200	71–79	18891	26200	73–81	23434	31800	75–83	28453	38200	73–81	32768	43200	68–76
	S	18277	28580	60–67	23642	35000	64–71	30068	44300	67–74	37821	52900	69–77	45579	62000	67–74
	T	22433	40300	49–55	29863	53750	52–58	39654	70500	52–58	52598	85000	55–61	69308	103200	56–62
	U	28338	50900	44–49	39596	71200	41–46	55684	99000	44–49	80289	144500	40–45	123768	–	–
3°	A	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	C	–	–	–	–	–	–	904	1124	80–89	991	1232	76–85	1031	1290	69–77
	D	–	–	–	–	–	–	1119	1390	80–89	1227	1529	76–85	1277	1594	69–77
	E	–	–	–	–	–	–	1412	1755	80–89	1548	1930	76–85	1611	2017	69–77
	F	–	–	–	–	–	–	1811	2250	80–89	1985	2474	76–85	2063	2580	68–76
	G	–	–	–	–	–	–	2304	2860	80–89	2525	3150	76–85	2625	3280	68–76
	H	–	–	–	–	–	–	2933	3640	79–88	3217	4000	76–84	3346	4180	68–76
	I	2756	3390	81–90	3230	4010	81–90	3681	4570	79–88	4054	5050	76–84	4236	5290	68–76
	J	3470	4310	81–90	4084	5090	79–88	4676	5820	79–88	5174	6450	75–83	5438	6780	68–76
	K	4348	5550	80–89	5137	6420	78–87	5899	7340	78–87	6529	8150	75–83	6865	8570	68–76
	L	5470	6950	79–88	6506	8170	78–87	7512	9400	77–86	8342	10490	75–83	8817	11020	67–75
	M	6781	8550	77–86	8122	10300	77–86	9451	11880	76–85	10592	13330	74–82	11316	14200	67–74
	N	8438	10610	76–84	10201	13100	76–85	11974	15100	75–83	13520	17100	73–81	14595	18430	67–74
	O	10386	13420	74–82	12695	16440	75–83	15092	19300	74–82	17308	22200	71–79	19053	24300	66–73
	P	12922	17020	72–80	16014	20900	73–81	19325	25250	71–79	22539	29160	69–77	25363	32800	65–72
	Q	15976	21940	69–77	20163	27500	69–77	24736	33060	69–77	29228	38200	67–75	33418	43400	63–70
	R	19552	28800	61–68	25194	36660	63–70	31640	44300	66–73	38436	52200	65–72	45612	60600	61–68
	S	23410	39700	50–56	30794	48900	54–60	39745	60000	57–63	50225	71800	59–66	62920	87300	58–64
	T	28144	50600	44–49	38139	68500	43–48	51027	91800	48–51	67581	113400	48–53	90811	136000	45–50
	U	34376	61800	39–43	48033	86300	33–37	67499	121300	40–45	97152	–	–	149358	–	–
4°	A	–	–	–	655	816	76–85	743	924	75–83	815	1016	71–79	847	1060	65–72
	B	–	–	–	835	1040	76–84	946	1174	75–83	1038	1293	71–79	1080	1350	65–72
	C	–	–	–	1043	1302	76–84	1182	1472	75–83	1296	1615	71–79	1351	1688	65–72
	D	–	–	–	1347	1680	76–84	1527	1900	75–83	1674	2080	71–79	1741	2172	65–72
	E	–	–	–	1671	2080	76–84	1892	2357	75–83	2073	2572	70–78	2158	2695	64–71
	F	–	–	–	2137	2660	76–84	2421	3013	74–82	2654	3296	70–78	2762	3450	64–71
	G	2303	2860	76–84	2691	3350	75–83	3055	3800	74–82	3356	4170	70–78	3489	4360	64–71
	H	2891	3580	76–84	3387	4210	75–83	3860	4810	74–82	4261	5310	70–78	4448	5550	64–71
	I	3682	4580	75–83	4333	5410	75–83	4952	6160	73–81	5497	6830	70–78	5730	7150	64–71
	J	4613	5770	75–83	5437	6780	74–82	6207	7760	73–81	6868	8580	70–78	7207	9000	64–71
	K	5653	7100	73–81	6699	8440	74–82	7684	9630	72–80	8554	10720	69–77	9022	11290	63–70
	L	7068	8950	72–80	8431	10620	73–81	9747	12300	71–79	10959	13800	68–76	11631	14640	63–70
	M	8807	11280	71–79	10591	13400	72–80	12330	15670	70–78	13985	17650	67–75	14994	19000	62–69
	N	10725	13810	69–77	13031	16840	70–78	15348	19640	69–77	17668	22500	67–74	19244	24600	61–68
	O	13237	17300	68–76	16262	21100	68–76	19374	25000	67–75	22830	29100	66–73	24987	32000	61–68
	P	16660	22360	67–74	20790	27600	66–73	25042	33100	66–73	29661	38800	64–71	33118	42900	60–67
	Q	20022	28400	60–67	25357	35400	63–70	31087	42500	63–70	37657	50500	61–68	43132	56800	58–65
	R	24000	37200	52–58	31035	46200	56–62	39182	55900	59–66	49214	68500	58–65	58882	80500	56–62
	S	28203	50700	43–48	37258	59900	48–53	48304	75300	50–56	62830	92600	52–58	78578	111300	52–58
	T	33189	59600	40–44	44901	80800	36–40	60056	108100	41–46	81871	146000	40–44	110088	–	–
	U	39421	70800	36–40	55047	–	–	77283	139000	38–42	111235	–	–	170028	–	–

Fig. 3–26.– Tabla de colocación de estabilizadores

NOTAS SOBRE EL USO DE LAS TABLAS DE PESO –DESVIACION DEL AGUJERO– DEL "MANUAL DE JEFES DE PERFORADORES DE AADPPP"

Cuando se planea mover un equipo a una nueva localización, el jefe de perforadores y/o el superintendente de perforación deben verificar lo siguiente:

1. Investigue con la compañía operadora la inclinación esperada de la formación o formaciones que se van a perforar y la posibilidad de zonas con fallas.

2. Obtenga registros de barrenas de otros pozos perforados en el área y determine de ellos las zonas esperadas de agujeros torcidos. Usando estas cartas y la información del registro de barrenas acerca de los conjuntos de lastrabarrenas y pesos, clasifique las formaciones, Clase "A" –hasta Clase "U"–. (La formación de clase "A" es la más difícil de perforar (y requiere el peso más bajo), mientras que la clase "U" es la más fácil y tiene una ligera tendencia a desviarse. Entre las otras 20 clases diferentes de formación que varían de difíciles ("B") a las más fáciles ("T").

3. Prediga los pesos probables que puede llevar a través de estas zonas con su conjunto de lastrabarrenas, mientras mantiene un ángulo aceptable del agujero.

4. Compare y evalúe los pesos probables que podría usar con lastrabarrenas más grandes o con estabilizadores también más grandes o con ambos.

5. Cuando se usen estas cartas, el diámetro de los 60 a 90' del fondo de lastrabarrenas, deberán ser los que se consideren; lastrabarrenas más pequeños arriba de éstos no afectarán el uso de esta información.

6. CUIDADO.– Para predicciones en las que el ángulo del agujero se supone que cambie, es necesario que se conozca la inclinación de la formación y que se usen las tablas correctas de inclinación. Para predicciones en las que no hay cambio en el ángulo del agujero, se pueden usar cualesquiera de las tablas; sin embargo, todos los valores de un problema se deben tomar del mismo juego de tablas –todos de las tablas de 15° de inclinación o todos de las tablas de 30° de inclinación–.

EL USO DE LAS TABLAS DE INCLINACION DEL AGUJERO –PESO–

(Para la selección del tamaño de los lastrabarrenas y para la colocación de los estabilizadores)

Se han preparado tablas que le permitan predecir el efecto en la inclinación del agujero de cambios de peso, tamaño de lastrabarrenas o el uso de estabilizadores. Estas tablas se han preparado para inclinaciones de formación de 4, 7, 10, 15, 20, 30 y 45°. En cada condición de inclinación se incluyen tablas para inclinaciones del agujero de 2, 3, 4 y 6°, y cuando son aplicables para 10, 12, 15, 20, 25, 30 y 40°. Estos valores se han preparado para todos los tamaños prácticos de lastrabarrenas para los siguientes tamaños de agujeros: 6 1/8", 6 3/4" 7 7/8", 8 3/4", 9", 9 7/8", 10 5/8" y 12 1/4". Se muestran las variaciones en peso de las barrenas para valores muy pequeños y aumentando a los valores máximos que se pueden prever que se usarán en varios años.

Se debe aclarar perfectamente que el uso de esta información debe basarse en una condición de equilibrio; esto es, el ángulo del agujero debe permanecer constante en un intervalo de 60 a 100', con un peso constante en la barrena. El uso de un escariador o estabilizador "en la barrena" hace que los datos delineados en la tabla pierdan su valor.

El siguiente es un ejemplo que ilustra el uso de estas tablas: Está perforando un agujero de 8 3/4" con lastrabarrenas de 6" en una formación que se sabe que tiene un ángulo de inclinación de aproximadamente 15°. Con objeto de MANTENER un ángulo de agujero de aproximadamente 4°, ha estado perforando a 13,000 lb. en la barrena en una formación uniforme cerca de 100'. Para esta situación, ha encontrado la CONDICION DE EQUILIBRIO —nada ha cambiado para los últimos 100'—.

De las tablas, podemos ahora predecir, qué tanto peso podría correrse con los otros tamaños de lastrabarrenas o con estabilizadores. Encontremos nuestra condición presente, tamaño de agujero de 8 3/4", inclinación de 15°, lastrabarrenas de 6", ángulo del agujero de 4°, 13,000 lb. en la barrena —en la Tabla 28—. Está localizada en la línea de 4° "0". Cualquier otro punto en cualquier línea "0" en estas tablas de 15° de inclinación es comparable a nuestra condición actual. Por ejemplo, en esta misma carta de 8 3/4" —usando lastrabarrenas de 7 1/2"— nos damos cuenta de que podremos llevar 22,630 lb. en la barrena y todavía mantener unos 40'; usando lastrabarrenas de 7 1/2" con un estabilizador a 66—73' arriba de la barrena, podemos llevar 29,100 lb.

Si deseáramos reducir nuestro ángulo de agujero a 3°, usando nuestros lastrabarrenas de 6", debemos reducir nuestro peso a 10,386 lb. (línea "0" de 3°); si pudiéramos permitir que el agujero se fuera a 6°, podríamos correr 19,721 lb. sin estabilizador o 26,800 lb. con un estabilizador colocado a 59—66' arriba de la barrena (línea "0" de 6°).

También se pueden hacer comparaciones directas con otros tamaños de agujero. Alguien perforando a través de esta sección usando un tamaño de agujero de 6 3/4" podría esperar mantener unos 3° con lastrabarrenas de 5" a 6,283 lb. en la barrena o 6° con lastrabarrenas de 5" a 12,159 lb. en la barrena. (Ver tabla 26).

Notará que en la primera columna de cada tabla se muestran el ángulo del agujero y la clase. El ángulo de agujero designa el grado de desviación; la clase de agujero indica qué tan severa es la condición del agujero torcido. Una condición de clase "A" es una condición muy severa de agujero torcido y se deben usar pesos muy ligeros para mantener un ángulo de agujero determinado; una condición de clase "U" es una condición de agujero torcido muy ligera y se pueden llevar objetos pesados. Usando nuestro conjunto de condiciones originales —inclinación de 15°, lastrabarrenas de 6", agujero de 8 3/4", 4° una formación de clase "A" permitiría el uso únicamente de 400 lb. en la barrena, una de clase "G" sólo 23,303 lb. una de clase "U" permitiría el uso de 39,421 lb. y nuestra formación de clase "O", que es moderadamente torcida, permitirá el uso de 13,237 libras.

LASTRABARRENAS

Los lastrabarrenas se usaron primero para dar mayor peso a la barrena y mantener la tubería de perforación en tensión. Antes de la segunda guerra mundial, era práctica común usar solamente de 2—5 lastrabarrenas en una sarta. Después de la guerra, llegaron a ser práctica común sartas de 18—20 lastrabarrenas en terrenos de rocas duras. La idea de que los lastrabarrenas debieran usarse también para mantener el agujero recto se desarrolló gradualmente debido a su rigidez. Actualmente, se usan largas sartas de lastrabarrenas en todas partes, aún para perforar formaciones suaves, pero solamente los primeros 2 ó 3 lastrabarrenas justamente arriba de la barrena se usan principalmente para mantener el agujero recto. Los lastrabarrenas arriba de éstas se usan para agregar peso a la barrena y para mantener la tubería de perforación en tensión.

Hay 3 maneras de reducir la curvatura de los lastrabarrenas del fondo del agujero para que se pueda aplicar la efectividad máxima de perforación de agujero recto de los lastrabarrenas:

1). Instale los lastrabarrenas de diámetro exterior más grande posible en el fondo de la sarta de lastrabarrenas, y sin embargo, hágalas lo más pequeñas para que sean seguras comparativamente en caso de un trabajo de pesca que pueda ocurrir. Debe haber también bastante espacio entre la pared del agujero y el lastrabarrenas para que pasen el fluido de perforación y los recortes.

2). Agregue estabilizadores o escariadores a la sarta de lastrabarrenas a las distancias apropiadas arriba de la barrena.

3). Agregue costillas verticales o espirales a los lastrabarrenas del fondo para aumentar el D.E. a cerca del tamaño del agujero para soporte en la pared o use un collar cuadrado. (Fig. 3–27).

El cuidado y manejo de lastrabarrenas grandes redondos, se localiza alrededor de la caja y la rosca macho, ya que son más vulnerables a la falla por fatiga que el cuerpo. Este cuidado y manejo está cubierto en la Unidad I, Lección 3 de esta serie. El desgaste del D.E. de los lastrabarrenas redondos, generalmente, es insignificante durante la perforación de un pozo porque la superficie total de desgaste es grande; pero después de que se han perforado varios pozos, el desgaste puede ser bastante para reducir la rigidez considerablemente. Es en el lastrabarrena con costillas o cuadrado en donde hay presentes superficies pequeñas de contacto, donde el desgaste puede ser importante durante la perforación de un pozo; por lo tanto, las cuadrillas del equipo deberán mantener un registro continuo de la calibración del D.E. de estas herramientas.

Las costillas que se aplican a los lastrabarrenas son soldadas y sus áreas de contacto, generalmente están recubiertas con carburo de tungsteno para resistir el desgaste. Las costillas deberán colocarse en un taller que tenga instalaciones para normalizar el esfuerzo adquirido por el lastrabarrenas por el proceso de soldadura.

El lastrabarrenas cuadrado es una barra cuadrada con esquinas redondeadas y con carburo de tungsteno aplicado cerca de la esquina de la sección cuadrada para resistir el desgaste. Las superficies redondas cerca de los extremos del lastrabarrenas, son para las tenazas. De los tres lastrabarrenas que se ven en la Fig. 3–27, el lastrabarrenas cuadrado es el más rígido porque contiene la mayor cantidad de metal.

Para correr cualquiera de los 3 lastrabarrenas que se muestran, se deben tener en cuenta varios factores:

1). Estas son las mejores herramientas cuando se usan correctamente, para retardar el cambio del ángulo de desviación cuando se perfora un pozo.

2). No evitan que el ángulo aumente, pero si evitan que el ángulo aumente a una relación rápida, evitando, por lo tanto, las "patas de perro" severas.

3). Cuando se tiene que reducir el ángulo del agujero, deben retirarse de la sarta y usarse las técnicas convencionales de "péndulo" con lastrabarrenas redondos y estabilizadores colocados cuidadosamente.

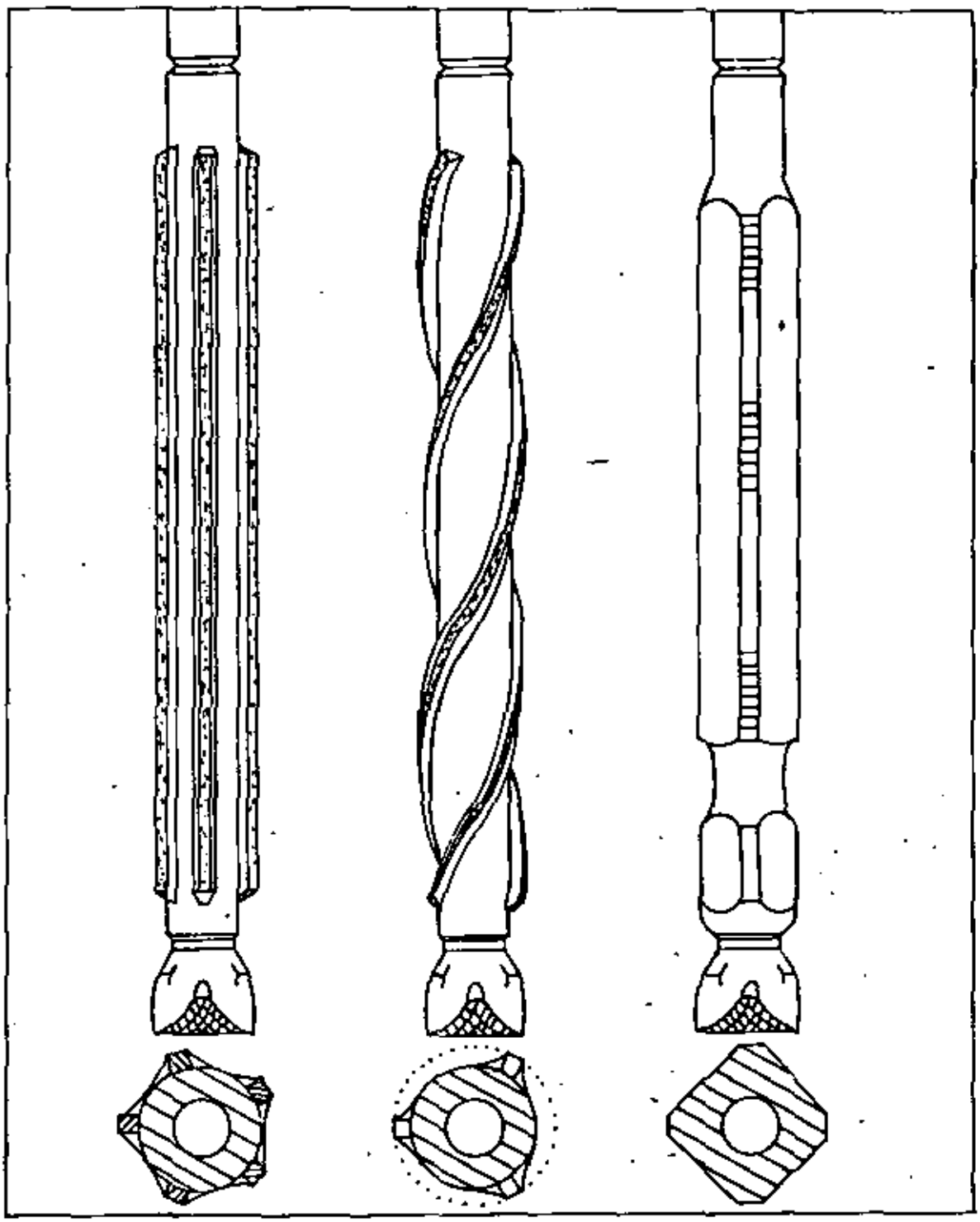


Fig. 3–27.– Lastrabarrenas de soporte en la pared

4). Para mejores resultados deberán reconstruirse cuando sea necesario para conservarlos, ajustándose al agujero muy cerca. Cuando nuevos los lastrabarrenas deberán ser 1/16" menores que el diámetro del agujero. Si los lastrabarrenas fueran hasta 3/16" más pequeños que el diámetro del agujero, pierden su efectividad.

5). Generalmente, permitirán que se lleve más peso en la barrena, lo que significa perforación más rápida.

6). Cualesquiera herramientas accesorias flexibles, como la herramienta amortiguadora de golpes, deberá correrse arriba de los lastrabarrenas que tienen contacto con la pared.

7). Los lastrabarrenas de contacto con la pared son menos efectivos en las formaciones suaves que en las formaciones duras, porque las formaciones suaves no soportan los lastrabarrenas lo bastante bien para retardar el aumento del ángulo.

8). Cuando se corren dentro del agujero lastrabarrenas de contacto con la pared después de usar lastrabarrenas convencionales, se deberán meter girándolos con un escariador. La razón es que los lastrabarrenas redondos convencionales pueden dejar "patas de perro" bastante severas para atorar los lastrabarrenas de contacto con la pared.

9). Los escariadores de cortadores de rodillos que se usen abajo de los lastrabarrenas de contacto con la pared, ayudarán a reducir el desgaste en los lastrabarrenas y evitan "arrastre" y "torque" en la sarta cuando la barrena tiende a desgastarse perdiendo calibre.

10). Los lastrabarrenas de contacto con la pared no se atorarán más que los lastrabarrenas redondos convencionales, probablemente menos que éstos, porque evitan que se peguen en la pared. Si los lastrabarrenas convencionales que se corren arriba del lastrabarrena de contacto con la pared se pueden pescar y sacar, los lastrabarrenas de contacto con la pared se pueden aflojar con sacudidas.

11). Cuando se llena con lodo un agujero perforado con aire o gas, los lastrabarrenas de contacto con la pared deben sacarse hasta que se termina de meter el lodo. Cuando se mete el lodo con frecuencia causa que algunas de las formaciones previamente secas se derrumben cuando se sumergen en el lodo. Si los lastrabarrenas de contacto con la pared se dejan en el agujero, fácilmente pueden acuñarse en el agujero con las partículas desprendidas. Después de que se completa la metida del lodo, entonces se pueden regresar al agujero los lastrabarrenas de contacto con la pared.

INSTRUMENTOS DE INSPECCION DE AGUJERO RECTO

Los métodos y técnicas para perforar un agujero recto, se dejan al contratista de perforación, pero la desviación máxima que se le permite se asienta en el convenio contractual. Las oficinas legislativas gubernamentales pueden también establecer ciertas exigencias para proteger a los tenedores de concesiones adyacentes. Además de especificar la desviación máxima del agujero permitida, el convenio contractual entre el contratista de

perforación y la compañía operadora puede establecer con que frecuencia se deben hacer inspecciones de desviación. Puede variar de 15'–500', dependiendo del área que se va a perforar. Para su propia protección, el contratista puede correr una inspección de desviación con más frecuencia de lo que lo requiere su contrato. Los intervalos de 100'–250' son normales en áreas donde la perforación es lenta y hay pocos problemas de desviación. Donde se esperan problemas de desviación el contratista debera hacer una inspección con más frecuencia.

Las inspecciones frecuentes son convenientes, pero también son caras. Aunque la mayoría de los contratistas son propietarios de sus propias herramientas e instrumentos medidores de desviación, el costo del tiempo fuera de operación necesario para meter y sacar el instrumento, puede llegar a ser excesivo cuando se corren demasiadas verificaciones de desviación.

Aunque todos los miembros de la cuadrilla de perforación deben saber como manejar el instrumento de desviación, el trabajo se asigna a un hombre en cada turno. La operación del instrumento es interesante y proporciona una oportunidad para observar de cerca los efectos de los métodos de perforación vertical controlada en el incremento de la eficiencia de las operaciones de perforación y la prolongación de la vida útil de las herramientas de perforación.

Con objeto de que el perforador tenga la seguridad de que está manteniendo un agujero vertical dentro de los límites fijados en el contrato de perforación, se deben tomar medidas periódicas. Si ha ocurrido alguna desviación, debe registrarse y compararse con la cantidad de desviación permisible en esa parte del agujero. Puesto que la perforación direccional es un campo especializado que sale de la perforación de agujero recto, aquí se llama la atención únicamente a los dispositivos de medición, generalmente usados para determinar la desviación o inclinación. Los encabezados de la brújula de la inclinación del agujero no se incluyen.

DISPOSITIVOS OPERADOS MECANICAMENTE

El principio básico de operación que se usa en los dispositivos mecánicos de medición y registro de desviación, es el efecto de péndulo. Las características típicas de construcción del péndulo se muestran en la Fig. 3–28; uno utiliza un péndulo convencional, el otro un péndulo invertido. Se encuentran similitudes entre los instrumentos de medición de desviación más usados. Los discos registradores pueden ser de materiales de papel o de metal; los círculos concéntricos impresos en los discos se han marcado para mostrar el ángulo de inclinación o la desviación de la vertical. En el instrumento están incluídos dispositivos de tiempo que le dan la seguridad al usuario de que el disco no será perforado o marcado hasta que haya transcurrido suficiente tiempo para que la unidad llegue al fondo en el lastrabarrena arriba de la barrena y para que el dispositivo indicador quede en reposo. Algunos instrumentos tienen mecanismos que dan 2 perforaciones (Fig. 3–29) del disco registrador que están exactamente a 180° separados y se toman mientras el conjunto está en reposo en una sola posición. Otros tipos como el ilustrado en la Fig. 3–30, permiten registros múltiples después de rotaciones sucesivas de la sarta de perforación y la nueva colocación del conjunto, con lo cual se revelan lastrabarrenas combados u otros daños que podrían afectar la precisión de la medición del ángulo. En la Fig. 3–31, hay un inclinómetro que usa una pequeña corriente eléctrica para producir una marca en el registrador de ángulo en lugar de las perforaciones que se usan en varios de los otros. Por la correlación de las profundidades en la línea de medición con diferentes periodos de tiempo de reposo, es

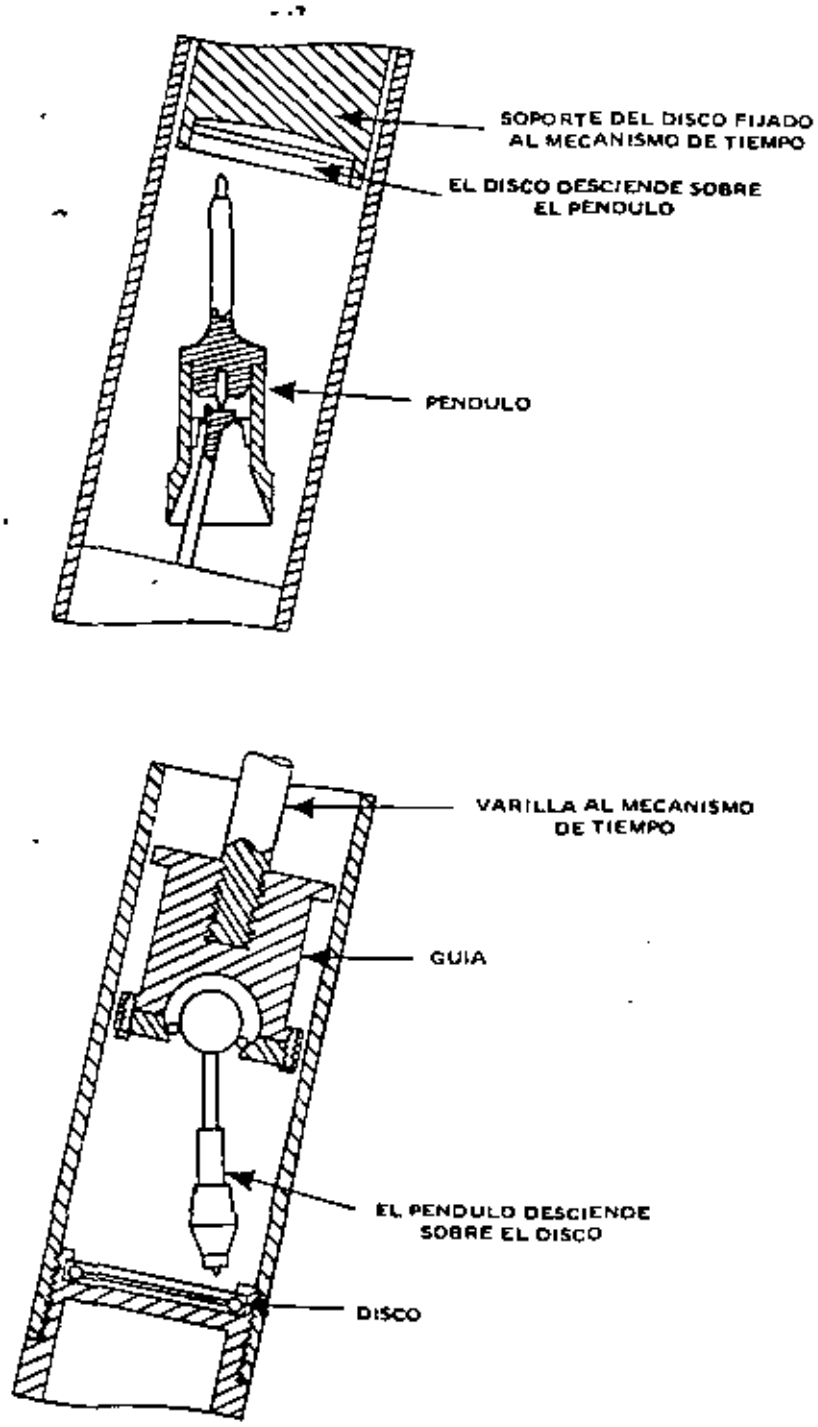


Fig. 3–28.– Péndulo registrador de desviación típico

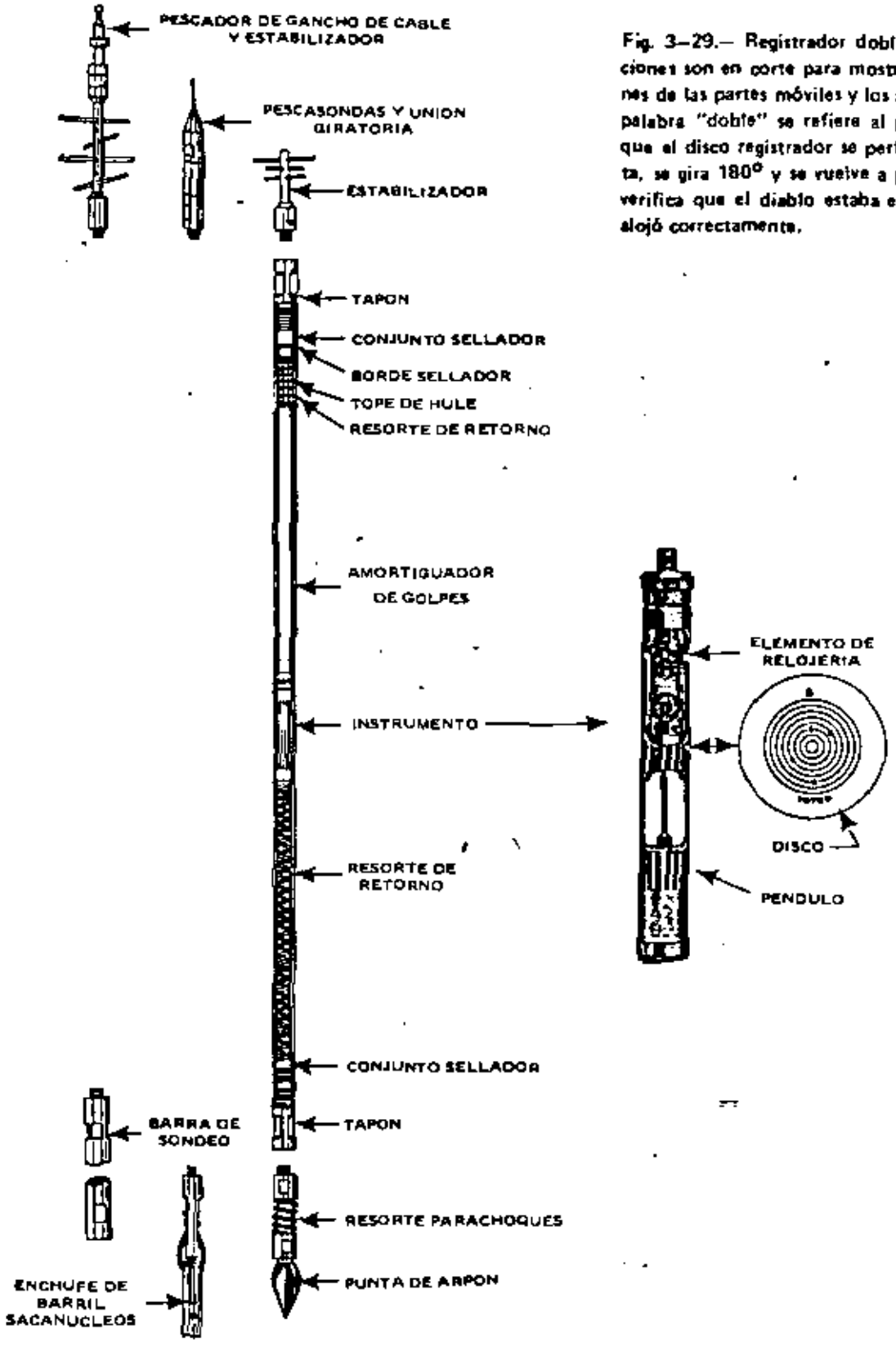
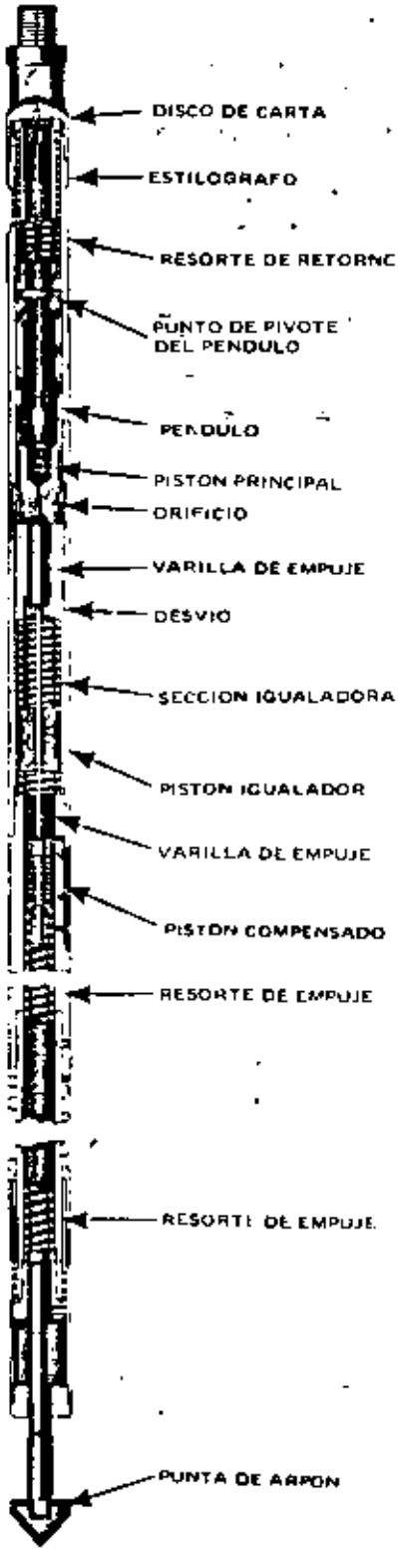


Fig. 3–29.– Registrador doble. Las ilustraciones son en corte para mostrar las posiciones de las partes móviles y los accesorios. La palabra "doble" se refiere al proceso en el que el disco registrador se perfora, se levanta, se gira 180° y se vuelve a perforar. Esto verifica que el diablo estaba en reposo y se alojó correctamente.



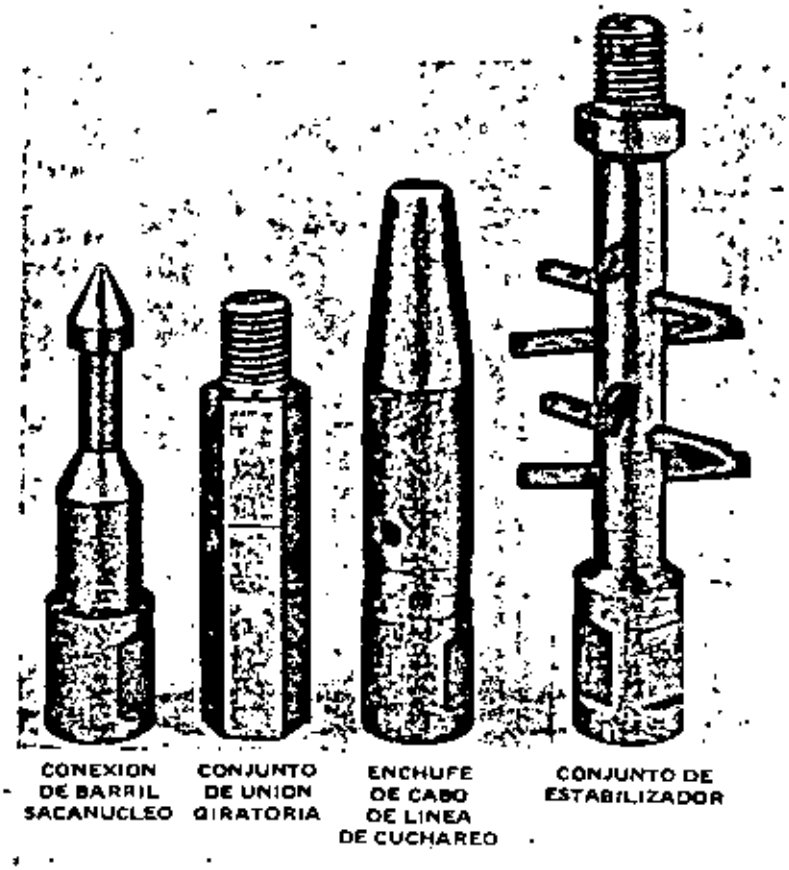


Fig. 3–30.– Registrador múltiple.

El pistón principal lleva al péndulo y al estilógrafo hacia arriba para ponerlos en contacto con el disco. El aceite que rodea al péndulo se mueve hacia abajo pasando por el péndulo a través de un orificio, sincronizando el movimiento hacia arriba del pistón principal. Al levantar el instrumento de su punta de arpón, acciona en reversa. Cuando se corre en cable, esta característica permite al instrumento amartillarse, de manera que se pueden tomar cualesquiera número de lecturas en un disco al levantar y asentar el instrumento en el deflector. El tiempo de preparación es de 30 segundos. Este es el mismo tiempo que toma el instrumento para hacer un registro cuando está reposando en el fondo.

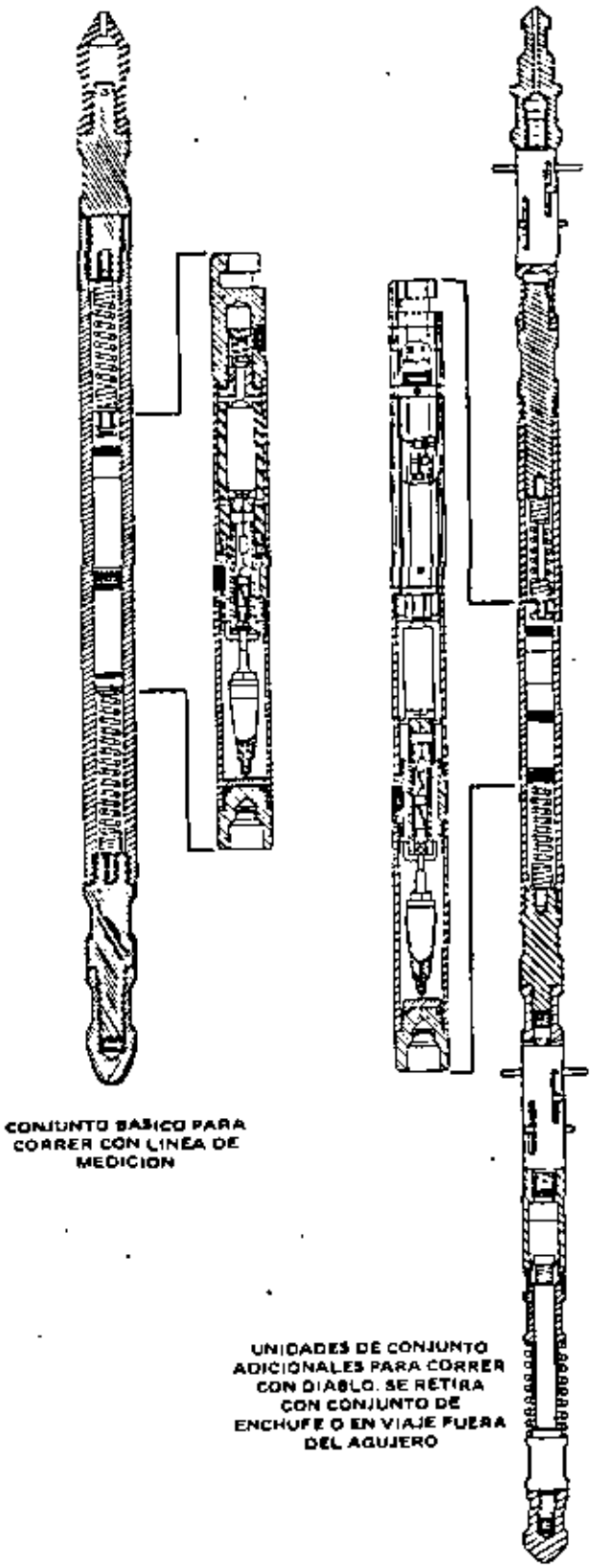


Fig. 3–31.– Registros múltiples a diferentes profundidades. Una pequeña corriente eléctrica que pasa por la punta de la plomada produce un punto blanco circular en el disco tratado químicamente cuando el inclinómetro está en reposo. El tamaño del punto varía con la duración del tiempo de inmovilidad del péndulo. La punta del péndulo tiene un estilógrafo flotante que se pone en contacto con el disco constantemente, excepto cuando se coloca horizontalmente. Entonces un resorte capilar mete el estilógrafo en el péndulo de modo que se corta el contacto eléctrico.

El instrumento no registrará, mientras se va metiendo al agujero porque el péndulo debe estar en completo reposo por lo menos 10 segundos o más antes de que el punto sea lo bastante grande para leerse. Si el instrumento se va a dejar caer en la tubería de perforación y sacarse al final del viaje, un dispositivo de relojería se atornilla arriba de la unidad de plomada para cortar el circuito después que se ha hecho un registro. Esto evita que el instrumento registre cuando la tubería de perforación esté quieta, mientras se saca cada parada. Si el instrumento se corre en cable o se saca con enchufe, no necesita dispositivo de tiempo. Una operación de cable también permite registros múltiples a diferentes profundidades en un viaje. Los puntos se identifican variando el tiempo inmóviles a cada profundidad, lo que hace variar el tamaño del punto.

DISCO REGISTRADOR DE DISPAROS MULTIPLES

DISCO REGISTRADOR

posible tomar cierto número de registros a profundidades diferentes durante una sola corrida.

METODOS PARA LA CORRIDA

Uno de los factores principales que controlan la corrida de entrada y la salida de los instrumentos medidores de ángulo, es la duración del tiempo necesario. Ciertamente cualquier manejo que diera por resultado un registro que fuera impreciso o incierto, sería una pérdida de tiempo. A medida que aumenta la profundidad del agujero, se usa más tiempo para meter el instrumento y sacarlo. El costo del tiempo fuera de operación, generalmente también aumenta en relación, así como en cantidad.

La mayoría de las cuadrillas de perforación escogen el método que consuma menos tiempo que se ajuste a las necesidades de la situación. Con frecuencia se pueden hacer 2 trabajos al mismo tiempo con un ahorro. Se enlistan aquí 3 (Figs. 3–32, 3–33 y 3–34) métodos principales:

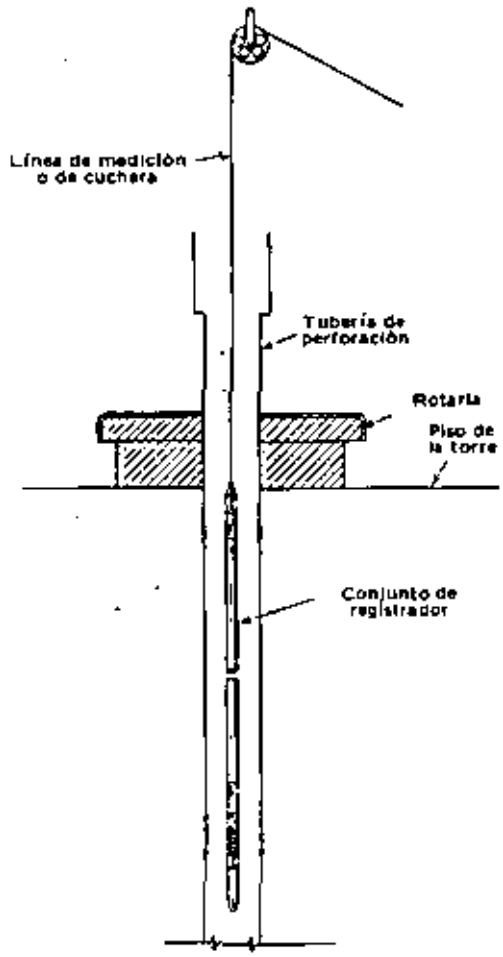
1). Meter y sacar de la tubería de perforación con una línea ligera de medición o un cable ordinario de cucharear.

2). Se deja caer en la tubería de perforación y se retira con un conjunto de enchufe de barril sacanúcleo unido a una línea ordinaria de cuchareo o de medición.

3). Se deja caer dentro de la tubería de perforación, se recupera cuando la sarta se saca del agujero.

Otra consideración muy importante en muchos campos, es la posibilidad de pegar la tubería de perforación, mientras se está corriendo el registro de desviación. Se debe tomar toda clase de precauciones para mantener al mínimo la duración del tiempo durante esta operación que la tubería de perforación esté inmóvil. El uso cuidadoso del mecanismo de tiempo del instrumento hará posibles mediciones de ángulo con sólo 3 ó 4 minutos que se tenga la tubería de perforación en reposo.

Los métodos para alojar y centrar el conjunto de diablo que protege el elemento registrador del choque y otros daños, varían con los métodos de corrida. Cuando el diablo se mete con una línea de medir o un cable de cuchara, primeramente se baja hasta la barrena y posteriormente se levanta unos cuantos pies, de manera que descanse en el lastrabarrenas más bajo. En esta posición su eje es paralelo al eje de la tubería de perforación y se puede tomar una medición correcta. En la Fig. 3–35, se muestran dispositivos para centrar el diablo con aditamentos de punta de arpón. Estos se usan cuando el conjunto se deja caer dentro de la tubería de perforación. El extremo inferior del diablo se centra en la tubería de perforación como se observa en la parte superior del conjunto se mantiene alineada con la tubería de perforación con estabilizadores, dedos de hule que mantienen la unidad en el centro del tubo. En esta posición un registro preciso de la inclinación del agujero será el resultado de la operación.



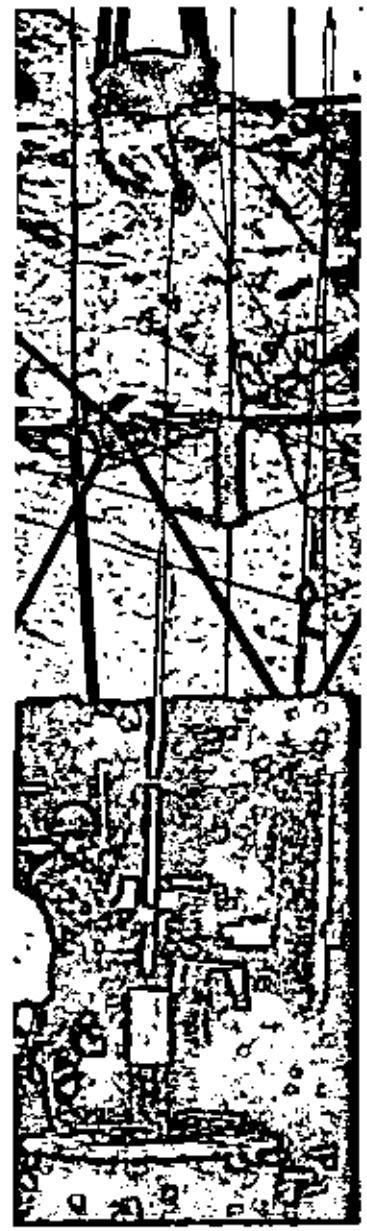


Fig. 3—32.— Método 1 para correr el instrumento de medición de ángulo de desviación (diablo). El instrumento se mete y se saca de la tubería de perforación en línea de medición liviana o en línea de cuchara ordinaria.

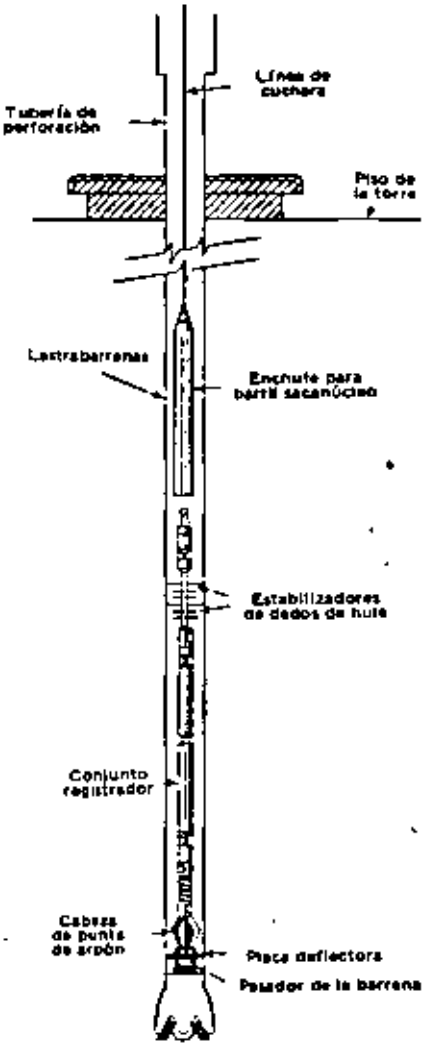


Fig. 3–33.– Método 2 para correr el instrumento de medición de ángulo de desviación (diablo). El instrumento se deja caer en la tubería de perforación. El retiro se logra con un enchufe de barril sacanúcleo que se corre en el agujero en una línea ordinaria de cuchara o en una línea de medir.

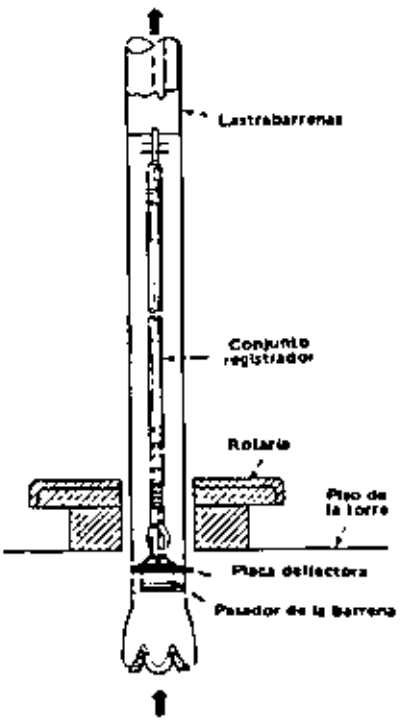


Fig. 3–34.— Método 3 para correr el instrumento de medición de ángulo de desviación (diablo). Nuevamente el instrumento se deja caer en la tubería de perforación, pero en este caso la recuperación se hace cuando la sarta de perforación se saca del agujero.

CORRECTO.— Una cabeza inferior de punta de arpón de tamaño apropiado centra y guía el registrador para una lectura correcta.

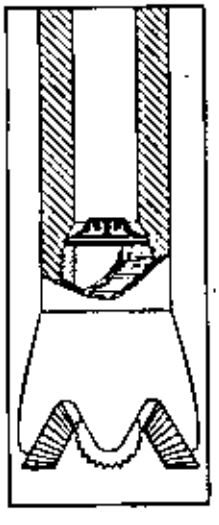
INCORRECTO.— Si la cabeza de punta de arpón es demasiado pequeña, puede resultar un registro incorrecto.

Para uniones de tubería regulares API.

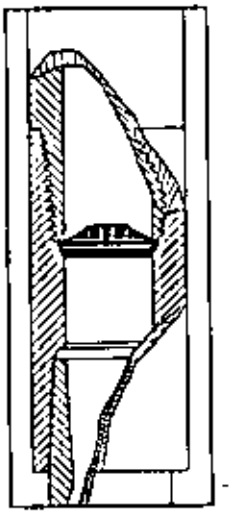
Para uniones de tubería de paso uniforme API.

Para flotadores de tubería de perforación Baker tipo B.

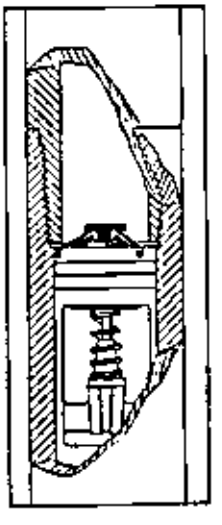
Para otros tipos de flotadores de tubería de perforación.



Placa deflectora asentada en el pasador de la barrena.



Placa deflectora asentada en la unión de tubería.



Placa deflectora asentada en el flotador de la tubería de perforación.

Fig. 3–35.— Métodos de alojar y centrar el diablo.

LECCIONES DE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 3

PREGUNTAS DE LA LECCION 3 DE LA UNIDAD II

"PERFORANDO UN AGUJERO RECTO"

NOMBRE: _____

FECHA: _____

1. Puesto que un pozo nunca puede perforarse exactamente vertical de arriba a abajo, debe decirse que un agujero recto, perforado por el método rotatorio, es uno que:

   _____

   _____

   _____

2. La porción del contrato de perforación que trata del ángulo del agujero máximo permitido, se llama: _____

3. Dé 3 razones por las que un agujero debe perforarse tan vertical como sea posible.

   _____

   _____

   _____

4. Antes de la segunda guerra mundial, solamente se usaban de 2 a 5 lastrabarrenas en la sarta de perforación con el propósito principal, de:

   _____ y:

   _____

5. Una "pata de perro" es _____ en el agujero.

6. Si ocurre una "pata de perro" cerca de la parte superior del agujero, la perforación posterior puede causar _____ que se forme en la "pata de perro" y que pueda eventualmente fatigar las uniones de la tubería de perforación o pegar los lastrabarrenas durante un viaje.

7. En formaciones que tienen una inclinación de 45° o menos la barrena tiene una tendencia a perforar _____ de la inclinación y esto es más frecuente en formaciones de tipo _____ .

8. Al perforar un agujero con una sarta de tubería de perforación y lastrabarrenas, el perforador sólo tiene una cosa a su favor para mantener el agujero en un curso vertical, es decir, el efecto de _____ de los lastrabarrenas.

9. Unicamente la porción de sarta de lastrabarrenas entre la barrena y el lugar donde los lastrabarrenas descansan en el lado del agujero se pueden considerar como un _____ efectivo.

10. Las fuerzas que se oponen a la única fuerza que el perforador tiene para mantener el agujero en la vertical, son:

_____

_____

_____

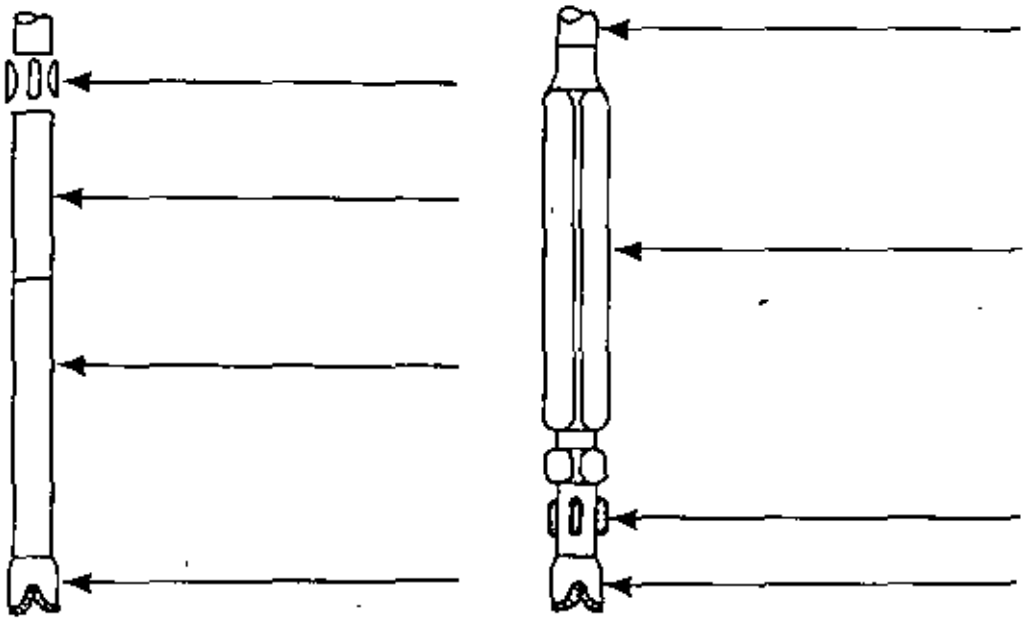
_____

11. Una manera de reducir la severidad de las "patas de perro" (curvatura del agujero) y al mismo tiempo aumentar la fuerza que perfora agujero vertical, es dar rigidez a la sarta de lastrabarrenas. Esto se puede hacer incrementando _____ de los lastrabarrenas del fondo o agregando _____ a la sarta de lastrabarrenas a un número especificado de pies arriba de la barrena.

12. En la página siguiente, hay una ilustración de un conjunto rígido de agujero y una de un conjunto empacado de agujero. Márquelas y luego marque sus partes.

13. Los instrumentos de inspección de agujero recto se pueden correr tan frecuentemente como cada _____ pies cuando el agujero torcido es un problema. Cuando no hay problema los intervalos pueden ser hasta de cada _____ pies.

14. El principio básico de operación que se usa en los dispositivos de medición y registro mecánicos, es el efecto de _____ .



_____ Conjunto _____ Conjunto

15. Un _____ se incluye en el instrumento para permitir suficiente tiempo para que el instrumento llegue a la barrena y quede en reposo antes de que se haga el registro de la desviación.

16. Los dos métodos principales para correr instrumentos de inspección, son:

_____

_____

17. ¿Qué tipo de conjunto de fondo de agujero se está usando en su equipo? _____

_____

18. ¿Por qué piensa que se corre un escariador, generalmente justo abajo del lastrabarrenas cuadrado, aun cuando no sea tan rígido como el lastrabarrenas cuadrado?

_____

19. ¿Por qué es necesario reducir el tiempo para correr un instrumento de inspección, tanto como se pueda? _____

_____

20. ¿Sabe la desviación máxima permitida en el pozo en el que está trabajando actualmente? _____ ¿está cerca de ese máximo el pozo en el que trabaja actualmente? _____ Si es así, ¿qué se está haciendo para ver que no se vaya más allá de la desviación permitida? _____

_____

_____

IMPRESO EN EL

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
DIVISION DE INFORMACION Y DIFUSION
TALLER DE PUBLICACIONES

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

LISTA DE TITULOS

UNIDAD I

EL EQUIPO Y SU MANTENIMIENTO

INSTITUTO
MEXICANO
DEL
PETROLEO

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

k/P1/35

UNIDAD II • LECCION 4

TUBERIA DE ADEME Y CEMENTACION

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

1980

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

SUBDIRECCION DE CAPACITACION

LECCIONES SOBRE PERFORACION ROTATORIA

k/P1/35

UNIDAD II • LECCION 4

TUBERIA DE ADEME Y CEMENTACION

1980

Este manual es traducción de la Serie titulada Rotary Drilling, Unit II Lesson 4, Casing and Cementing, editado por Petroleum Extension Service, The University of Texas–Division of Extension, Austin, Texas en colaboración con la American Association of Oilwell Drilling Contractors, quien concedió la autorización correspondiente al Instituto Mexicano del Petróleo, en fecha 15 de abril de 1969, para su traducción y edición en español. El Instituto Mexicano del Petróleo agradece dicha colaboración.

P R O L O G O

El Comité de Educación y Capacitación de la Asociación Americana de Contratistas de Perforación de Pozos de Petróleo, es el patrocinador de cuatro unidades de material elemental de capacitación sobre la perforación de pozos de petróleo y gas. Estas representarán aproximadamente cuatro años de estudio en la casa, aunque algunos encontrarán que es posible completar el estudio en una fracción de ese tiempo.

Esta es la Lección 4 de la Unidad II.

La lista completa de las cinco lecciones que constituyen la Unidad II, está impresa en el interior de la cubierta frontal de este manual. La lista de las diez lecciones que constituyen la Unidad I, está impresa en el interior de la cubierta posterior.

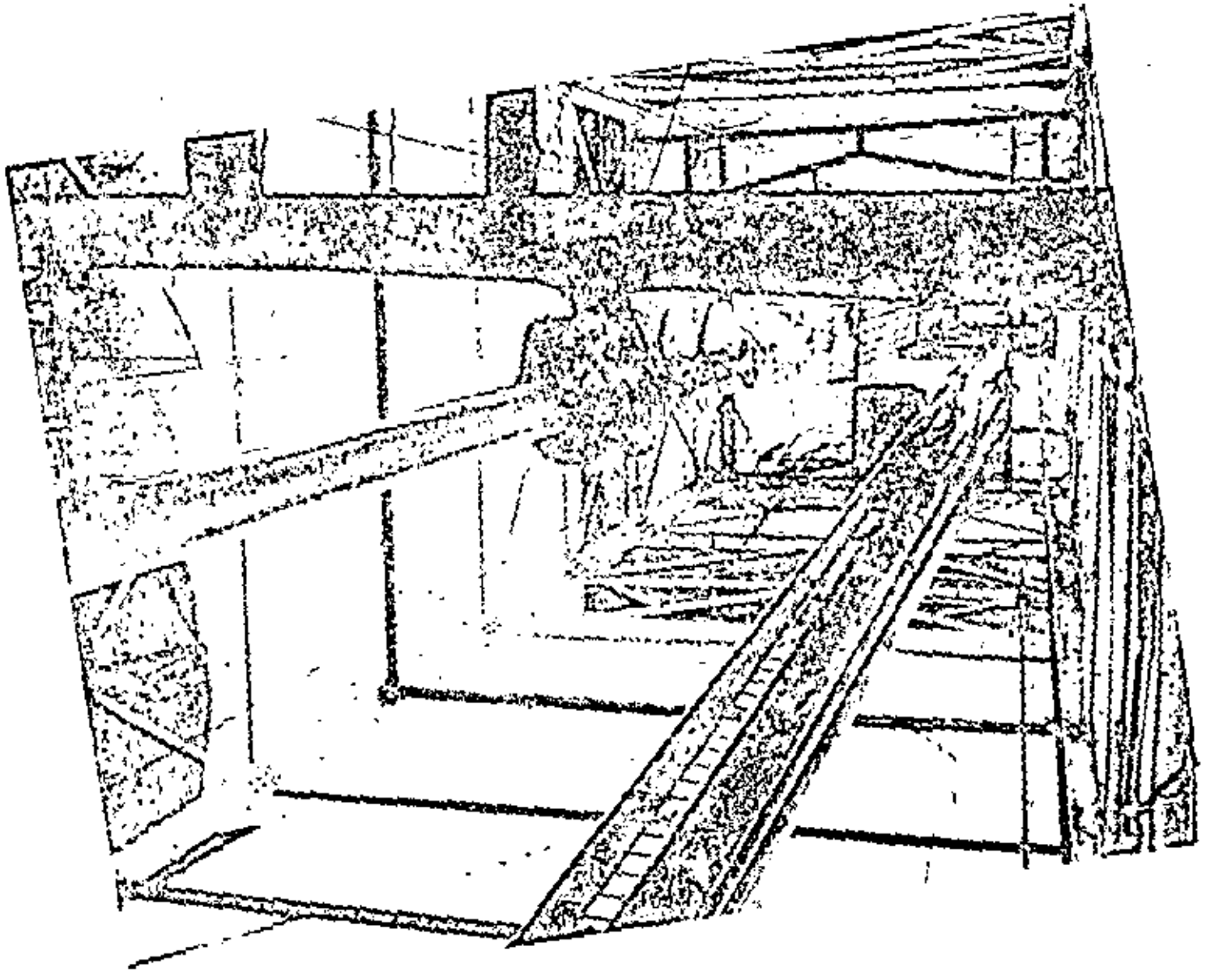
Los patrocinadores comprenden que la mayor parte del aprendizaje logrado por los hombres que trabajan en la industria de perforación, necesariamente tendrá lugar en el trabajo. Se espera que estas lecciones impresas en forma breve ayudarán al novato a obtener una ventaja en este trabajo y acelerar así el procedimiento de aprendizaje.

El Comité de Educación y Capacitación estará dispuesto a hacer sugestiones sobre la manera más apropiada para usar estas lecciones. La AADCPPP también estará en condiciones de proporcionar materiales suplementarios en forma de películas, guías de estudio, otras publicaciones, etc.

Todas las partes interesadas se comprometen formalmente con la meta de hacer que el estudio del trabajo vital de perforación de pozos de petróleo y gas resulte tan remunerativo como sea posible para el usuario de las lecciones.

John Woodruff, Director Asociado
Servicio de Extensión de Petróleo
Universidad de Texas

Austin, Texas
Julio de 1968



Contenido

Página

PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 4

TUBERIA DE ADEME Y CEMENTACION

INTRODUCCION

La perforación para obtener aceite o gas comprende dos objetivos principales: (1) perforar un agujero hasta la acumulación de petróleo, y (2) instalar una tubería desde el yacimiento a la superficie. La tubería se llama "de revestimiento o ademe" y generalmente se cementa para asegurar una conexión hermética (a prueba de presión) al yacimiento de aceite o gas. La tubería de ademe en un pozo tiene seis funciones importantes:

(1) Para evitar el derrumbe del agujero.

(2) Para evitar la contaminación del agua dulce en las arenas superiores con fluidos de las zonas inferiores.

(3) Para excluir agua de las formaciones productivas.

(4) Para confinar la producción al agujero del pozo.

(5) Para proporcionar un medio de control de la presión del pozo.

(6) Para permitir la instalación de equipo de elevación artificial para producir el pozo.

Con el método de herramientas de cable se colocaban numerosas columnas de tubería de ademe a medida que se perforaba el pozo. Pero una ventaja principal del método rotatorio es el hecho de que se puede perforar mucho más agujero abierto que lo que nunca se pudo con herramientas de cable. En la perforación rotatoria actual, el agujero abierto ordinariamente se puede perforar hasta donde se desee, debido a la mejor calidad de los lodos disponibles. La tubería de ademe, generalmente se coloca para servir a un propósito duterminado y no arbitrario ni obligatorio debido a unas determinadas condiciones del agujero.

El costo de la tubería de ademe con frecuencia es la partida única de gasto mayor en un pozo y la tubería de ademe que se usa en un pozo típico puede representar una inversión muy fuerte. La selección de tamaños, pesos, grados y tipos de conexiones roscadas de tubería de ademe para una situación dada, constituye un problema de ingeniería y

económico de gran importancia. Conseguir un buen material, correrlo en el pozo y cementarlo en su lugar deben ser procedimientos planeados.

Los perforadores y la gente de las cuadrillas que intervienen deben entender los conceptos de diseño de columnas de tubería de ademe y saber como manejar correctamente la tubería mientras esté en el soporte y al recogerla, formar la columna y finalmente cementarla en el agujero. Esta lección estudia las clases de tubo que generalmente se emplean, consideraciones de diseño de columnas o sartas, técnicas para correrla y procedimientos de cementación. Los comentarios adicionales se refieren a los colgadores de tubería de ademe, colocadores de camisas y resistencia del cemento.

En 1920, la tubería de ademe del pozo petrolero se obtenía generalmente en longitudes de aproximadamente 20 pies; los tamaños variaban de 3 a 15–1/2" de diámetro interior. Con frecuencia, pero no siempre, el diámetro interior se reducía cuando el peso por pie se aumentaba para que los acoplamientos se pudieran intercambiar para el mismo tamaño de tubo aun cuando los pesos fueran diferentes. Las roscas generalmente eran cónicas en 3/8" por pie de longitud en el diámetro y en número de 10, 11–1/2 ó 14 roscas por pulgada. Unos cuantos tamaños más grandes tenían 8 hilos por pulgada y conicidad de 3/4" por pie.

En la década de 1920 el Instituto Americano del Petróleo, logró la normalización de los tamaños y roscas de la tubería de ademe. El diámetro exterior llegó a ser la referencia normal para el tamaño y se introdujo la graduación del material de acuerdo con la resistencia. La conicidad de las roscas se normalizó en 3/4" por pie con 8 hilos por pulgada y las crestas y raíces familiares redondeadas se adoptaron en 1939. Las normas A.P.I. se aceptan ahora en todo el mundo y en las listas de tubería de ademe de A.P.I. se incluyen los equivalente decimales (métricos). El material de mejor grado y las formas mejoradas de roscas llegaron con las profundidades y las presiones de los pozos fueron más grandes.

La práctica de cementar la tubería de ademe se inició desde 1903 en California, pero el método moderno de cementar tubería de ademe arriba del fondo data de 1920 cuando Erle Halliburton cementó un pozo en el Campo Hewitt, Oklahoma, para W.G. Skelly. La Fig. 4–1, muestra el mezclador a chorro de cemento de Halliburton que todavía es un dispositivo básico para el mezclado rápido de la lechada de cemento. La Fig. 4–2, muestra la evolución del equipo de mezcla y bombeo para este trabajo.

Las bombas para cementar han progresado desde 60 hp hace cuarenta años a más de 600 hp, actualmente. Se usan equipos de bombas múltiples movidos por motores de turbina de más de 1,000 hp para trabajo de fractura de formación.

En 1930, únicamente había una clase de cemento y no había aditivos. Ahora hay 8 tipos de cemento y más de 40 aditivos disponibles. El manejo de cemento a granel es un procedimiento normal y las mezclas se hacen de acuerdo a trabajos específicos.

El tiempo de espera para el fragüe del cemento se ha reducido de 10 días en la decada de los veintes a menos de 24 horas en la actualidad. La cementación a presión, introducida en 1930 es ahora un procedimiento normal para taponar perforaciones, aislar agua, etc. El uso de raspadores y centralizadores para mejorar la cementación de tubería de ademe se inició en 1940 y ganó la atención mundial de la ingeniería después de la segunda guerra mundial.

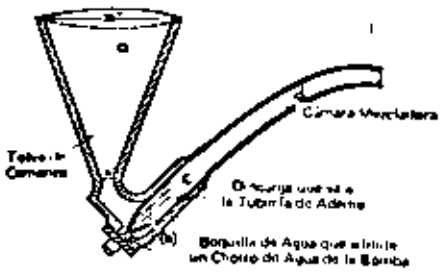
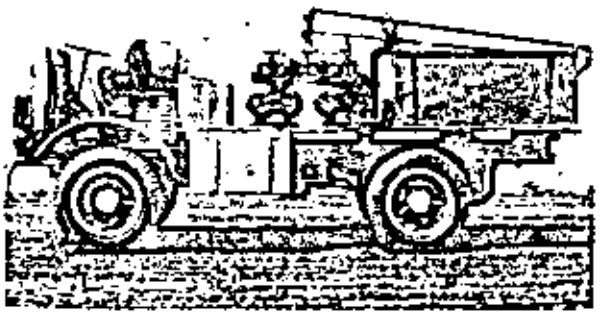
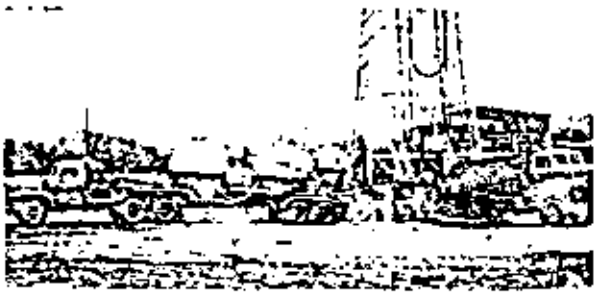


Fig. 4—1.— Mezclador a chorro de cemento Halliburton.

1920. Tanque para mezclar cemento con agua a alta presión y mezcladores de mortero; una bomba de vapor montada en un carro de mulas.



1934. Dos bombas de vapor y un tanque de agua en un camión.



1958. Cemento a granel entregado directamente en el mezclador a chorro.

Fig. 4—2.— Evolución del equipo de cementación de pozos petroleros.

TIPOS DE TUBERIA DE ADEME

TUBO CONDUCTOR

Esta porción es una sarta corta de tubo que se usa donde el terreno es suave, como en un pantano, ciénega o en localizaciones mar afuera. Se necesita como un conducto para elevar el fluido de circulación lo bastante alto para que retorne a la presa; evita que haya deslaves alrededor de la base del equipo y algunas veces provee la adaptación de un preventor de reventones cuando se puedan encontrar arenas de gas a baja profundidad. El tubo conductor sirve para proteger las sartas subsecuentes de tubería de ademe de la corrosión y se puede soportar algo de la carga de la cabeza del pozo en localizaciones en las que el soporte del terreno es inadecuado. El agujero para el conductor se puede perforar y colocarse el tubo en la forma usual, pero generalmente se encaja con un martinete para pilotes para los pozos en pantanos y mar adentro. Cuando se usa un martinete para pilotes, se emplea tubo de extremos lisos y se suelda a medida que los tramos se agregan a la columna. La Fig. 4–3, muestra tubería soldada que se está encajando en un trabajo mar afuera. Algunos de los tamaños populares de tubería de ademe para este servicio y sus fuerzas de compresión son las siguientes:

CAPACIDADES DE CARGA A LA COMPRESION
(Valores calculados para tubería completamente empotrada)

TAMAÑO	PESO	GRADO	ESPESOR DE PARED	CAPACIDAD DE COMPRESION A 80 POR 100 DE CEDENCIA
36 pulg.	(Tubería de)		3/4 pulg.	2,800,000 lb. (soldada)
30 pulg.	(Grado)		5/8 pulg.	1,800,000 lb. (soldada)
20 pulg.	(Estructural)		1/2 pulg.	1,000,000 lb. (soldada)
20 pulg.	94	H	0.438 pulg.	487,000 lb. (r y a)*
16 pulg.	65	H	0.375 pulg.	423,000 lb. (r y a)*

* roscado y acoplado.

TUBERIA DE ADEME SUPERFICIAL

La primera sarta de alguna consecuencia que se mete en un pozo se llama "tubería de ademe superficial" porque se coloca suficientemente profunda para proteger el pozo de derrumbes de formaciones sueltas que se encuentran con frecuencia cerca de la superficie. Es el punto de partida para la cabeza de tubería de ademe y otros accesorios que se dejarán en el pozo terminado. El diámetro de la tubería de ademe superficial, deberá ser menor que el del tubo conductor. La profundidad de colocación de la tubería de ademe superficial puede ser de solamente 200 pies o algo así, pero algunas veces es tan grande como de varios miles de pies. Los reglamentos estatales para la protección de los yacimientos de agua dulce, generalmente son bastante específicos acerca de la cantidad de tubería de ademe superficial. En Texas es responsabilidad del operador obtener una notificación de la Junta de Desarrollo de Aguas, respecto a la profundidad en cada localización de pozo proyectado con lo cual se protegerá el estrato de agua dulce. La autoridad reguladora de los pozos de petróleo y gas no otorgará el permiso para perforar hasta que se obtenga esta notificación. En otros estados la profundidad de la tubería de ademe superficial para protección de fuentes de agua dulce está reglamentada por estatutos similares.

La tubería de ademe seleccionada, deberá ser suficientemente fuerte para soportar un preventor de reventones y para resistir presión de gas o fluido que se pueda encontrar. La tubería de ademe superficial deberá tener resistencia para proveer un ancla sólida para la cabeza de tubería de ademe cuando se pone en producción el pozo. Ordinariamente, la resistencia a reventar deberá ser igual a 1 lb/pulg^2 por pie de profundidad a la cual se coloca; es decir, si la columna está colocada a 2,000 pies, su resistencia al reventón deberá ser por lo menos 2,000 lb/pulg^2, porque esa es la presión máxima aproximada que las formaciones que se encuentran a esa profundidad se supone que pueden tener.

Un factor importante relativo a la cantidad de tubería de ademe necesaria (la profundidad de colocación), es que la columna deberá llegar a una profundidad suficiente para alcanzar formaciones que no se fracturen o rompan con el peso máximo de lodo que puede necesitarse cuando se esté perforando a la profundidad esperada del pozo o a la que se va a colocar la siguiente columna. Si se requiere lodo de 12 lb/gal. para sostener las presiones de la formación que probablemente se encuentren, entonces la tubería de ademe superficial deberá colocarse suficientemente profunda para contener ese peso de fluido. La Fig. 4—4, muestra el gradiente de fractura que generalmente se encuentra en el sur de Louisiana. Esta gráfica indica que las formaciones a 2,500 pies soportarán lodo de 12 lb/gal. sin fracturarse; similarmente, 4,000 pies de tubería contendrán lodo de 13.5 lb/gal., etc. Los gradientes de fractura normales varían de acuerdo con las formaciones geológicas de que se trate.

La profundidad de colocación de la tubería de ademe se establece algunas veces por la profundidad de depósitos minerales que pudieran contaminarse, ya sea con el fluido de perforación o por los depósitos de sal que pudieran filtrarse con el fluido. Por ejemplo, las capas de sal en la cuenca Delaware del oeste de Texas existen a profundidades hasta de 5,000 pies. Se usa salmuera saturada a través de esta sección y la tubería de ademe superficial se coloca después de que se han penetrado estas capas. Se puede usar un fluido menos caro abajo de esa profundidad.

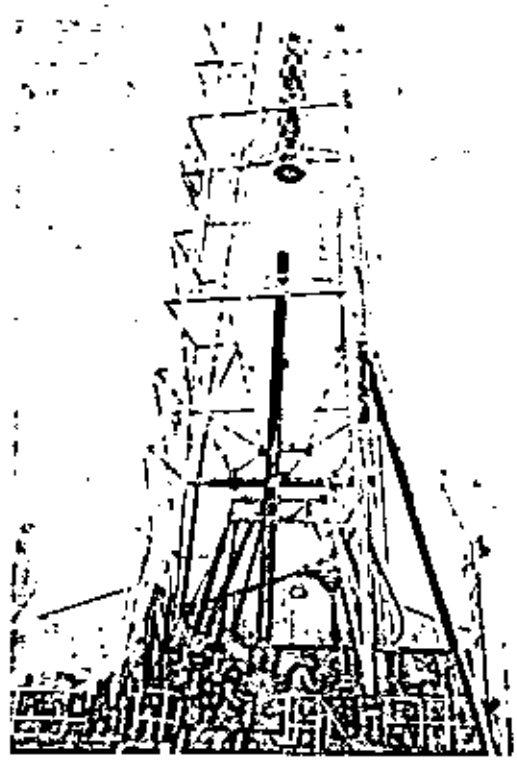
Se puede usar tubería de ademe superficial para soportar parte del peso suspendido de tubería de ademe que se corrió en el pozo después de que se colocó la tubería de ademe superficial. Esto generalmente se logra cementando la tubería de ademe superficial desde la zapata hasta la superficie. Las sartas interiores se pueden suspender colgando su peso en la cabeza de tubería de ademe. Hay disponibles dispositivos colgadores que se pueden poner en la columna de tubería de ademe superficial unos cuantos cientos de pies arriba de la zapata, permitiendo así qué parte del peso de una sarta interior se soporte en ese punto.

TUBERIA DE ADEME INTERMEDIA

El propósito principal de una sarta de tubería de ademe intermedia es proteger el agujero; esas sartas algunas veces reciben el nombre de "tubería de ademe de protección". La tubería de ademe intermedia generalmente se emplea para sellar aislando las zonas débiles que podrían abrirse con el lodo pesado que se necesita por lo general cuando se profundiza un pozo. Ocasionalmente, como en el oeste de Texas, las formaciones de sal o anhidrita pueden causar contaminación del fluido de perforación, o tal vez lixiviar a tal grado que se peguen las tuberías o formen "ojos de llave". Algunas veces una columna intermedia de tubería de ademe se usa para sellar aislando las zonas productoras viejas, con objeto de perforar para obtener producción más profunda.

La función usual de esta sarta, es proporcionar protección contra la pérdida de circulación en formaciones poco profundas cuando se necesita lodo de mucho peso para

Fig. 4—3.— Tubo conductor de 20 pulgadas que se está encajando con martinete de pilotes movido con motor diesel.



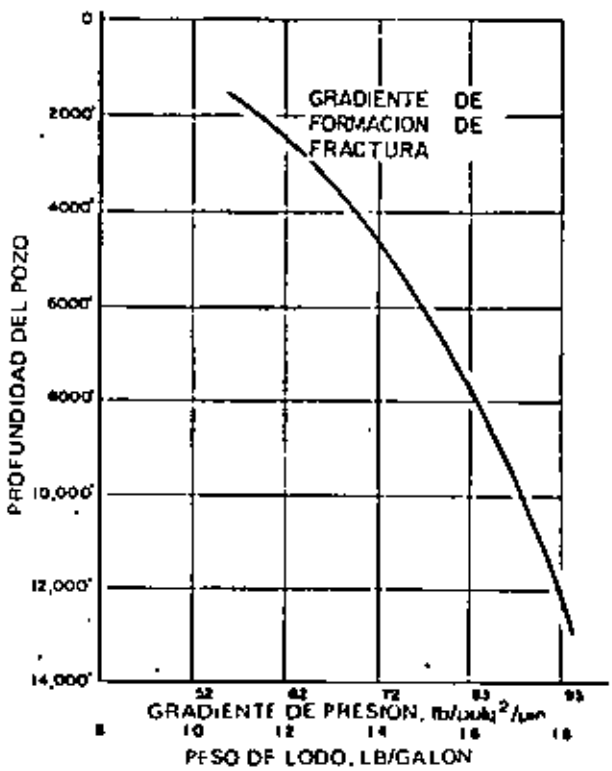


Fig. 4—4.— Gradiente de presión de fractura de formación aproximado en el sur de Louisiana con equivalentes de peso de lodo.

perforar a más profundidad porque normalmente se encuentran presiones más altas. Proporciona mejor protección contra la presión del pozo que la sarta superficial, porque su diámetro más pequeño resiste más presión y porque no se desgastará debido a la abrasión de la columna de perforación. La profundidad de colocación de una columna intermedia deberá ser suficiente para alcanzar formaciones capaces de sostener el peso del lodo que se espera emplear cuando se esté perforando más profundamente, como se explicó para la tubería de ademe superficial.

La tubería de ademe intermedia se coloca algunas veces a través de zonas de alta presión de manera que se pueda usar fluido de perforación más ligero para perforar a mayor profundidad. Este es el procedimiento que se sigue en la cuenca Delaware en el oeste de Texas, donde la tubería de ademe de protección (generalmente una camisa), se coloca dentro de la formación Misisipiana. Esas camisas con frecuencia se convierten en sartas completas de tubería de ademe hasta la superficie si se encuentra producción. La sección superior se llama sarta de "retenida".

COLUMNA (O SARTA) DE CAMISA REVESTIDORA

Una camisa es una columna revestidora abreviada que se extiende desde el fondo del pozo a un punto 100 pies —algunas veces más— arriba del extremo inferior de la sarta intermedia o de aceite. Las camisas casi siempre se suspenden de la sarta superior por medio de un dispositivo colgador. Con frecuencia se cementan en su lugar, pero las camisas de producción se suspenden algunas veces en el pozo sin cementarse. Aun cuando las normas de A.P.I. incluyen camisas de extremos lisos, se puede emplear cualquier tipo de tubería de ademe para ese objeto.

La ventaja principal de una camisa es el menor costo, porque solamente se necesita una sarta corta de tubo en lugar de correr una sarta completa hasta la superficie. Los sellos de camisas revestidoras algunas veces ocasionan problemas, debido a escurrimientos y ocasionalmente el desprendimiento de la columna con que se mete es difícil o imposible. El espacio libre entre una camisa revestidora y la sarta anterior de tubería de ademe con frecuencia es más pequeño que lo usual con otras tuberías de revestimiento. Las camisas algunas veces se colocan en agujeros profundos como sartas protectoras, sirviendo el mismo propósito que las sartas intermedias. Las sartas retenidas se pueden correr después de que se ha perforado el agujero a la profundidad total, asegurando así en la parte superior del agujero una buena sarta de tubería de ademe que no se había usado antes para perforar.

TUBERIA DE ADEME DE PRODUCCION (SARTA DE ACEITE)

La colocación de esta sarta de tubería de ademe, como se dijo en las observaciones introductorias, es uno de los principales objetivos cuando se perfora un pozo de aceite o gas. En muchos sentidos, la sarta de aceite es el pozo petrolero; las otras partes de equipo son accesorias a la columna de aceite. Esta sarta de tubería de ademe sirve para aislar el yacimiento de los fluidos indeseables en la formación productiva y de otras zonas penetradas por el agujero del pozo. Es la cubierta protectora para la tubería de producción y otros equipos usados en un pozo. La tubería de producción se puede sacar del agujero para cambio o inspección, pero la sarta de aceite está cementada en su lugar. De hecho, la manera de cementar la sarta de aceite, generalmente está sujeta a especial atención en la cuestión de hacer una liga absolutamente hermética entre las formaciones y el tubo.

La tubería de ademe de producción, deberá ser tubo de la mejor calidad apropiado para las condiciones de que se trate. La columna de aceite con frecuencia es la última tubería de ademe que se coloca en un pozo; por lo tanto, será la más larga y con frecuencia es la sarta de tubería más pesada. En la mayoría de los casos, la sarta de aceite puede estar sujeta a las presiones máximas del pozo; por lo tanto, deberá ser la mejor tubería que se ponga en el pozo. Un pequeño escurrimiento puede convertirse en un reventón, por lo que las conexiones roscadas de la columna de aceite deberán ser apropiadas para las presiones que se puedan encontrar. Los acoplamientos de la tubería de ademe deberán armarse cuidadosamente a medida que se mete la tubería en el agujero para resguardarse contra futuros escurrimientos. Las variaciones entre los fabricantes en sus especificaciones para tubería de ademe y su deseo de obtener acoplamientos herméticos usando tuberías de diversos orígenes fueron las principales razones para que se establecieran las normas A.P.I. Las mejoras para manejar pozos más profundos y presiones más altas han sido adoptadas por el A.P.I. para tubería de ademe y para otros productos tubulares a medida que se desarrollan y establecen. Se puede obtener tubería No A.P.I. con varios fabricantes, pero los tamaños, grados, y formas de rosca A.P.I. son los más populares.

NORMAS A.P.I. PARA TUBERIA DE ADEME

VARIACIONES DE LONGITUD

La tubería de ademe A.P.I. se designa por la variación de longitud de cada tramo. La división de producción de A.P.I., publica especificaciones para tubería de ademe, producción y perforación. La norma A.P.I.—5A, edición 28, marzo 1967, muestra lo siguiente:

VARIACIONES DE LONGITUD DE TUBERIA DE ADEME API

CLASIFICACION	VARIACION DE LONGITUD (pies)	LONGITUD* MINIMA (pies)	VARIACION DE LONGITUD MAXIMA* (pies)
1	16 – 25	18	6
2	25 – 35	28	5
3	Arriba de 34	36	6

* Variación de longitud para 95% o más de una carga de plataforma.

GRADOS

A.P.I., reconoce cinco grados de acero (siendo uno tentativo), para tubería de ademe de pozo de petróleo basados en el límite mínimo de elasticidad a la tracción del material. El acero es un material elástico y se estira al aplicar tracción; hasta el límite de elasticidad a la tracción el material recobra su longitud original cuando cesa el esfuerzo.

GRADOS A.P.I. DE TUBERIA DE ADEME

GRADO DE TUBERIA DE ADEME	RESISTENCIA MINIMA A LA TRACCION (lb/pulg^2)	
H – 40	40,000	
J – 55	55,000	
C – 75	75,000	(norma tentativa)
N – 80	80,000	
P – 110	110,000	(Tubería de ademe de alta resistencia)

Se puede conseguir tubería de ademe con resistencia más alta que la de la P–110 en determinados tamaños con pedidos especiales en algunas de las compañías de acero. Uno de esos grados es el 150 YS, un acero No–A.P.I. que tiene una resistencia mínima a la tracción de 150,000 lb/pulg^2. La resistencia a la tracción para estos propósitos, se define como "la resistencia a la tensión requerida para producir un alargamiento total o estiramiento de 0.5%/o de la longitud". Sin embargo, la resistencia a la tensión de la tubería de ademe P–110 es el esfuerzo requerido para producir un alargamiento total de 0.6%/o de la longitud.

La tubería A.P.I. puede ser sin costura o de acero con soldadura eléctrica, pero la mayor parte de la tubería de ademe que se usa en los pozos de petróleo está fabricada por el proceso sin costura. La tubería de ademe A.P.I. se hace por trabajo en caliente, o subsecuentemente acabando en frío un tubo trabajado en caliente para producir la forma deseada, sus dimensiones y propiedades. Los grados A.P.I.J. y N se pueden normalizar si así se desea. El grado C–75 es térmicamente tratado en toda su longitud y templado; el P–110 es templado por enfriamiento súbito o normalizado. El acero que se use para tubería de ademe A.P.I. debe ajustarse a las especificaciones establecidas que cubren las propiedades físicas y químicas. Pruebas de control en la fundición de tensión y aplastamiento se efectúan en cada colada de acero que se usa para la producción de tubo A.P.I. El A.P.I. especifica que cada longitud de tubería de ademe se deberá probar a una presión hidrostática dada en la fundición para que no tenga escurrimiento. La prueba de presión en la tubería de ademe hasta de 10–3/4 pulgada de diámetro debe ser suficiente para producir un esfuerzo de fibra igual al 80 por 100 de la resistencia a la tensión mínima del material. La tubería de 10–3/4 y más grande, se sujeta a una prueba de presión suficiente para producir un esfuerzo de fibra de 60%/o de la resistencia mínima a la tensión.

La tubería de ademe de A.P.I. también se designa por (1) el diámetro exterior, (2) peso por pie, (3) grado del acero, (4) espesor de pared y (5) tipo de roscas. La Fig. 4–5, que es una reimpresión de la Tabla 1.1, de la norma 5A de A.P.I., muestra la lista de tuberías de ademe A.P.I. La Fig. 4–6 da información similar respecto a las normas tentativas para el grado C–75 de la tubería de ademe A.P.I., y la tubería de ademe A.P.I. de alta resistencia.

ROSCAS Y ACOPLAMIENTOS DE TUBERIA DE ADEME

La tubería de ademe de pozos petroleros que se ajusta a las normas A.P.I., puede obtenerse con extremos lisos, pero generalmente es roscada y se suministra con acoplamientos como sigue:

- 8 roscas redondas, acoplamientos cortos

8 roscas redondas, acoplamientos largos

rosca de filete de sierra, con acoplamientos

roscas de línea extrema (unión integral)

La Fig. 4–7 describe detalles generalizados de estas conexiones, mostrando las posiciones apretadas a mano y con potencia. Siguiendo la práctica normal A.P.I., los acoplamientos de tubería de ademe se enroscan en la tubería apretados con potencia, excepto si los acoplamientos especificados se arman apretándolos manualmente. El propósito de armar los acoplamientos, apretándolos manualmente, es facilitar que se quiten los coples para limpieza y para inspeccionar las roscas y aplicar compuesto fresco para tuberías antes de usar la tubería. Se ha encontrado que el procedimiento da por resultado menos casos de escurrimiento por las roscas, porque los acoplamientos apretados con fuerza aplicada en el molino aunque quedan herméticos al armar no siempre permanecen así después del transporte y el manejo. Apretarlos manualmente se define como "suficientemente apretados de modo que el cople no se pueda quitar, excepto con el uso de una llave". Las secciones 6 y 8 de la regla 5A de A.P.I. dan las dimensiones y otros detalles de las diversas formas de roscas A.P.I. y los acoplamientos disponibles.

El comportamiento de la tubería de ademe varía de acuerdo con el tamaño nominal, grado y espesor de pared. El Boletín 5C2 de A.P.I., novena edición, marzo de 1966, da las propiedades de funcionamiento de las tuberías de ademe y producción. En el Apéndice se muestran varios ejemplos de ese boletín.

Las resistencias de la tubería de ademe a la tensión, la reventazón y el aplastamiento se toman en cuenta cuando se selecciona tubería específica para una situación dada. Cuando se corre la tubería de ademe, los coples que forman las uniones en la sección superior están en tensión, es decir, tendiendo a partirse, debido al peso abajo de ella. Estas uniones deben tener suficiente fuerza para resistir la rotura o la deformación cuando estén bajo carga de tracción. También deben ser a prueba de escurrimiento en tensión si la columna de tubería de ademe ha de trabajar debidamente. Las uniones de rosca redonda, diente de sierra y línea extrema A.P.I. son resistentes al escurrimiento hasta la resistencia a la tensión de la unión, por lo que su resistencia al escurrimiento bajo tensión es mayor que la requerida para el servicio. La tubería de ademe puede aplastarse cuando la presión externa, como la presión hidrostática del fluido en un pozo, excede la resistencia del tubo a aplastarse. Esto está relacionado con el espesor de acero que forma el tubo, el grado de acero, el diámetro y la presión externa aplicada. Las presiones en exceso de los valores dados por el A.P.I. son causa de que falle la tubería de ademe por aplastamiento. La tubería de ademe puede reventarse debido a la presión interna que pudiera aplicarse. El esfuerzo más grande, generalmente ocurre en la superficie cuando se está haciendo un trabajo de fractura; en las porciones más bajas de una columna de tubería de ademe la presión externa debida a la altura hidrostática contrarresta la presión interna que no es excesivo el esfuerzo de reventón. Las presiones de aplastamiento y reventón dadas por el A.P.I. son valores calculados basados en la resistencia a la tensión del material, espesor de pared y diámetro del tubo.

DISEÑO DE LA SARTA DE TUBERIA DE ADEME

Las sartas de tubería de ademe para pozos petroleros deben planearse para obtener una operación segura a un costo razonable. Las sartas de tubería de ademe para condiciones

LISTA DE TUBERIA DE ADEME A.P.I.

1 Tamaño Diámetro Exterior D pulg	D mm	2 Peso Nominal Roscas y Acoplamiento lb/pie	3 Grado G	4 Espesor de Pared t pulg.	t mm.	5 Tipo de Rosca Corta	Larga	Diente de Sierra	Línea Extrema
4½	114,3	9.50	H, J	0.205	5,21	X	..	..	..
4½	114,3	10.50	J	0.224	5,69	X	..	X	..
4½	114,3	11.60	J	0.250	6,35	X	X	X	..
4½	114,3	11.60	N	0.250	6,35	..	X	X	..
4½	114,3	13.50	N	0.290	7,37	..	X	X	..
5	127,0	11.50	J	0.220	5,59	X	..	..	..
5	127,0	13.00	J	0.253	6,43	X	X	X	..
5	127,0	15.00	J	0.296	7,52	X	X	X	X
5	127,0	15.00	N	0.296	7,52	..	X	X	X
5	127,0	18.00	N	0.362	9,19	..	X	X	X
5½	139,7	14.00	H, J	0.214	5,20	X	..	..	..
5½	139,7	15.50	J	0.275	6,98	X	X	X	X
5½	139,7	17.00	J	0.304	7,72	X	X	X	X
5½	139,7	17.00	N	0.304	7,72	..	X	X	X
5½	139,7	20.00	N	0.361	9,17	..	X	X	X
5½	139,7	23.00	N	0.415	10,54	..	X	X	X
6⅝	168,3	20.00	H	0.288	7,32	X	..	..	..
6⅝	168,3	20.00	J	0.288	7,32	X	X	X	..
6⅝	168,3	24.00	J	0.352	8,94	X	X	X	X
6⅝	168,3	24.00	N	0.352	8,94	..	X	X	X
6⅝	168,3	28.00	N	0.417	10,59	..	X	X	X
6⅝	168,3	32.00	N	0.475	12,06	..	X	X	X
7	177,8	17.00	H	0.231	5,87	X	..	..	..
7	177,8	20.00	H, J	0.272	6,91	X	..	..	..
7	177,8	23.00	J	0.317	8,05	X	X	X	X
7	177,8	23.00	N	0.317	8,05	..	X	X	X
7	177,8	26.00	J	0.362	9,19	X	X	X	X
7	177,8	26.00	N	0.362	9,19	..	X	X	X
7	177,8	29.00	N	0.408	10,36	..	X	X	X
7	177,8	32.00	N	0.453	11,51	..	X	X	X
7	177,8	35.00	N	0.498	12,65	..	X	X	X
7	177,8	38.00	N	0.540	13,72	..	X	X	X
7⅝	193,7	24.00	H	0.300	7,62	X	..	..	..
7⅝	193,7	26.40	J	0.328	8,33	X	X	X	X
7⅝	193,7	26.40	N	0.328	8,33	..	X	X	X
7⅝	193,7	29.70	N	0.375	9,52	..	X	X	X
7⅝	193,7	33.70	N	0.430	10,92	..	X	X	X
7⅝	193,7	39.00	N	0.500	12,70	..	X	X	X

1 Tamaño: Diámetro Exterior D pulg	D mm.	2 Peso Nominal Roscas y Acoplamiento lb/pie	3 Grado G	4 Espesor de Pared t pulg.	t mm.	6 Tipo de Rosca Corta	Larga	Diente de Sierra	Línea Extrema
8⅝	219,1	24.00	J	0.264	6,71	X	..	..	..
8⅝	219,1	28.00	H	0.304	7,72	X	..	..	..
8⅝	219,1	32.00	H	0.352	8,94	X	..	..	..
8⅝	219,1	32.00	J	0.352	8,94	X	X	X	X
8⅝	219,1	36.00	J	0.400	10,16	X	X	X	X
8⅝	219,1	38.00	N	0.400	10,16	..	X	X	X
8⅝	219,1	40.00	N	0.450	11,43	..	X	X	X
8⅝	219,1	44.00	N	0.500	12,70	..	X	X	X
8⅝	219,1	49.00	N	0.557	14,15	..	X	X	X
9⅝	244,5	32.30	H	0.312	7,92	X	..	..	..
9⅝	244,5	36.00	H	0.352	8,94	X	..	..	..
9⅝	244,5	36.00	J	0.352	8,94	X	X	X	..
9⅝	244,5	40.00	J	0.395	10,03	X	X	X	X
9⅝	244,5	40.00	N	0.395	10,03	..	X	X	X
9⅝	244,5	43.50	N	0.435	11,05	..	X	X	X
9⅝	244,5	47.00	N	0.472	11,99	..	X	X	X
9⅝	244,5	53.50	N	0.545	13,84	..	X	X	X
10¾	273,0	32.75	H	0.279	7,09	X	..	..	..
10¾	273,0	40.50	H	0.350	8,89	X	..	..	..
10¾	273,0	40.50	J	0.350	8,89	X	..	X	..
10¾	273,0	45.50	J	0.400	10,16	X	..	X	X
10¾	273,0	51.00	J, N	0.450	11,43	X	..	X	X
10¾	273,0	55.50	N	0.495	12,57	X	..	X	X
11¾	298,4	42.00	H	0.333	8,46	X	..	..	..
11¾	298,4	47.00	J	0.375	9,52	X	..	X	..
11¾	298,4	54.00	J	0.435	11,05	X	..	X	..
11¾	298,4	60.00	J, N	0.489	12,42	X	..	X	..
13⅜	339,7	48.00	H	0.330	8,38	X	..	..	..
13⅜	339,7	54.50	J	0.380	9,65	X	..	X	..
13⅜	339,7	61.00	J	0.430	10,92	X	..	X	..
13⅜	339,7	68.00	J	0.480	12,19	X	..	X	..
13⅜	339,7	72.00	N	0.514	13,06	X	..	X	..
16	406,4	65.00	H	0.375	9,52	X	..	..	..
16	406,4	75.00	J	0.438	11,13	X	..	..	..
16	406,4	84.00	J	0.495	12,57	X	..	..	..
18⅝	473,1	87.50	H, J	0.435	11,05	X	..	..	..
20	508,0	94.00	H, J	0.438	11,13	X	X	..	..
20	508,0	133.00	J	0.635	16,13	X	X	..	..

Fig. 4–5.– Lista de tubería de ademe A.P.I.

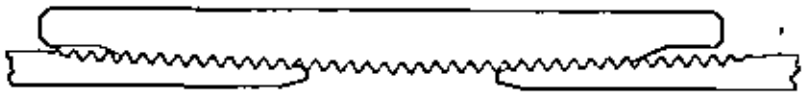
LISTA DE TUBERIA DE ADEME GRADO C–75 A.P.I.

1		2	3	4		5			
Tamaño Diámetro Exterior		Peso Nominal Roscas y Acoplamientos		Espesor de Pared		Tipo de Rosca			
pulg. D	mm.	lb/pie	Grado	pulg. t	mm.	Corta	Larga	Diente de Sierra	Línea Extrema
4½	114,3	11.60	C-75	0.250	6,35	—	X	X	—
4½	114,3	13.50	C-75	0.290	7,37	—	X	X	—
5	127,0	15.00	C-75	0.296	7,52	—	X	X	X
5	127,0	18.00	C-75	0.362	9,19	—	X	X	X
5½	139,7	17.00	C-75	0.304	7,72	—	X	X	X
5½	139,7	20.00	C-75	0.361	9,17	—	X	X	X
5½	139,7	23.00	C-75	0.415	10,54	—	X	X	X
6⅝	168,3	24.00	C-75	0.352	8,94	—	X	X	X
6⅝	168,3	28.00	C-75	0.417	10,59	—	X	X	X
6⅝	168,3	32.00	C-75	0.475	12,06	—	X	X	X
7	177,8	23.00	C-75	0.317	8,05	—	X	X	X
7	177,8	26.00	C-75	0.362	9,19	—	X	X	X
7	177,8	29.00	C-75	0.408	10,36	—	X	X	X
7	177,8	32.00	C-75	0.453	11,51	—	X	X	X
7	177,8	35.00	C-75	0.498	12,65	—	X	X	X
7	177,8	38.00	C-75	0.540	13,72	—	X	X	X
7⅝	193,7	26.40	C-75	0.329	8,33	—	X	X	X
7⅝	193,7	29.70	C-75	0.375	9,52	—	X	X	X
7⅝	193,7	33.70	C-75	0.430	10,92	—	X	X	X
7⅝	193,7	39.00	C-75	0.500	12,70	—	X	X	X
8⅝	219,1	36.00	C-75	0.400	10,16	—	X	X	X
8⅝	219,1	40.00	C-75	0.450	11,43	—	X	X	X
8⅝	219,1	44.00	C-75	0.500	12,70	—	X	X	X
8⅝	219,1	49.00	C-75	0.557	14,15	—	X	X	X
9⅝	244,5	40.00	C-75	0.395	10,03	—	X	X	X
9⅝	244,5	43.50	C-75	0.435	11,05	—	X	X	X
9⅝	244,5	47.00	C-75	0.472	11,99	—	X	X	X
9⅝	244,5	53.50	C-75	0.545	13,84	—	X	X	X
10¾	273,0	51.00	C-75	0.450	11,43	X	—	X	X
10¾	273,0	55.60	C-75	0.495	12,57	X	—	X	X
11¾	298,4	60.00	C-75	0.489	12,42	X	—	X	—
13⅜	339,7	72.00	C-75	0.514	13,06	X	—	X	—

LISTA DE TUBERIA DE ADEME DE ALTA RESISTENCIA A.P.I.

1		2	3	4		5			
Tamaño Diámetro Exterior		Peso Nominal Roscas y Acoplamientos		Espesor de Pared		Tipo de Rosca			
pulg. D	mm.	lb/pie	Grado	pulg. t	mm.	Corta	Larga	Diente de Sierra	Línea Extrema
4½	114,3	11.60	P-110	0.250	6,35	...	X	X	...
4½	114,3	13.50	P-110	0.290	7,37	...	X	X	...
4½	114,3	15.10	P-110	0.337	8,56	...	X	X	...
5	127,0	15.00	P-110	0.296	7,52	...	X	X	X
5	127,0	18.00	P-110	0.362	9,19	...	X	X	X
5½	139,7	17.00	P-110	0.304	7,72	...	X	X	X
5½	139,7	20.00	P-110	0.361	9,17	...	X	X	X
5½	139,7	23.00	P-110	0.415	10,54	...	X	X	X
6⅝	168,3	24.00	P-110	0.352	8,94	...	X	X	X
6⅝	168,3	28.00	P-110	0.417	10,59	...	X	X	X
6⅝	168,3	32.00	P-110	0.475	12,06	...	X	X	X
7	177,8	26.00	P-110	0.362	9,19	...	X	X	X
7	177,8	29.00	P-110	0.408	10,36	...	X	X	X
7	177,8	32.00	P-110	0.453	11,51	...	X	X	X
7	177,8	35.00	P-110	0.498	12,65	...	X	X	X
7	177,8	38.00	P-110	0.540	13,72	...	X	X	X
7⅝	193,7	29.70	P-110	0.375	9,52	...	X	X	X
7⅝	193,7	33.70	P-110	0.430	10,92	...	X	X	X
7⅝	193,7	39.00	P-110	0.500	12,70	...	X	X	X
8⅝	219,1	40.00	P-110	0.450	11,43	...	X	X	X
8⅝	219,1	44.00	P-110	0.500	12,70	...	X	X	X
8⅝	219,1	49.00	P-110	0.557	14,15	...	X	X	X
9⅝	244,5	43.50	P-110	0.435	11,05	...	X	X	X
9⅝	244,5	47.00	P-110	0.472	11,99	...	X	X	X
9⅝	244,5	53.50	P-110	0.545	13,84	...	X	X	X
10¾	273,0	51.00	P-110	0.450	11,43	X	...	X	X
10¾	273,0	55.60	P-110	0.495	12,57	X	...	X	X
10¾	273,0	60.70	P-110	0.545	13,84	X	...	X	X
10¾	273,0	65.70	P-110	0.595	15,11	X	...	X	...

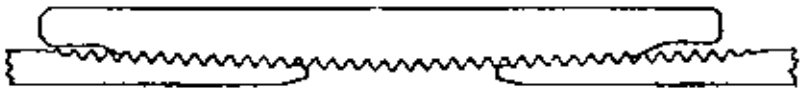
Fig. 4–6.– Lista de Tubería de ademe grado C–75 y de alta resistencia A.P.I.



ARMADO BASICO
APRETADO CON POTENCIA

ARMADO
APRETADO A MANO

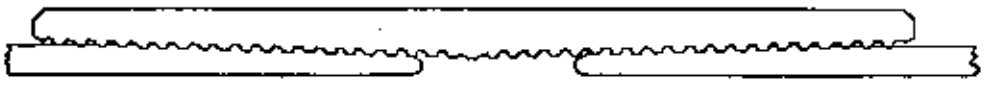
ROSCA REDONDA CORTA DE TUBERIA DE ADEME Y ACOPLAMIENTO



ARMADO BASICO
APRETADO CON POTENCIA

ARMADO
APRETADO A MANO

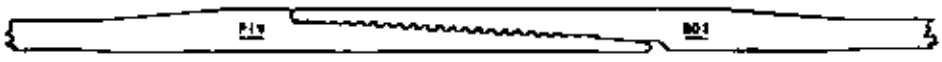
ROSCA REDONDA LARGA DE TUBERIA DE ADEME Y ACOPLAMIENTO



ARMADO BASICO
APRETADO CON POTENCIA

ARMADO
APRETADO A MANO

DE TUBERIA DE ADE



ARMADO APRETADO CON POTENCIA

TUBERIA DE ADEME

Fig. 4–7.– Normas A.P.I. para armado básico con potencia y armado a mano para varias tuberías de ademe y acoplamientos.

promedio de pozos las diseñan los ingenieros para resistir tres fuerzas principales —tensión, aplastamiento y reventón—. Como las cargas exactas no pueden realmente preverse, se proveen márgenes de error, es decir, se emplean factores de diseño para permitir algún elemento de seguridad. Los factores de diseño comunes para tubería de ademe, son los siguientes:

Tensión	1.50 — 2.00
Colapso	0.60 — 1.25
Reventón	1.00 — 1.75

Un factor de 1.00 es igual a la resistencia del material. Los factores de diseño para tensión deben tomar en cuenta la resistencia del acoplamiento, que frecuentemente es más bajo que la resistencia del cuerpo del tubo.

Los diseñadores de sartas de tubería de ademe, generalmente seleccionan varios pesos o grados con los cuales arman una columna dada, tomando en cuenta la profundidad del pozo, las presiones esperadas y el peso del fluido en el pozo. Obviamente, el tubo más fuerte para la tensión deberá colocarse en la parte superior de la sarta. La carga de reventón debida a la presión interior es mayor en la parte superior y el peligro de aplastamiento es peor en el fondo. Las sartas de tubería de ademe "clasificadas" tienen la ventaja del hecho que el peso más ligero (y generalmente grado inferior y menos costo) del material puede usarse en varios puntos de la columna entre las secciones de la parte superior y la inferior. Sacando ventaja de todas las economías, se pueden hacer ahorros del 15 al 20% usando columnas clasificadas en lugar de las uniformes.

Los interesados en el trabajo deben tomar todas las precauciones para que se tenga la seguridad de que la tubería de ademe se corre en el agujero en el orden debido; un tramo mal colocado puede causar una falla completa y la pérdida del pozo. Si cualquier tramo no se puede identificar completamente, se deberá separar hasta que se puedan establecer positivamente su peso, grado y tipo.

Se deben considerar las circunstancias especiales para cada sarta de tubería para aplicarlas cuando se diseñe la sarta. La tubería de ademe de superficie es principalmente para protección en caso de reventón, por lo que esta sarta se designa por lo general para resistir una presión de reventón equivalente a 1 lb/pulg^2 por pie de profundidad; pero el riesgo mínimo de aplastamiento a este nivel, generalmente se desprecia. La tubería de ademe intermedia es principalmente para evitar la pérdida de circulación cuando se emplea lodo pesado en la perforación más profunda y para resistir presiones en la cabeza del pozo cuando se tienen reculadas. Estas sartas deberán diseñarse contra reventones con un amplio margen de seguridad para permitir el desgaste al continuar la perforación después de que se ha colocado. La sarta de producción es la terminación o tubería de ademe final y debe resistir las fuerzas en el pozo durante toda su vida activa. Esta sarta debe diseñarse para resistir las presiones internas esperadas. Si se coloca tubería de producción con un empacador, una posible fuga de esa tubería podría imponer la presión del pozo en la parte superior de la columna de fluido atrás del empacador. Por lo tanto, se ejercería una presión considerablemente mayor que la presión del pozo. Las sartas de producción algunas veces casi se vacían, como cuando se está elevando con gas o produciendo con una bomba de fondo; esto puede imponer una carga de aplastamiento considerable por la presión hidrostática en el exterior de la columna. Generalmente se supone que la presión del agua salada, 0.5 lb/pulg^2 por pie de profundidad, existe en el exterior de la sarta de producción de tubería de ademe, pero algunas veces ésta puede ser igual al peso de la sobrecarga, cerca de 1.0 lb/pulg^2 por pie de profundidad.

La prueba de tubería de ademe ha asumido mucha mayor importancia en los últimos años porque se han encontrado presiones más altas, los costos de los pozos son mayores y las fallas pueden ser muy costosas. Una falla de tubería de producción en un pozo de bombeo de 3,000 pies es una cosa, pero una falla de una sarta de tubería de ademe en un pozo de 10,000 lb/pulg^2 mar afuera puede ser otra cosa bien distinta. La falla de tubería de ademe nueva puede causarse debido a lo siguiente: (1) defectos durante la fabricación, (2) daños durante su manejo y (3) grietas de concentración de esfuerzos. Cualquier muesca bien marcada puede ser el punto de concentración de esfuerzo y falla final; el acero de buena calidad fallará donde ha sido rayado el metal o mellado debido a concentración de esfuerzo. Las grietas finas y las costuras pueden causar la misma dificultad. Los defectos y las rayadas externas con frecuencia no se pueden ver a simple vista, pero se pueden detectar por inspección de partículas magnéticas, electromagnética o ultrasónicas. La inspección cuidadosa, generalmente descubre del 1 al 2% del total de la tubería de ademe que se puede esperar que produzca dificultades. La prueba de presión hidrostática se debe hacer para toda la tubería de ademe de grado N–80 y más alta calidad, particularmente cuando la presión que se espere en la superficie sea mayor de 5,000 lb/pulg^2. La prueba de presión hidrostática es una prueba de comprobación, es decir, prueba que el tramo de tubo no fallará cuando se sujeta a una presión igual a la prueba hidrostática. La tubería que se va a usar en pozos costosos, o en aquéllos en los que la presión excede de 5,000 lb/pulg^2 se debe probar a presión e inspeccionarse por métodos electromagnéticos o sónicos. La Fig. 4–8 muestra un método de inspección de tubería de ademe.

CONSIDERACIONES SOBRE EL TAMAÑO DE LA TUBERIA DE ADEME

El factor de control en el tamaño de la primera sarta de las que van dentro de un pozo, es el tamaño que se desea para la última, la sarta de producción. Cuando se ha establecido el diámetro de la sarta de aceite, se pueden determinar los tamaños de barrena y los diámetros de la tubería de ademe intermedia y de superficie. Cuando se selecciona el tamaño de agujero para una tubería de ademe dado su D.E. (diámetro exterior), es necesario considerar el D.E. del acoplamiento y dejar suficiente espacio libre para permitir la torta de lodo, etc., en el agujero. La Fig. 4–9 muestra los programas de barrenas y tubería de ademe que se emplean comúnmente.

Se deben tener en cuenta varios factores cuando se selecciona la sarta de producción que se va a emplear. El costo del pozo aumentará a medida que aumenta el diámetro del agujero; el costo de un agujero de gran diámetro se debe comparar con la ganancia económica obtenible. El método de producción controla la selección del tamaño de la tubería, porque un pozo fluyente puede tener que bombearse o producirse con elevación de gas en su época posterior. El régimen de producción es una consideración importante cuando se trata de grandes volúmenes de petróleo o gas. La producción de zonas múltiples puede requerir varias sartas de tubería de producción para producir satisfactoriamente el pozo. Si se necesitan varias sartas intermedias, la sarta de aceite puede que tenga que ser bastante pequeña a menos que se coloque tubería de ademe grande al iniciar el pozo. Los agujeros grandes y las sartas pesadas de tubería de ademe pueden necesitar un equipo de perforación más grande de lo que puede justificar la economía de la producción. Si es probable un trabajo de reparación, el tamaño de la sarta de aceite debe ser suficientemente grande para acomodar las herramientas necesarias. Algunas veces la existencia disponible de ciertos tamaños de tubería de ademe es el factor determinante para la selección de la sarta de producción. Finalmente, la práctica común en una área determinada es con frecuencia el factor decisivo en la selección, porque los equipos en el área están equipados para

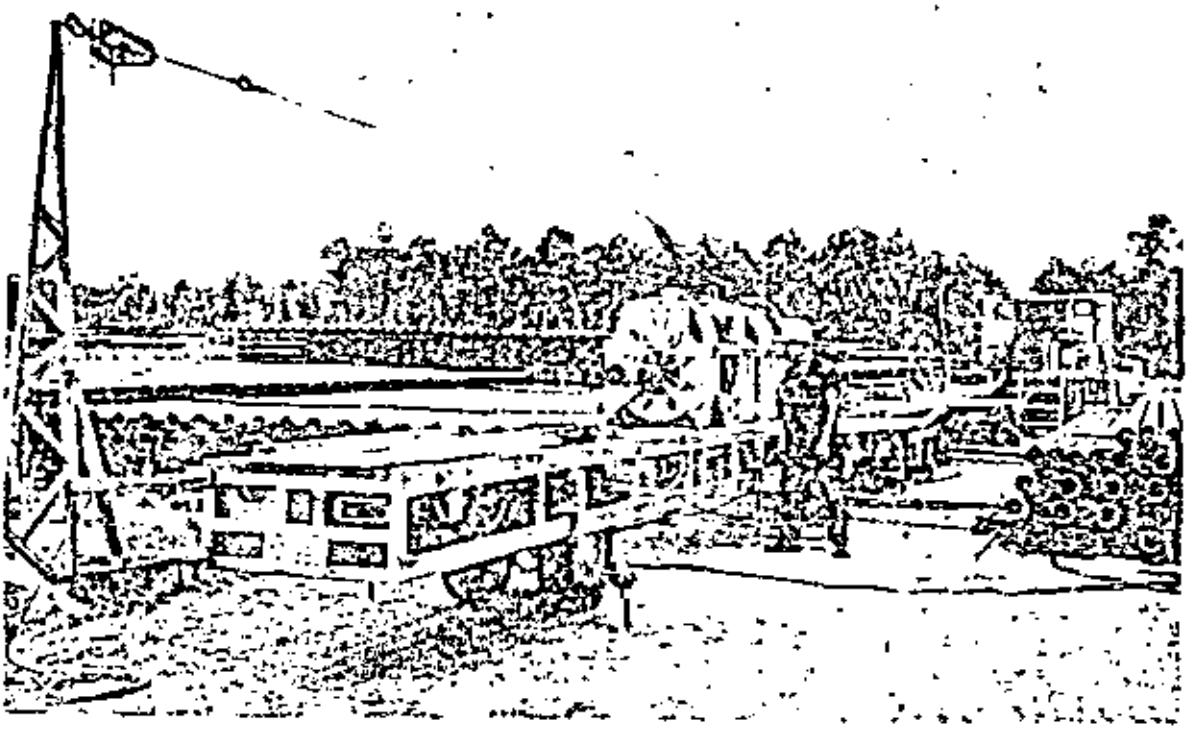


Fig. 4–8.– Inspección de tubería de ademe por un método electromagnético.

PROGRAMAS DE TUBERIA DE ADEME Y BARRENAS

SARTA DE SUPERFICIE			SARTA INTERMEDIA			SARTA DE ACEITE			TAMAÑOS DE PENETRACION
TAMAÑO DE BARRENA	TUBERIA DE ADEME COLOCADA		TAMAÑO DE BARRENA	TUBERIA DE ADEME COLOCADA		TAMAÑO DE BARRENA	TUBERIA DE ADEME COLOCADA		Tamaño de Barrena
	Tamaño D.E.	Peso		Tamaño D.E.	Peso		Tamaño D.E.	Peso	
Pulgadas		Libras	Pulgadas		Libras	Pulgada		Libras	Pulgadas
OESTE DE TEXAS Y NUEVO MEXICO									
17–1/2	13–3/8	54.50	12 ó 12–1/4	9–5/8	36–40	8–3/4	7	23	6–1/4
					43.50	8–5/8		26–29	6
13–3/4	10–3/4	40.50–45.50	9–7/8	7–5/8	26.40–29.70	6–3/4	5–1/2	15.50–17.00	4–3/4
					32	7–7/8		15.50	4–3/4
17–1/2	13–3/8	54.50	11	8–5/8	40	7–3/8	5–1/2	20	4–5/8
					36	7–3/4		17	4–3/4
MANGO DE SARTEN									
17–1/2	13–3/8	48	12–1/4	9–5/8	36	8–3/4	7	23–20	6–1/4
		54.50	12						
11	8–5/8	28				7–7/8	5–1/2	15.50–13.00	4–3/4
13–3/4	10–3/4	40.50–32.75	9–7/8	7–5/8	26.40–29.70	6–3/4	4–1/2	9.50	3–7/8
		40.50–32.75				9–7/8 ó 9	7	23.20	6–1/4
12 ó 12–1/4	9–5/8	36				8–3/4	7	23.20	6–1/4
11	8–5/8	28				7 7/8–7 3/4–7 3/8	5–1/2	15.50–13.00	4–3/4
COSTA DEL GOLFO (Sur de Texas y Sur de Louisiana)									
								26–29	6–1/8 ó 6
						9–7/8	7	32	6 ó 5–7/8
15	10–3/4	40.50						35	5–7/8
			9–7/8	7	26–29	6–1/8 ó 6			
					32	5–7/8	5	15	4–1/8
12–1/4	9–5/8	36				8–3/4	5–1/2	20	4–5/8
					40	8–5/8		20	4–5/8
17–1/2	13–3/8	54.50–61.00	12–1/4	9–5/8	36	8–3/4	5–1/2	17	4–3/4
					43.50	8–1/2		20	4–5/8
13–3/4	9–5/8	36				8–3/4	5–1/2	17	4–3/4
15	10–3/4	32.75–40.50	9–7/8	7–5/8	29.70	6–3/4	5–1/2	20	4–1/2
20	16	55	15	10–3/4	40.50	9–7/8	7	26–29	6–1/8 ó 6

Fig. 4–9.– Tamaños de tubería de ademe y agujeros comúnmente empleados

determinado trabajo, herramientas para un tamaño dado de tubería de ademe se pueden conseguir fácilmente y se reducen al mínimo las demoras.

Cerca de una tercera parte de los pozos que se terminan en la actualidad emplean tubería de ademe de 4-1/2" para la sarta de producción. Esto es una comparación con 1955 cuando la tubería de 4-1/2" se colocaba en menos de 5%, y más de la mitad de los pozos de Estados Unidos estaban equipados con tubería de ademe de 5-1/2".

CORRIENDO TUBERIA DE ADEME

Como se dijo en la introducción, uno de los principales objetivos de la perforación de un pozo es armar y correr una sarta de tubería de ademe que produzca aceite o gas del yacimiento satisfactoriamente. El agujero debe proporcionar suficiente espacio libre para que la tubería de ademe y los coples puedan bajarse libremente dentro del agujero; el fluido de perforación debe estar en una condición que permita la libre circulación alrededor de la tubería de ademe; y el agujero debe estar en condición apropiada para que se pueda hacer el trabajo de revestimiento. Generalmente, cuando se ha alcanzado la profundidad final, habrá un periodo de espera para la orden final de correr la tubería de ademe, mientras se estudian los registros eléctricos, núcleos y otras informaciones. Los jefes de perforadores y los perforadores ocasionalmente tienen acceso a mucha de esta información y frecuentemente toman parte en las discusiones; por lo tanto, tienen un conocimiento previo de si se va a colocar tubería o se va a taponar el pozo. Durante el periodo de espera, el perforador y la cuadrilla deben aprovecharse de la calma temporal con objeto de preparar el equipo del faro y la maquinaria para el trabajo que se avecina. Se puede escoger la tubería de perforación en el estante de tuberías para hacer lugar para la tubería de ademe que pronto llegará al lugar de trabajo. Se pueden apretar los frenos e inspeccionar la línea de perforación, si el siguiente paso es un trabajo de revestimiento. Se deberán revisar las máquinas para que estén en condiciones apropiadas de operación; se deben asegurar los suministros de agua y combustible.

PREPARACION DEL AGUJERO

La primera consideración (pero no necesariamente el primer paso) preliminar a la corrida de tubería de ademe es asegurarse de que el agujero esté en condición apropiada. Generalmente, la tubería de perforación habrá estado fuera del agujero cuestión de 12 ó 24 horas, mientras las inspecciones y otras informaciones se obtenían antes de la decisión de colocar la tubería de revestimiento. Esto quiere decir que la torta de filtro habrá tenido tiempo de acumularse en las secciones permeables del agujero, tal vez lo suficiente para cerrar el espacio anular y formar una obstrucción que pueda pegar la tubería de ademe o hacer imposible la circulación. Los recortes o el esquisto derrumbado pueden haberse asentado en el agujero a tal grado que la tubería de ademe no se podrá correr hasta el fondo sin circulación. El procedimiento usual es entrar al agujero con una parada de lastrabarrenas y una barrena usada para el caso de que se encuentren puentes. Las medidas de la tubería de perforación deberán revisarse cuidadosamente aún al extremo de obtener nuevas cifras para sumarlas nuevamente. Una vez en el fondo, la P.T. (profundidad total) se revisa y confirma y se empieza la circulación; el lodo deberá bombearse por lo menos dos vueltas mientras las propiedades de peso, viscosidad y pérdida de fluido se observan. Si se estima necesario el tratamiento del lodo, se debe mantener la circulación mientras se gira y mueve la tubería lentamente hasta que el ingeniero lodero esté satisfecho de que el fluido está en condición apropiada para correr la tubería de ademe.

PREPARACION DEL EQUIPO

Se pueden hacer revisiones preliminares de la maquinaria del equipo mientras se esperan las órdenes para correr la tubería de ademe. Esto debe incluir la inspección visual del sistema de frenos en el malacate y la línea de perforación. Generalmente, la primera consideración cuando se reciben las órdenes para correr la tubería de ademe es volver a ensartar las poleas con 10 ó 12 líneas. Esto casi siempre requiere un "corte" de la línea, así como ensartar más líneas; algunas veces el ensartado adicional requiere una línea de perforación nueva. Este trabajo generalmente se hace antes de entrar al agujero para acondicionar el lodo. La torre o mástil deberá revisarla a simple vista el "chango", revisar también las cimentaciones y poner "a plomo" la torre si no está absolutamente vertical. Si se va a colocar una sarta de tubería de ademe muy pesada, se puede llamar a los fabricantes de la torre para que revisen si están apretados los pernos en la torre. Mientras este trabajo se está llevando al cabo, se espera que el "chango" examine las camisas, pistones, válvulas y asientos en las bombas de lodo, para tener la seguridad de que este equipo estará en buen estado cuando se necesite. Se deben tender lastrabarrenas adicionales y hacer las preparaciones para recostar la tubería de perforación cuando se saque después de acondicionar el agujero. Generalmente la tubería de perforación se recuesta cuando se saca; a veces se emplean equipos especiales y gente adicional para este trabajo. Algunas veces únicamente una parte de la sarta de perforación se recuesta.

Después de salir del agujero como preparación para el trabajo de revestir, se deberán cambiar los émbolos del preventor de reventones de la tubería de perforación al tamaño de tubería de ademe que se va a usar. Este trabajo con frecuencia puede ejecutarse mientras se hacen las preparaciones en el piso y en la torre para empezar a levantar tubería de ademe.

Cuando la tubería de perforación ya está fuera del agujero, se quita el elevador de tubería de perforación —algunas veces se usan "pesca—cucharas" especiales de elevador— y se instala un elevador de trabajo pesado que se ajuste a la tubería de ademe. Se recomienda un elevador de cuñas para columnas pesadas de tubería de ademe. Si se usa un elevador de tracción de collar, se deberán revisar cuidadosamente las superficies de los cojinetes para (1) desgaste desigual que pudiera producir una elevación lateral, y (2) distribución uniforme de la carga sobre la cara del cojinete de los acoplamientos. Si se emplean un elevador de cuñas y una araña, se deberán observar y vigilar que todas bajen juntas. Se debe tener cuidado, especialmente con sartas largas de que el buje de cuña o cubo esté en buenas condiciones. Se deben instalar una o más plataformas en la torre, como se ve en la Fig. 4—10 para que el "chango" se pueda parar para manejar los tramos individuales de tubería de ademe y guiar los elevadores a su posición en el tubo. Una plataforma de enchufe eléctrica, Fig. 4—11, facilitará mucho este trabajo y será una operación más segura.

El arreglo usual para subir tubería de ademe es utilizando el cable del cabrestante para levantar cada tramo desde el pasillo al piso de la torre como se ve en la Fig. 4—12. Un cable para subir se fija al gancho de perforación para levantar los tramos individuales de tubería de ademe al interior de la torre como preparación para enchufarlos. Este cable tiene un nudo corredizo para fijarse abajo de los collares de tubería de ademe, como se puede ver en las Figs. 4—10 y 4—11. El elevador de tubería de ademe no se agarra a la tubería hasta que la unión se ha apretado.

Se deberá desconectar la manguera de perforación de la unión giratoria si el plan para el trabajo provee que se conecte la manguera de perforación a la cabeza de cementación y se va a usar la bomba del equipo para bombear hacia abajo el tapón de cemento. Se debe proporcionar un arreglo para llenar la tubería de ademe a medida que cada tramo se arma en

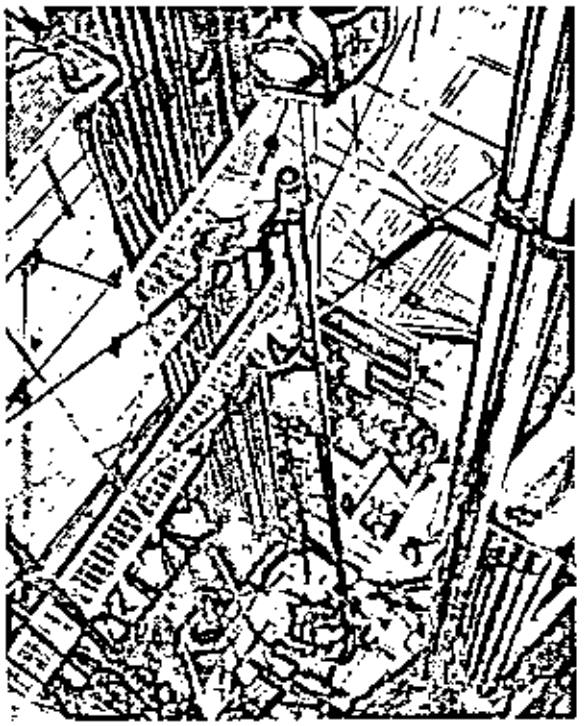


Fig. 4—10.— Plataformas de enganche para correr tubería de ademe. El hombre en la plataforma superior está sosteniendo el lazo corredizo del cable de acero de la línea de levantar.

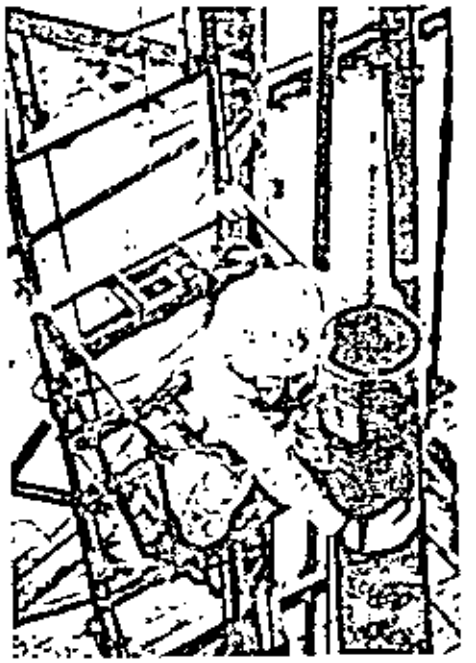


Fig. 4—11.— Plataforma eléctrica de enganche para correr la tubería de ademe. La altura se puede ajustar rápidamente para adaptarse a tramos largos o cortos de tubería de ademe.

Fig. 4—12.— Usando la línea del cabrestante para llevar los tramos separados de tubería de ademe al piso de la torre. La mayoría de los trabajos de tubería de ademe parece que se hacen de noche y éste no es ninguna excepción.

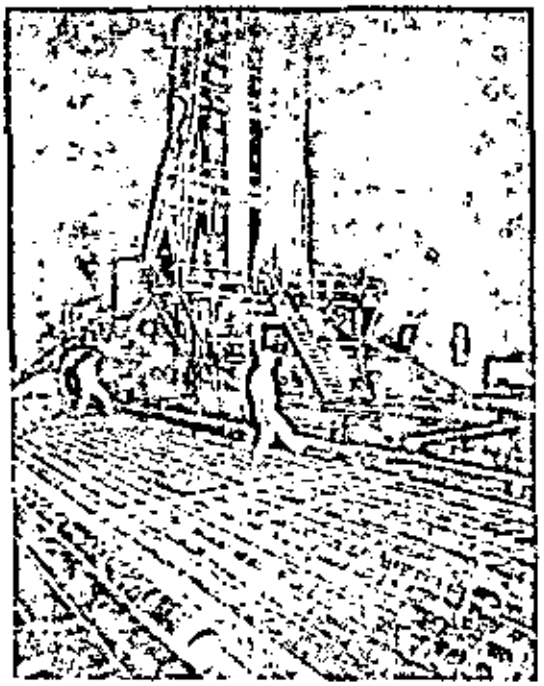


Fig. 4—13.— Cable para hacer girar y tenazas de tubería de ademe para armar la tubería de revestimiento

la columna. Si se va a usar la bomba del equipo para este objeto, se deberá conectar una línea flexible a una línea de lodo en el piso, con una válvula de cierre rápido en el extremo de salida. Este arreglo permite al hombre que está vigilando el nivel del lodo en la tubería de ademe tener un control completo del flujo de lodo y por lo tanto, evitar que se derrame al piso.

HERRAMIENTAS Y CUADRILLAS PARA TUBERIA DE ADEME

Si solamente se van a colocar unos cuantos tramos de tubería de ademe —por ejemplo, una sarta corta de tubería de ademe superficial— una cuerda para hacer girar y tenazas como las que se ven en la Fig. 4—13 serán suficientes para el trabajo. El tiempo para correrla puede ser solamente una o dos horas, por lo que el trabajo se puede hacer con la cuadrilla regular sin mucho atraso o esfuerzo. El otro extremo puede ser de 15,000 pies de tubería de 9–5/8"; esa clase de sarta puede requerir 360 tramos de tubería de ademe, pesar 600,000 libras y costar $125,000 (dólares). Antes de que empiece el trabajo de revestimiento son necesarias preparaciones complicadas, incluyendo prueba hidrostática de cada tramo, inspección especial de extremos y acoplamientos y limpieza/lubricación de roscas. Se pueden incluir cuadrillas de inspección en este trabajo por varios días y necesitarse gente adicional para rodar y manejar la tubería en la tarima. Una cuadrilla con experiencia en tubería de ademe es inapreciable para el trabajo específico de correr la tubería de ademe en el agujero. Las tenazas de potencia para tubería de ademe aseguran la integración adecuada de cada unión roscada. La mayoría de las cuadrillas para tubería de ademe pueden proporcionar los artículos adicionales que faciliten el trabajo. Estos incluyen un protector de roscas de desprendimiento rápido para eliminar la demora que representa un protector metálico voluminoso que algunas veces se atora en las cuerdas, una válvula de acción rápida para llenar cada tramo a medida que se corre, un cable de elevación y un "chango" experimentado en el arte de enganchar tubería de ademe en alineamiento perfecto para armarla. Un dispositivo para guía de enganche, como el que se ve en la Fig. 4—14, permite que se baje el elevador sobre el tubo y sin demora o riesgo para el "chango".

Las tenazas de potencia para tubería de ademe como las que se ven en la Fig. 4—15, son convenientes para una sarta larga de tubería de ademe no sólo como un dispositivo para ahorrar trabajo, sino también para eliminar los riesgos de un cable para hacer girar, línea de tirón y cabrestante. El torque para armar las roscas se puede controlar precisamente con una tenaza de potencia operada correctamente. La mayoría de las tenazas de tubería de ademe están accionadas hidráulicamente, como la unidad de la Fig. 4—16, pero algunas se mueven con aire comprimido. La mayoría de ellas se pueden abrir para quitarlas de la tubería de ademe.

Una cuadrilla con experiencia en tubería de ademe es conveniente para un trabajo pesado de revestimiento, porque es peligroso y las horas se alargan. Y de cualquier manera estos hombres adicionales se requieren para el trabajo. Un ligero descuido por parte de un hombre cansado puede causar una lesión severa o un daño a un pozo costoso. En la Fig. 4—17 se ve una cuadrilla de tubería de ademe trabajando en un pozo costa afuera; note las tenazas de potencia.

PREPARACION DE LA TUBERIA DE ADEME

Toda tubería de ademe, ya sea nueva, usada o reacondicionada, deberá manejarse con los protectores de rosca en su lugar hasta que esté en el soporte de tubería en la localización

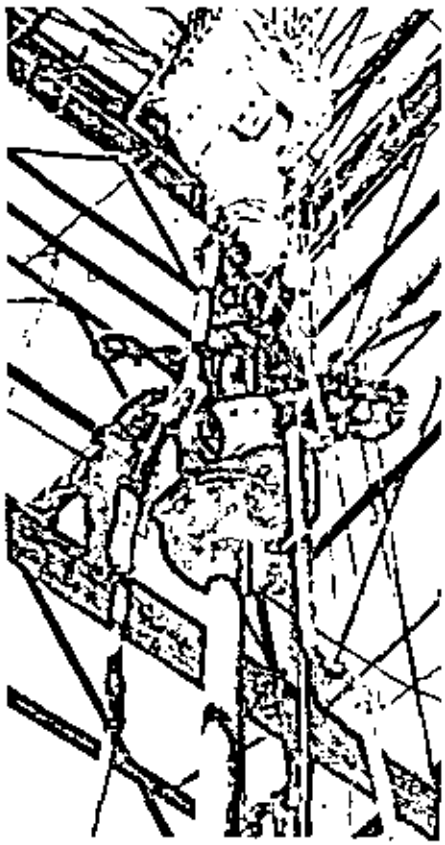


Fig. 4–14.– Elevador con cuña y guía de campana para evitar que se ladee la tubería y para hacer más seguro el trabajo del "chango".

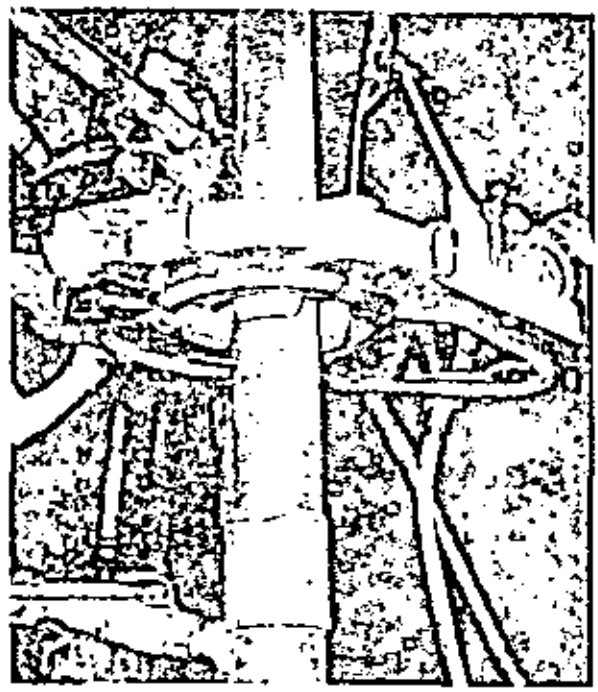
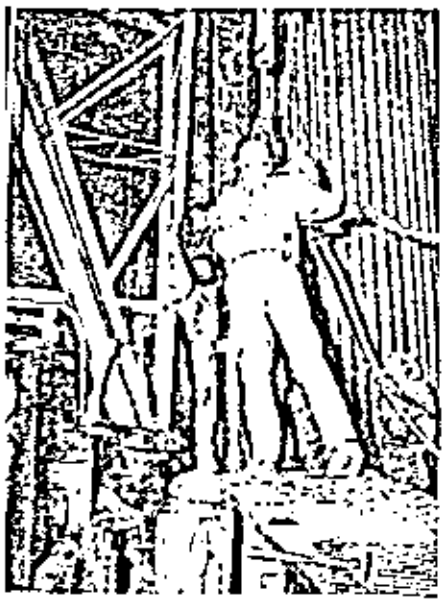


Fig. 4–15.– Tenaza de potencia para correr tubería de ademe. El manómetro de la derecha se usa para medir el torque aplicado al armar la tubería.



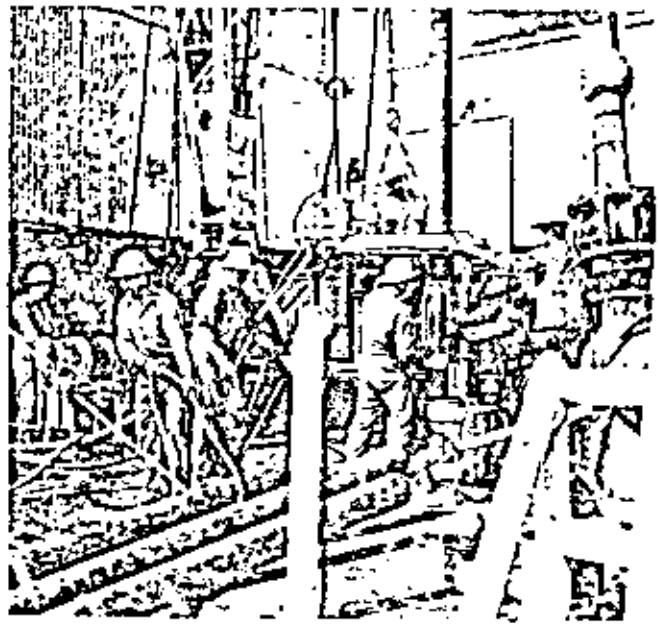


Fig. 4–17.– Cuadrilla para tubería de ademe trabajando en una obra costa afuera.

Fig. 4–16.– Cuadrilla para tubería de ademe corriendo tubería con tenazas hidráulicas.

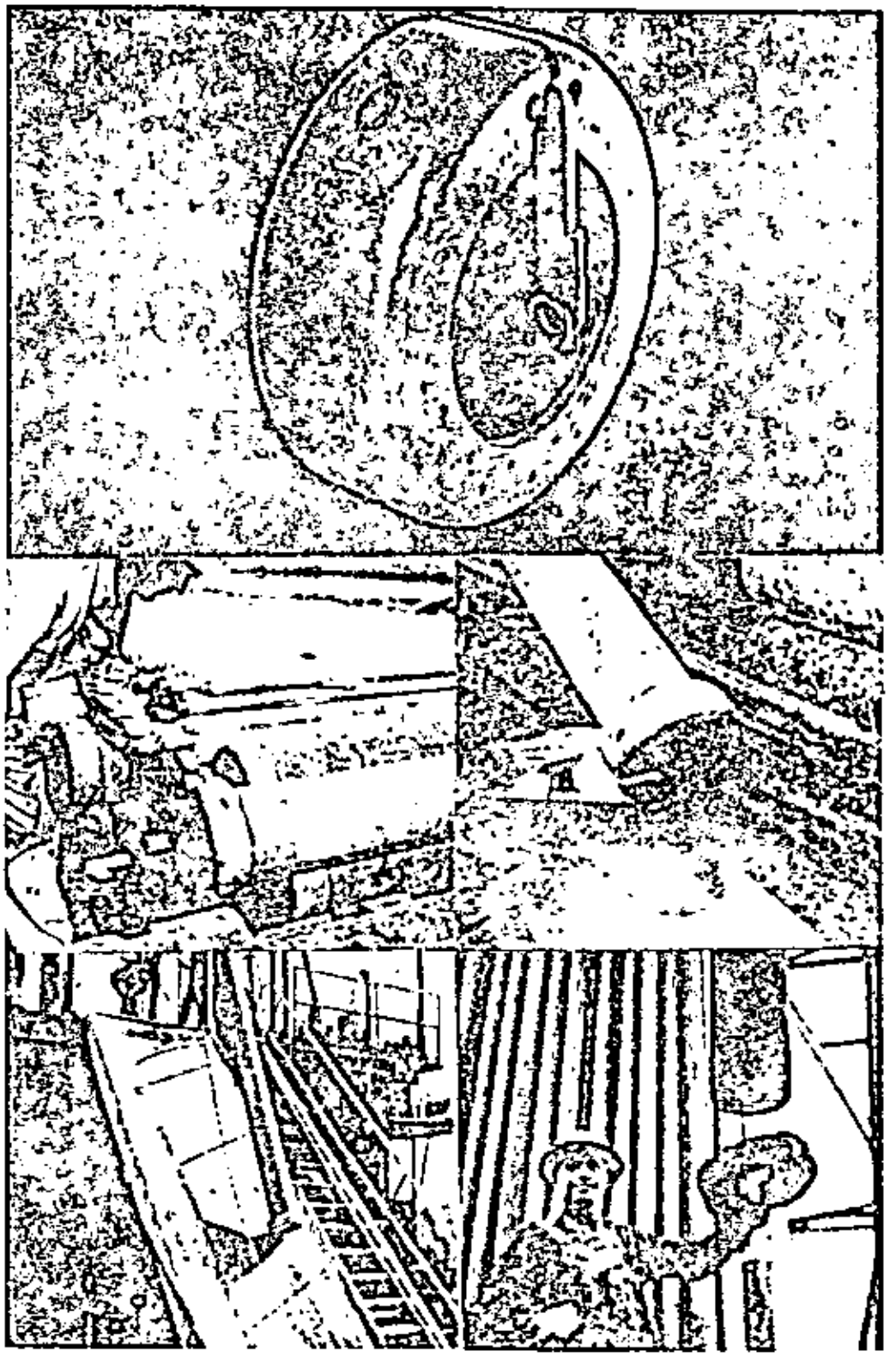


Fig. 4—18.— Protector de rosca de desprendimiento rápido para correr tubería de ademe.

en donde se va a correr. El procedimiento mínimo es inspeccionar a simple vista cada tramo cuando se rueda en la tarima de tubería. La tubería que se ha mellado o rayado se deberá separar. La tubería se deberá acomodar con los collares hacia el equipo y alinearse en forma ordenada. Se deberán colocar entre cada tanda tiras de tabla de manera que las uniones de las tandas superiores se puedan rodar fácilmente a la pasarela. Si se trata de una sarta "clasificada" o mezclada, la tubería deberá ponerse en la tarima en el orden inverso en que se va a correr, es decir, los últimos tramos que se van a apilar en la tarima serán los primeros que se metan al agujero. Si la sarta incluye tubería de formas diferentes de roscas, los tramos de "transición" deberán estar accesibles en la tarima para que las roscas correspondientes se ajusten convenientemente. Cuando toda la tubería esté en la localización, se deberá obtener una cuenta exacta del número de tramos en el trabajo y este total se comparará con el número de tramos descrito por los papeles de embarque.

A menos que se hayan hecho arreglos para inspección y prueba, generalmente efectuadas por especialistas, se deben quitar los protectores de roscas, tanto de los extremos de campo, como de los de acoplamiento de la tubería de ademe de la tanda superior y limpiar e inspeccionar las cuerdas. Este procedimiento debe repetirse a medida que quedan descubiertas las tandas inferiores de tubos. Si la tubería de ademe se entrega con acoplamientos apretados para maniobra, se deben quitar los coples para que se puedan limpiar las roscas del extremo del molino. Las roscas expuestas deben inspeccionarse y limpiarse para aplicarles nuevo compuesto para rosca. Se deberá usar un protector de rosca especial, similar al del tipo que se ve en la Fig. 4–18, cuando se rueda la tubería de ademe de la tarima y se jala para meterlo en la torre. Si se quitan los acoplamientos o si el empate de un cople instalado en el taller parece anormalmente grande, se deberán apretar cuidadosamente antes de que la tubería se jale al interior de la torre. Cada tramo de tubería de ademe se debe rodar a través de la tarima cuidadosamente y bajarse a la pasarela usando un cable de frenado en vez de dejarla caer desde la parte de arriba de la tubería apilada.

Frecuentemente se instalan dispositivos accesorios de la tubería de ademe mientras la tubería está en la tarima, algunas veces soldando. Pero la mayoría de raspadores y centradores se puede obtener en formas que no requieren soldadura, pudiendo así evitar completamente ciertos efectos adversos. La soldadura puede causar concentraciones de esfuerzos en el metal que pueden dar por resultado la falla del tubo; se ha determinado que los puntos de soldadura usuales pueden romperse cuando se perfora dentro de la tubería de ademe. Los compuestos comerciales disponibles para apretar roscas, aplicados correctamente, evitarán que se desprendan las uniones. Los ingenieros de perforación recomiendan que los coples instalados en el taller de los 4 a 6 tramos del fondo de tubería de ademe se quiten, se limpien perfectamente las roscas y se vuelvan a instalar con un buen compuesto para apretar roscas.

Los compuestos para apretar roscas se mezclan en el lugar de trabajo inmediatamente antes de usarse; resulta una mezcla de apariencia de pasta que se endurecerá solidificándose en un tiempo muy corto. Después de mezclar el material se extiende en las primeras dos terceras partes de las roscas macho y la unión se aprieta en la forma usual. Cuando el compuesto se endurece, se encontrará que el requerimiento de torque para desarmarla es cerca de cuatro veces la cifra del torque para armar. Los compuestos para apretar roscas son también muy efectivos como selladores de la presión.

MEDICIONES DE TUBERIA DE ADEME

Una parte importante en todo trabajo de tubería de revestimiento es la medición, o cuenta, de la tubería. No obstante que la mayoría de las determinaciones de profundidad de

las formaciones productivas, intervalos de perforación, etc., son por mediciones de registros eléctricos, es sumamente importante tener un registro de la cantidad de tubería de ademe que se corre dentro del agujero. Un error común es no contar un tramo; consecuentemente, podrá ir dentro de la columna un tramo de más; con menos frecuencia un error de 100 pies (generalmente en la suma) es el que se comete. El número de esos errores se puede reducir al mínimo si se presta atención estricta a la tarea de medición y se siguen procedimientos de sentido común.

Un cambio significativo en los últimos años para el manejo de la tubería de ademe, ha sido el suplir el almacenamiento de las compañías petroleras por puntos de existencias operados por los talleres, en tránsito y en terminales de campos. Esto ha mejorado la disponibilidad de varios tamaños y grados y ha reducido los daños mecánicos por el menor movimiento y manejo. La tubería obtenida de estas existencias tiene cuentas de tramos, verificaciones de peso y las cuentas casi siempre son correctas. Los papeles de embarque que acompañan una sarta de tubería de ademe a un pozo por este procedimiento, constituyen la primera verificación de la medida. Una verificación aproximada del número de pies (metraje) de tubería en un pozo, utiliza la cuenta de "los enganches" de tubos que se han embarcado a la obra. El enroscado, por supuesto varía de acuerdo con el tamaño de la tubería y el tipo de roscas, pero generalmente está dentro del 1%o de la longitud total. La longitud neta de una sarta es cerca de 1%o menos que la cuenta de "enganche"; esta cifra dividida entre el número de tramos embarcados es igual a la longitud promedio de los tramos en la sarta. La longitud promedio multiplicado por el número de uniones colocadas en el pozo se aproxima al punto de colocación.

El punto más importante relativo a la medición de la tubería, es saber exactamente cuantos tramos hay en el lugar. Esto se inicia, como se dijo antes, con la cuenta de tramos cuando la tubería se embarca a la localización. Segundo, se debe hacer un conteo preciso de los tramos cuando se recibe la tubería de ademe. La cuenta final se hace con el balance del sobrante después de que se ha corrido la sarta de tubería de ademe. La tubería de revestimiento en el agujero debe ser la diferencia entre el número total de tramos que llegaron a la localización —menos algunas que se hayan despachado fuera— y el número de tramos a mano al final.

Las longitudes separadas en la sarta, deberán numerarse en el orden en que se van a correr en el pozo. Los pesos o grados diferentes se deberán marcar claramente. Cada tramo de tubería de ademe se debe medir, de preferencia con una cinta de acero graduada en pies, décimas y centésimas de pie (o en equivalentes métricos). La medida de cada tramo debe luego anotarse en una hoja para cuenta y montarse en grupos de diez. La cinta se deberá leer al centésimo de pies más cercano del extremo superior del cople a la primera raya de la salida de la cuerda redonda de la tubería de ademe, o entre los bordes para línea de extremos. Luego se suman las columnas de diez. La inspección de estos totales muestra rápidamente donde se pueden haber hecho errores de suma, porque los totales de los grupos deberán aproximarse a diez veces la longitud promedio de cada tramo. La Fig. 4—19 muestra un tipo de forma de cuenta de tubería de ademe usada por una compañía. En este caso cada tramo de tubería de ademe se mide dos veces, una en la tarima y otra después de armar.

ENGANCHE, ARMADO Y BAJADA

Cuando un tramo de tubería de ademe se jala al piso de la torre, se debe manejar cuidadosamente; se debe proporcionar una cuerda de sostén para evitar que la tubería golpée la torre o la rotaria. Deberá haber un protector de roscas limpio en las cuerdas cuando se levanta el tramo de la pasarela. Como se mostró antes, éste deberá ser de un tipo de

HOJA DE CUENTA DE TUBERIA DE ADEME

PAGINA DE PAGINAS

CAMPO: _____ PROPIEDAD: _____ POZO No.: ____

TAMAÑO: ____ D.E. PESO: ____ No./PIE ROSCAS: _____ GRADO: _____ CLASE: _____

MARCA: _____ TIPO: _____ D.I. MIN.: _____ REFUERZO INT. SIN REFUERZO _____

ACOPLAMIENTOS: TIPO: _____ D.E. MAX.: _____

ENTREGADO: TRAMOS _____ USADO: ____ TRAMOS. DEJADOS EN TARIMA: _____ TRAMOS:

ENTREGADOS: _____ PIES. TOTAL COLOCADO: _____ PIES.

EMPEZO REVESTIMIENTO: AM/PM _____ FECHA: _____ TUBERIA EN EL FONDO: AM/PM _____ FECHA _____

TRAMO	MEDIDAS Longitud de Tarima Pies	1/100	Longitud de Armado Pies	1/100	SEÑALE SI DIFIEREN MEDIDAS	TRAMO	MEDIDAS Longitud de Tarima Pies	1/100	Longitud de Armado Pies	1/100	SEÑALE SI DIFIEREN MEDIDAS
1						1					
2						2					
3						3					
4						4					
5						5					
6						6					
7						7					
8						8					
9						9					
0						0					
TOTAL A						TOTAL C					
1						1					
2						2					
3						3					
4						4					
5						5					
6						6					
7						7					
8						8					
9						9					
0						0					
TOTAL B						TOTAL D					

TOTALES	TOTAL DE ESTE TIPO DE TUBERIA DE ADEME Tarima	Armado	OBSERVACIONES	TOTAL	TOTAL DE TODA LA TUBERIA DE ADEME Tarima	Armado	REVISADO POR	CHECADO POR
Total A				De Atras				
Total B				Total de Pág.				
Total C				Gran Total				
Total D				Observaciones:				
Total de Pág. de Atras								
TOTAL								

NOTA: Empiece Nueva Hoja para Cada Grado o Peso Diferentes de Tubería de Ademe. Registre Fracciones al Centésimo más Inmediato.

Fig. 4–19.– Forma de cuenta de tubería de ademe

desprendimiento rápido que se pueda quitar con un esfuerzo mínimo y con poca posibilidad de atorarse en las roscas. Si es necesario, aplique compuesto para roscas en toda la superficie de las cuerdas justamente antes de enganchar. La brocha que se use para aplicar compuesto para roscas, deberá conservarse libre de materia extraña y nunca deberá adelgazarse el compuesto.

Cuando se enganche, baje la tubería de ademe cuidadosamente para evitar dañar las cuerdas. Enganche verticalmente, de preferencia con la ayuda del "chango" en la plataforma de enganchar. Después de enganchar la tubería de ademe se deberá girar lentamente al principio para asegurarse de que las roscas estén engranadas y no trasroscadas.

Las siguientes recomendaciones se tomaron de API—RP—5C1 para armar tubería de ademe usando una línea de enroscar y tenazas convencionales para tubería de ademe.

1.15.— Apriete con las tenazas al grado apropiado de fuerza. La unión deberá armarse más allá de la posición de apriete manual por lo menos tres vueltas para tamaños de 4—1/2 hasta 7 pulgadas y por lo menos 3—1/2 vueltas para tamaños de 7—5/8 pulgadas y más grandes. Cuando se usa una línea para enroscar es necesario comparar el apriete manual con el apriete de la línea de enroscar. Con objeto de hacer ésto, arme las primeras uniones hasta la posición de apriete manual, luego gire en sentido contrario y enrosque las uniones hasta la posición de apretado con la línea. Compare las posiciones relativas de estos dos apretes de armado y use esta información para determinar cuando la unión estará armada hasta el número de vueltas más allá del apriete a mano.

1.16.— Los tramos que dejen dudas respecto a su fuerza de apriete correcta, deberá desenroscarse y tender la tubería de ademe para inspección y reparación, si es práctica. Cuando se ha hecho ésto, el cople que hace juego se deberá inspeccionar cuidadosamente para ver si tiene rosca dañada. Las uniones rotas nunca deberán volverse a usar sin entrar al taller y recalibrarse, aun cuando puedan tener poca evidencia del daño.

1.17.— Si la tubería de ademe tiene una tendencia a bambolear indebidamente en su extremo superior cuando se esté armando, indicando que la rosca puede no estar alineada con el eje de la tubería de ademe, se deberá disminuir la velocidad de rotación para evitar que se lastimen las cuerdas. Si persistiera el bamboleo a pesar de la reducción de velocidad de rotación, se deberá tender para inspección la tubería de ademe. Se debe considerar seriamente antes de usar esa tubería de ademe en una posición en la sarta donde se imponga una fuerte carga de tensión.

1.18.— Al armar la unión del campo es posible que el cople entre ligeramente en el extremo del taller. Esto no indica que el cople en el extremo del taller esté demasiado flojo, sino simplemente que el extremo del campo ha llegado a la fuerza con la que se enroscó el cople en el taller.

Las recomendaciones A.P.I. para armar tubería de ademe usando tenazas de potencia, son:

Armado de la tubería de ademe.— Se recomienda el procedimiento siguiente para armar tubería de ademe de 8 roscas redondas.

a. La tenaza de potencia deberá proveerse con un medidor de torque confiable de precisión comprobada. En las etapas iniciales del armado cualquier irregularidad en el armado o velocidad del armado deberá observarse, porque ésta pueden ser

indicación de cuerdas trasroscadas, roscas dañadas o sucias u otras condiciones desfavorables.

b. Continúe el armado, observando tanto el medidor de torque, como la posición aproximada de la cara del cople con respecto a la posición de la última raya.

c. Los valores óptimos de torque que se muestran en la siguiente tabulación se han seleccionado para dar un armado óptimo en condiciones normales y deberán considerarse como satisfactorias, siempre que la cara del acoplamiento esté al rás con la última raya o dentro de dos vueltas de rosca en más o menos de la última raya.

d. Si el armado es tal que la última raya esté oculta dos vueltas de rosca y no se ha alcanzado el torque mínimo que se ve en la tabulación, la unión deberá tratarse como dudosa, según lo previsto en el párrafo 1.16.

e. Si quedan expuestas varias roscas después de que se ha alcanzado el torque óptimo, aplique torque adicional hasta el máximo que se ve en la tabulación. Si el empate (distancia de la cara del cople a la última raya) es más de tres vueltas de rosca cuando se llega al torque máximo, la unión se deberá tratar como dudosa, según lo previsto en el párrafo 1.16.

f. Es recomendable que cuando se empiece a correr tubería de ademe de cada embarque del taller en particular, se hagan suficientes uniones para determinar el torque necesario para proporcionar un armado de tres roscas más allá de la posición de apretado a mano. Estos valores pueden indicar que es conveniente alejarse de los valores recomendados como óptimos (ver tabulación). Si se escogen otros valores óptimos, el torque mínimo no deberá ser menor del 75% del torque óptimo. El torque máximo no deberá ser más del 150% del torque óptimo.

TORQUES RECOMENDADOS PARA ARMADO DE TUBERIA DE ADEME
TUBERIA DE ADEME DE 8 ROSCAS REDONDAS

TAMAÑO DE LA TUBERIA DE ADEME, D.E. PULG.	TORQUE, PIES-LIBRAS OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
5-1/2	2650	2000	4000
6-5/8	3150	2400	4700
7	3800	2800	5700
7-5/8	3800	2800	5700
8-5/8	4100	3100	6100
9-5/8	4700	3500	7000
10-3/4	4900	3700	7300

Aun cuando casi todas las sartas de tubería de ademe llegan al fondo, se pueden circular y se cementan según se ha planeado, hay ocasiones en que se presentan dificultades y se tiene que sacar una sarta de tubería. Las recomendaciones A.P.I. en RP-5CI, editadas en marzo de 1963, para la recuperación de tubería de ademe, establece:

1.24.— Las tenazas para desarmar se deberán colocar cerca del acoplamiento pero no demasiado cerca, ya que no se puede evitar un ligero efecto de aplastamiento donde los dados de la tenaza tocan la superficie del tubo especialmente si la unión está apretada y/o si la tubería de ademe es delgada. Si se conserva un espacio de 1/3 a 1/4 del diámetro de la tubería entre la tenaza y el cople, normalmente se deberá evitar una fricción innecesaria en las roscas. Martillar el acoplamiento para aflojar la unión es una práctica dañina. Si se requiere golpear, use la cara plana, nunca la bola del martillo y en ninguna circunstancia se deberá usar un marro. Golpée ligeramente cerca de la parte media y completamente alrededor del cople, nunca cerca del extremo ni en lados opuestos únicamente.

1.25.— Se deberá poner mucho cuidado para desenroscar toda la rosca antes de levantar la tubería de ademe fuera del acoplamiento. No brinque la tubería de ademe fuera del cople.

1.26.— Todas las roscas deberán limpiarse y lubricarse o deberán cubrirse con un material que reduzca al mínimo la corrosión. Se deberán colocar protectores limpios en la tubería antes de acostarla.

1.27.— Antes de que la tubería de ademe se almacene o se vuelva a usar, se deberán inspeccionar la tubería y la rosca y marcar las uniones defectuosas para que se lleven al taller y se vuelvan a calibrar.

CIRCULACION DE FLUIDO

Un requisito principal para un buen trabajo de revestimiento, es que el calibre del agujero esté en buena condición y limpio de recortes y de exceso de torta de pared antes de cementar. Las fallas de acondicionamiento completo del agujero o del tratamiento del lodo correcto han sido causas de tubería pegada, cementación defectuosa, costo adicional del pozo por trabajos de cementación a presión o aún tener que volver a perforar el agujero. Algunas veces el agujero está puenteado, o no se puede circular la tubería de ademe por lo que la sarta se tiene que sacar y hacer un viaje con tubería de perforación para reacondicionar el agujero del pozo.

El procedimiento usual es llenar la tubería de ademe periódicamente a medida que se corre la tubería en el pozo a menos que se emplee equipo automático de llenado con flotador. La tubería de ademe se debe llenar tan pronto como se corre por dos razones:

1). Si la tubería de ademe se llena cuando se agrega cada tramo, habrá menos tiempo para que la sarta esté inmóvil mientras se completa el llenado cuando la tubería esté cerca del fondo del agujero. Muchas sartas se han pegado mientras se llenaba la tubería.

2). La tubería de ademe de gran diámetro puede aplastarse si se corre en el agujero muy adentro antes de llenarse, debido al desequilibrio de presión en el exterior de la tubería.

El uso de una línea de llenado de poco peso con una válvula de acción rápida es una práctica común, como se ilustra en la Fig. 4—20. El procedimiento usual es llenar cada tramo mientras el siguiente se levanta y se prepara para engancharlo. Puesto que generalmente no es posible llenar el tramo completamente, en la mayoría de los trabajos se suspende la corrida de tubería de ademe y se llena completamente cada diez tramos.

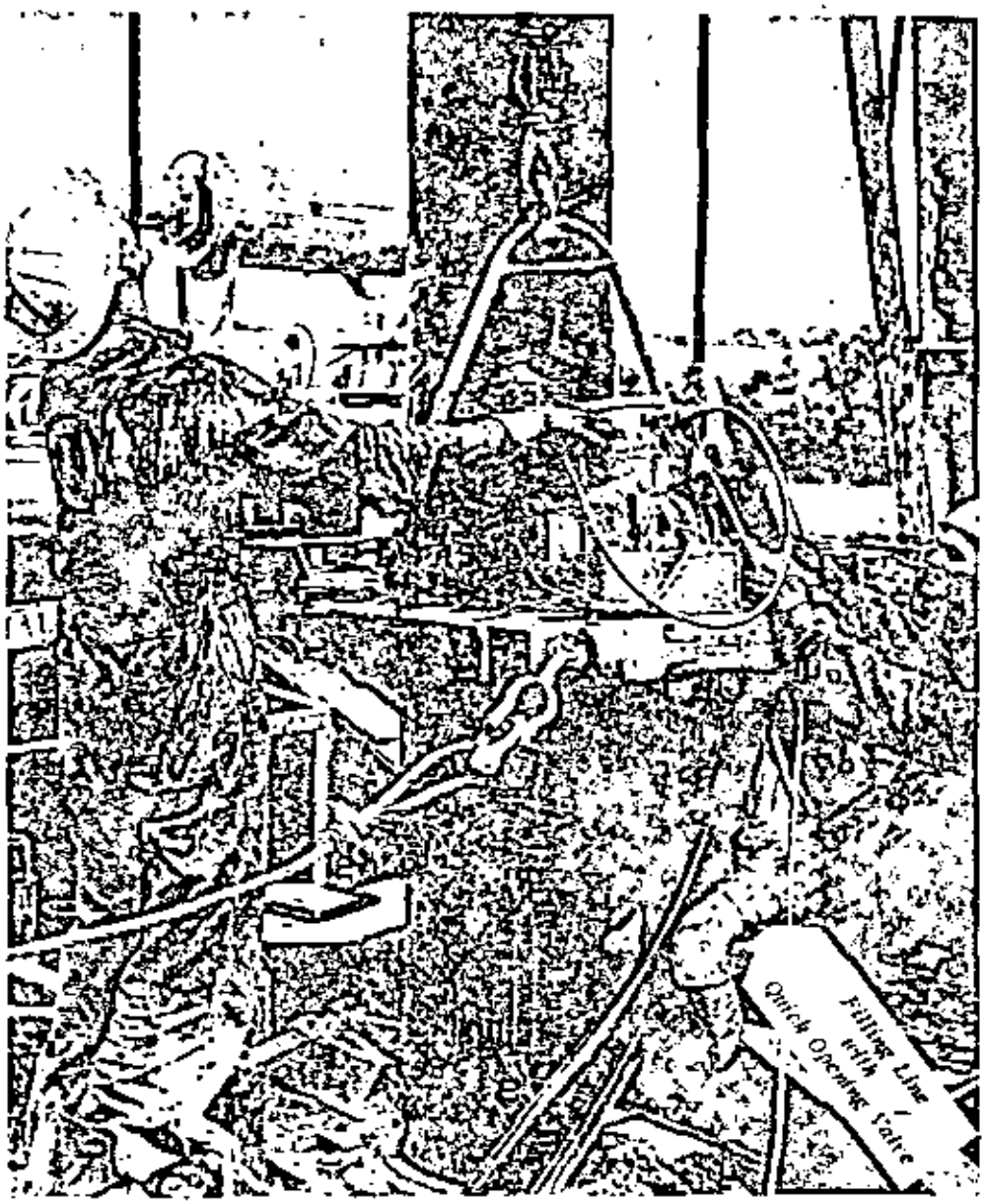


Fig. 4–20.– La tubería de ademe se deberá llenar a medida que se corre en el agujero. Una línea ligera y flexible con una válvula de acción rápida generalmente se provee para este objeto.

Cuando la zapata de flotación y el collar son convencionales, es decir, no del tipo de llenado automático, la cantidad de fluido desplazado del agujero a medida que se agrega cada tramo a la columna es igual al volumen del diámetro exterior multiplicado por la longitud del tramo. Es importante para el éxito de la tarea que los retornos de fluido que son representativos del volumen desplazado de la tubería de ademe, se obtengan a medida que se baja cada tramo de tubería de ademe en el pozo. Las cantidades de fluido desplazado por tramo de tubería agregada, volumen externo únicamente, para los tamaños típicos, son los siguientes:

TAMAÑO DE TUBERIA DE ADEME	FLUIDO DESPLAZADO POR UN LARGO DE 42 PIES DE TUBERIA DE ADEME
5—1/2 pulgadas D.E.	1,24 barriles
7 pulgadas D.E.	2,01 barriles
8—5/8 pulgadas D.E.	3,30 barriles
10—3/4 pulgadas D.E.	4,73 barriles

Los retornos de lodo se deben observar cuidadosamente al meter cada tramo de tubería de ademe al agujero para asegurar la circulación cuando la columna llegue a su profundidad total.

A medida que se corre la tubería de ademe al agujero, se llena la tubería, generalmente de la misma presa a la cual fluye el fluido desplazado. En este caso se encuentra que hay un aumento de lodo en la presa igual al volumen de acero en la sarta de tubería de ademe que se mete al pozo. Los aumentos de volumen para los tamaños de tubería de ademe que se ven arriba, basados en tubo roscado con cople, son:

TAMAÑO Y PESO	VOLUMENES DE FLUIDO DESPLAZADO TUBERIA DE ADEME Y ACOPLAMIENTO
5—1/2 pulg. 17 libras	7,27 barriles/1000 pies
7 pulg. 23 libras	8,38 barriles/1000 pies
8—5/8 pulg. 32 libras	11,64 barriles/1000 pies
10—3/4 pulg. 40,5 libras	14,42 barriles/1000 pies

Estos valores dan una idea de la ganancia de lodo obtenida cuándo se corre una columna de tubería de ademe en un pozo y se llena completamente. Una columna de 12,000 pies de tubería de ademe de 7 pulgadas de D.E. desplaza 12 x 8,38 barriles, igual a 100 barriles, y las presas señalarán ese aumento o ganancia si no ha habido pérdidas de fluido.

En algunas áreas, especialmente cuando la calidad del lodo puede no ser buena, se ha encontrado conveniente suspender la corrida de tubería de ademe y "circular un rato", algunas veces tan frecuentemente como cada 1,000 pies de tubería agregada a la columna. La mayoría de los operadores consideran innecesario el procedimiento y generalmente corren la tubería de ademe en toda su longitud dentro del agujero antes de tratar de circular, suponiendo que se ha obtenido el retorno correcto de lodo. Un procedimiento precautorio para evitar la pérdida de circulación es bajar la tubería de ademe lentamente con objeto de reducir al mínimo las variaciones de presión.

En condiciones normales la tubería de ademe puede bajarse dentro del agujero de 1,200—2,000 pies por hora en terrenos de rocas duras y cerca de 1,000 pies/hora en la costa

del Golfo. Si es posible la pérdida de circulación, estas velocidades se pueden reducir de 30–50%, dependiendo de la experiencia del operador y su estimación de la calidad de lodo y la condición del agujero. La mayoría de los operadores correrán la tubería equipada con raspadores y centradores más lentamente que la tubería de ademe "sola" por la posibilidad de colapso de la formación y la subsecuente pérdida de retorno. Las variaciones de presión del fluido de perforación pueden ser suficientemente grandes para romper la formación cuando:

1). La tubería de ademe se baja muy aprisa.

2). El espacio libre entre el agujero y la tubería es muy pequeño.

3). La viscosidad del lodo es muy alta.

Mientras se está estableciendo la circulación, se debe tener cuidado de no correr la bomba demasiado aprisa mientras se esté bajando la tubería de ademe; esto reduce al mínimo las variaciones de presión. La velocidad de bombeo deberá reducirse inmediatamente que haya una indicación de pérdida de retorno.

La importancia de circular la sarta de tubería de ademe después de que llegue al fondo se acentúa por el hecho de que todos los operadores siguen esa práctica hasta cierto punto. Una función importante de la circulación es probar el sistema superficial de tuberías. Otra es acondicionar el lodo en el agujero y arrastrar los recortes sacándolos y la torta de pared excesiva antes de la cementación. Aun cuando todos los operadores circulan la tubería de ademe antes de cementar, la duración es de tiempo muy variable. El tiempo de circulación puede ser tan corto como de 5 a 10 minutos o tan largo como de 4 horas. El movimiento de la sarta de tubería de ademe por oscilación o rotación, con o sin raspadores, se comienza tan pronto como es posible después de que toda la tubería de ademe se ha corrido y durante la circulación. Generalmente, se continúa el movimiento hasta que se coloca el cemento afuera de la columna. Si se emplean raspadores y centradores, la práctica usual es continuar la circulación y mover la tubería hasta que la torta de pared y los recortes virtualmente dejan de salir del agujero. Algunos operadores consideran el tiempo largo de circulación innecesario para un buen trabajo de cementación. La circulación mínima adecuada bombea una cantidad de fluido igual al volumen del interior de la tubería de ademe antes de empezar a meter cemento al pozo. Esta práctica asegura que ningún objeto tapará la columna durante la operación de cementación si pudiera haberse caído en la tubería mientras se corría.

COLOCACION DE LA COLUMNA DE TUBERIA DE ADEME

La colocación de la tubería de revestimiento comprende la transferencia del peso de la tubería a la cabeza del pozo, generalmente por medio de un colgador de tubería de ademe que se asienta en la cabeza de tubería de ademe y sella el espacio anular entre las columnas exterior e interior. El operador se preocupa de la cantidad de esfuerzo que puede imponerse en las otras sartas y de lo que podría pasarle a columna de tubería que se va a soltar. La carga colgante o la cantidad de peso que se transfiere a la cabeza de tubería de ademe, debe tener en cuenta la resistencia de las otras sartas exteriores de tubería de ademe y la capacidad de sostén de carga de la cabeza de tubería de ademe y del colgador. La cantidad de laxitud debe tomar en cuenta la posibilidad de pandear la tubería y por el contrario, se debe considerar su resistencia a la tensión si se toma un esfuerzo adicional de tracción. Los efectos de laxitud en la resistencia de aplastamiento o reventón, deben considerarse cuando se coloca una columna de tubería de ademe. La tubería de ademe está en tensión en la

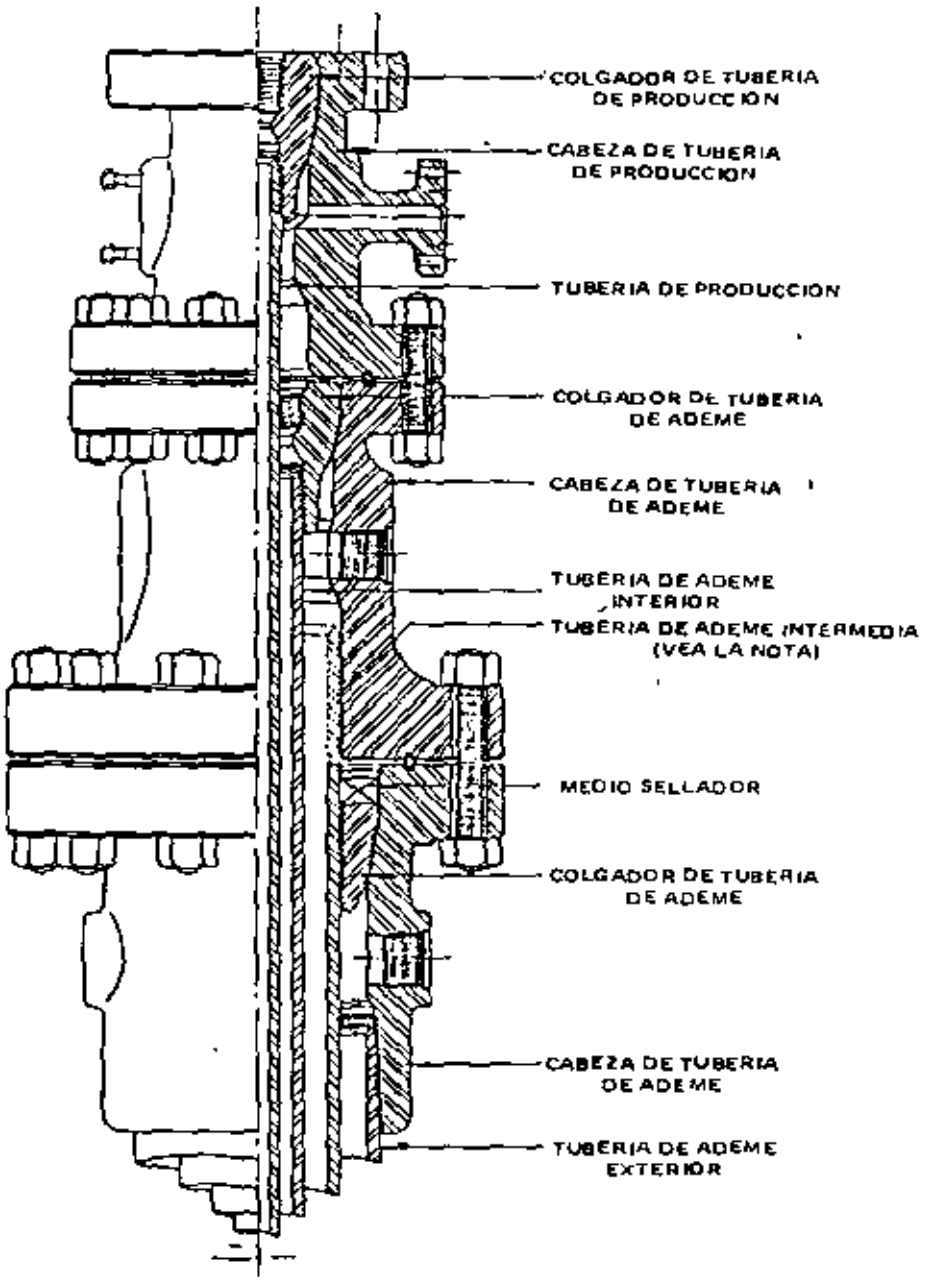
cabeza del pozo cuando se cementa y está sujeta a alargarse debido a su propio peso. Un comité de A.P.I. para procedimientos de colocación de tuberías de revestimiento en 1955, recomendó que en general la tubería de ademe debería colocarse con l mismo peso en el colgador de la tubería de ademe que el que soportaba el elevador, es decir, no se deberá soltar o recoger peso. Esta recomendación se aplicó a pozos en los que el peso del lodo era menor de 12.5 libras por galón, se emplearon factores de diseño normal de tensión y compresión, la tubería de ademe superficial podía resistir las cargas en compresión sin fallar, el equipo de la cabeza del pozo podía soportar la carga sin daños a la tubería de ademe, tomando en cuenta las cargas adicionales que resulten de operaciones futuras. Este análisis requiere alguna estimación de las condiciones futuras de producción del pozo. El comité reconoció que los casos especiales requieren análisis de ingeniería especiales y tratamientos especiales dependiendo de las circunstancias que se presenten. La Fig. 4–21 muestra un conjunto típico de cabeza de pozo y el método de suspender la tubería de ademe.

La consideración de la cantidad de laxitud o tracción cuando se coloca una tubería de ademe en un pozo profundo es sumamente importante porque las cargas colgantes son mayores, hay más alargamiento y los cambios de temperatura pueden ser excesivos. Por cada grado Fahrenheit de cambio en la temperatura de tuberías de producción o ademe que estén colgando en el pozo, si las columnas están fijas en ambos extremos, habrá un incremento de 207 lb/pulg^2 o disminución del esfuerzo del metal por cada pulgada cuadrada de sección transversal de la tubería de que se trate. Por ejemplo, se puede colocar una tubería de ademe de 7 pulgadas, de 26 lb/pie con 200,000 libras en la cabeza de tubería de ademe y una temperatura promedio de 150°F. Este tamaño y peso de tubería tiene una sección transversal de 7.55 pulg^2. Si el tubo se enfría 40°F, la sarta se contraerá y la carga en el colgador de la tubería de ademe se incrementará en una cantidad igual a:

$$40^{\circ}F \times 7.55 \text{ pulg}^2 \times 207 \text{ lb/pulg}^2 = 62{,}500 \text{ libras}$$

Esta cantidad deberá agregarse a la carga en el colgador, para una carga total de tensión de 262,500 libras en el colgador de la tubería de ademe. Los acoplamientos J–55 de A.P.I. tienen una resistencia de cedencia de 367,000 libras, por lo que la tubería no se partirá, pero el factor de seguridad en tensión se reduciría considerablemente. Por otro lado, si se produjera agua salada a través de la columna y la temperatura subiera 40°, ocurriría el mismo cambio numérico de tensión, pero en sentido contrario y la tensión en la cabeza del pozo sería de 200,000 libras menos 62,500 libras. Esto tendería a reducir el alargamiento de la tubería y podría probablemente ser causa de que se pandeara la tubería si no estuviera completamente soportada por el cemento.

El cambio de temperatura es sólo uno de los factores físicos que pueden afectar las cargas en la sarta de tubería, y lo hace de acuerdo con lo siguiente:



NOTA: Las conexiones de salida para cabezas de tuberías de producción y ademe pueden ser de bridas, con prisioneros o roscadas en el interior.

NOTA: Las tuberías de tubería de ademe intermedia e interior pueden cortarse al ras con la cara de la brida de la cabeza del fondo o pueden extenderse arriba de la cara de la brida de la cabeza de soporte.

Fig. 4–21.– Conjunto típico de cabeza de pozo (Norma 6A de A.P.I.)

CAMBIOS DE CARGA EN SARTAS DE TUBERIA DE ADEME DEBIDAS A CAMBIOS DE OPERACION EN EL POZO

	TENSION	ARQUEO	COLAPSO	REVENTON
Caída de temperatura	Aumenta	Disminuye		
Elevación de temperatura	Disminuye	Aumenta		
Elevación de presión interna	Aumenta	Aumenta		Aumenta
Caída de presión interna	Disminuye	Disminuye		Disminuye
Elevación de presión externa	Disminuye	Disminuye	Aumenta	
Caída de presión externa	Aumenta	Aumenta	Disminuye	
Fluido más pesado interior	Aumenta	Aumenta		Aumenta
Fluido más ligero interior	Disminuye	Disminuye		Disminuye
Fluido más pesado exterior	Disminuye	Disminuye	Aumenta	
Fluido más ligero exterior	Aumenta	Aumenta	Disminuye	

Expresado prácticamente, casi nunca es posible anticipar completamente todos los cambios de las condiciones físicas que puedan ocurrir durante la vida útil de un pozo productor. Por esta razó el A.P.I. recomienda un procedimiento —colocar la tubería de ademe en la cabeza del pozo en exactamente la misma posición que tenía cuando se cementó— que es un término medio razonable. Los factores de diseño usuales de tensión, reventón y aplastamiento tienen suficientes márgenes de seguridad para manejar la mayoría de los cambios de carga que ocurran. Los pozos muy profundos, si se espera que la temperatura y la presión vayan a cambiar mucho, deberán recibir atención especial de gente técnicamente calificada.

La mayoría de los tamaños más grandes de tubería de ademe que se usan para tuberías de revestimiento conductores y superficiales, manejarán cargas compresivas considerables, particularmente si se han cementado o metido en su lugar en buena forma. La mayoría de la tubería de ademe A.P.I. se supone que es capaz de soportar tanta carga en compresión, cuando está soportada lateralmente, como su clasificación en tensión. Si por alguna razón la carga de compresión es demasiada y el peso total de las sartas interiores no lo pueden soportar las sartas exteriores, entonces uno o más de los siguientes procedimientos deberá considerarse:

1). Soltar parte del peso de la sarta interior y colgar únicamente parte del peso.

2). Tratar de cementar la sarta interior hasta la superficie, para así tener cemento para soportar la carga.

3). Usar un colgador agujero abajo, como se ilustra en la Fig. 4—22, con objeto de colgar algo del peso en la columna exterior abajo en el pozo y el resto en el colgador de tubería de ademe.

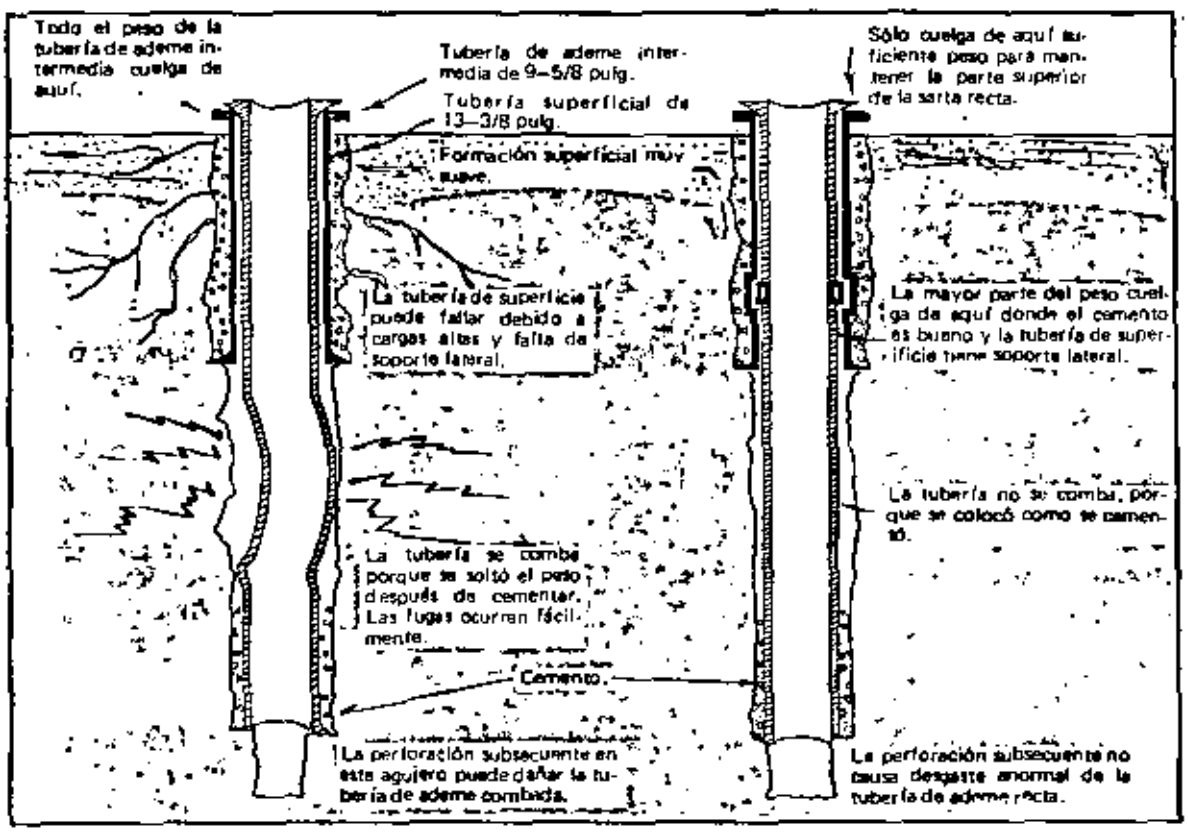


Fig. 4–22.— Los colgadores de tubería de ademe agujero abajo pueden liberar algo de la carga en la cabeza de tubería de ademe.

4). Considerar correr la parte inferior de la sarta como una camisa, y "retener" la sección superior que será más ligera que la sarta original completa.

COLOCACION DE CAMISAS

Una camisa es una sarta de tubería que se usa para forrar agujero abierto abajo de la tubería de ademe existente; se extiende de la profundidad de colocación hacia arriba dentro de otra sarta, generalmente traslapándose cerca de 100 pies. Las camisas que se colocan para producción pueden perforarse en la forma usual o prepararse de otra manera, especialmente para manejar gas, aceite o agua. Las camisas de producción con frecuencia se corren en tubería de producción, pero las camisas que se usan mientras se está perforando se corren en tubería de perforación y siempre se cementan. Algunas de las aplicaciones más importantes de las camisas para perforación, son las siguientes:

1). Para forrar zonas de pérdida de circulación o de alta presión, por lo tanto, para hacer posible la perforación posterior con lodo más ligero o más pesado.

2). Para forrar agujero abierto abajo de una sarta de tubería de ademe intermedia, ya sea desde la terminación inicial o como resultado de profundizar el pozo.

3). Para forrar agujero abierto que es el resultado de que la tubería de ademe se pegue sin llegar al fondo.

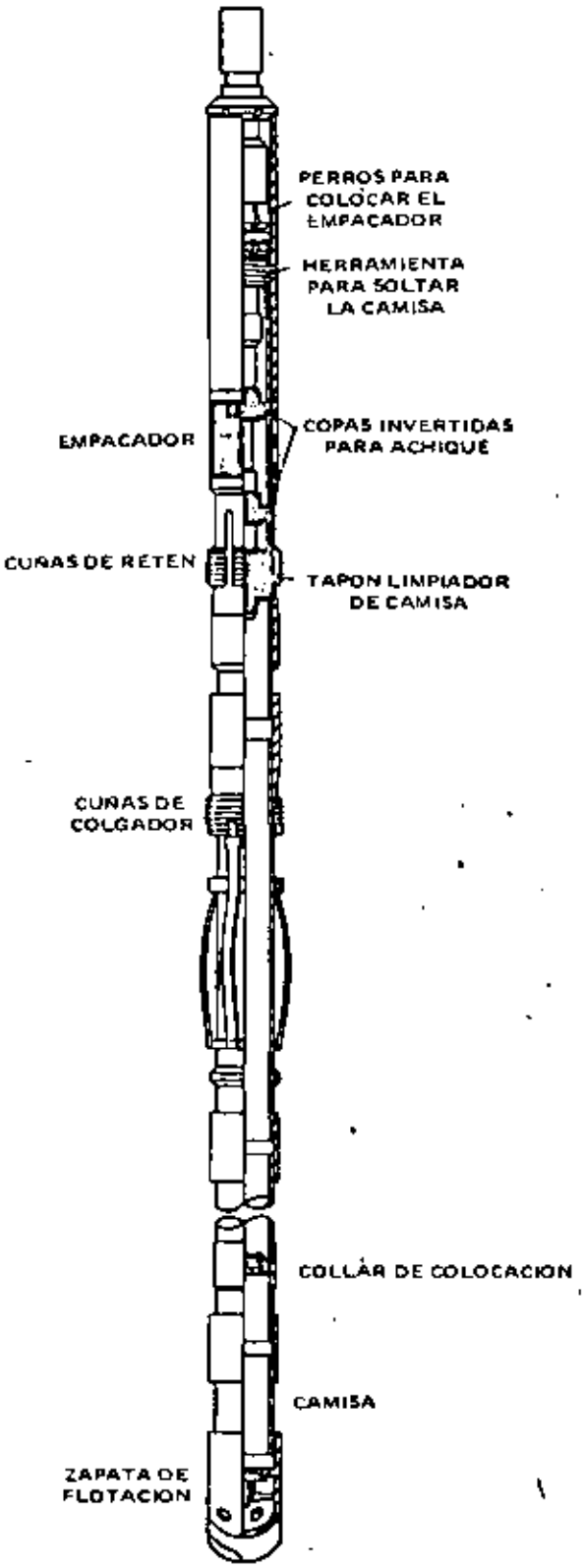
En general, las colocaciones de camisas pueden clasificarse como cortas o largas. Algunas camisas cortas se colocan en el fondo sin colgador, pero selladas con un empacador adentro de la tubería de ademe. Las camisas largas utilizan colgadores de camisas en combinación con empacadores para sellar el espacio entre las dos sartas, con una herramienta colocadora especial para soltar la camisa, cementarla y colocar el empacador. Las camisas de hasta 10,000 pies y que pesan más de 200,000 libras, se han colocado alguna vez. Las camisas de 7,000 pies de largo se emplean regularmente para los pozos "ultra-profundos" de la cuenca Delaware del oeste de Texas.

Las colocaciones de camisas en pozos profundos tienen varias ventajas. Proporcionan un medio para probar zonas más bajas a menos costo que si se usa una sarta completa de tubería. Hay menos peligro de pegar tubería de ademe fuera del fondo, porque una camisa se puede correr en una cantidad de tiempo más corta de lo que se puede correr una sarta completa. Si la sarta existente de tubería de ademe en un pozo se ha debilitado por la perforación, se puede unir a la parte superior de la camisa más tubería para hacer una sarta de tubería de ademe hasta la cabeza del pozo. Las sartas de camisas se arman de la misma manera que las tuberías de ademe. Generalmente se usarán zapatas de flotación y collares regulares, pero el espacio libre escaso entre la tubería y el agujero, generalmente descarta los raspadores. Después de que se arma la tubería, se unen al extremo superior un colgador de camisa y la herramienta para soltarla para bajar al agujero en tubería de perforación. Se dispone de colgadores hidráulicos y mecánicos; ambos tipos dependen de cuñas con dientes de sierra que encajan en conos graduados para obtener un agarre de fricción en la pared de la tubería de ademe para soportar el peso de la camisa. Los colgadores hidráulicos se colocan con presión de fluido adentro de la camisa; los tipos mecánicos se colocan manipulando la sarta con que se corren. Cuando se ha colocado el colgador de camisa y se ha soportado bien la camisa, se suelta la herramienta de colocación por rotación a la derecha, permitiendo así liberar la sarta con que se corrió. La herramienta de colocar se levanta entonces a una corta distancia, pero no demasiado para dejar un empacador de copa dentro de la camisa, en su

parte superior. Este empacador está unido a un mandril en la tubería con que se corre y se usa para circular lodo y cemento a través de la camisa. Se bombea un pequeño tapón para desplazar hacia abajo de la tubería de perforación el cemento. Este tapón se asienta en un tapón más grande que está adentro de la camisa y unido por pasadores de corte al mandril de la herramienta de colocación. Cuando el tapón pequeño golpea al tapón más grande, los pasadores de retención se cortan y entonces ambos tapones se desplazan dentro de la camisa por la presión de la bomba hasta la zapata de flotación o el collar. Después de que se obtiene una retención de presión al topar con el fondo el tapón, el empacador de copa se levanta sacándolo de la camisa. Si se emplea un empacador de camisa, los perros de fijación se sueltan al librar la herramienta la manga del empacador. El empacador se aplasta entonces para obtener un sello girando o soltando la sarta con que se corrió. La lechada de cemento que se pueda haber circulado hacia arriba del espacio anular y arriba de la camisa se puede entonces bombear fuera del agujero, generalmente por circulación inversa. La Fig. 4–23 ilustra el arreglo general de un colgador, empacador y herramienta desprendedora para colocar camisas. La Fig. 4–24 muestra detalles del equipo básico para camisas. Los empacadores de camisa no siempre se usan, porque algunos operadores creen que el empacador puede no sellar efectivamente el espacio anular. Ya sea que se use o no un empacador, un sello satisfactorio del espacio anular se puede obtener empleando cemento.

Varios factores causan dificultades para obtener un buen trabajo de cementación de una camisa. Primero está el espacio libre anular pequeño entre la camisa y el agujero abierto. Esto da por resultado una envoltura delgada de cemento alrededor de la camisa; este factor se mitiga hasta cierto punto por la alta velocidad del lodo y del cemento cuando se circulan alrededor de una camisa. En segundo lugar, la mayoría de los operadores cuelgan la camisa y la sueltan de la sarta con que se corre antes de cementar. Esto evita el movimiento de la tubería de ademe mientras se está desplazando el cemento y por lo tanto, los raspadores servirán de muy poco; cualquier turbulencia en el espacio anular se debe obtener con la velocidad del fluido. El uso de centradores disminuiría el efecto de la presión diferencial para meter la camisa y centrar el tubo en el agujero. Una operación esencial en todo trabajo de cementación de una camisa es circular sacando todo el exceso de cemento del recubrimiento de la camisa. Generalmente, se deja un poco de cemento en la parte superior de la camisa. El equipo debe ser el apropiado para esta operación y la composición del cemento debe asegurar la fluidez de la lechada en las condiciones del fondo del agujero. La mayoría de los operadores colgarán y soltarán la camisa antes de cementarla. Esta práctica permite que la tubería de perforación se levante inmediatamente después de que se coloca el cemento y el exceso se puede bombear hacia afuera sin demora. La circulación inversa es apropiada porque la lechada de cemento se puede bombear hacia afuera del agujero más rápidamente con este proceso que con la circulación regular. La mayoría de los operadores levantan la sarta de perforación cerca de 90 pies con objeto de dejar ese tanto de cemento en la parte superior de la camisa. Se cree que esta práctica asegura que quede cemento en el traslape de la camisa dentro de la tubería de la sarta de ademe superior. El cemento duro se debe perforar con una barrena que se ajuste a la columna superior antes de proceder con una barrena más pequeña a limpiar la camisa hasta la profundidad deseada.

Una camisa se puede convertir en una sarta completa de ademe por medio de equipo para retenidas. Si ésta es la intención, se corre una camisa con un receptáculo de retenida en la parte superior. Antes de correr tubería de ademe para completar la sarta, sin embargo, se usa una herramienta moledora especial para rimar el interior del receptáculo para quitar los recortes o cemento. El procedimiento usual es cementar la sarta retenida de tubería de ademe y para este objeto se une un niple de sello de retenida que se une a la tubería de ademe para asentar en la manga en la parte superior de la camisa. El niple de sello se equipa con sellos para ajustarse a la manga. Después de que se coloca el cemento en el exterior de la



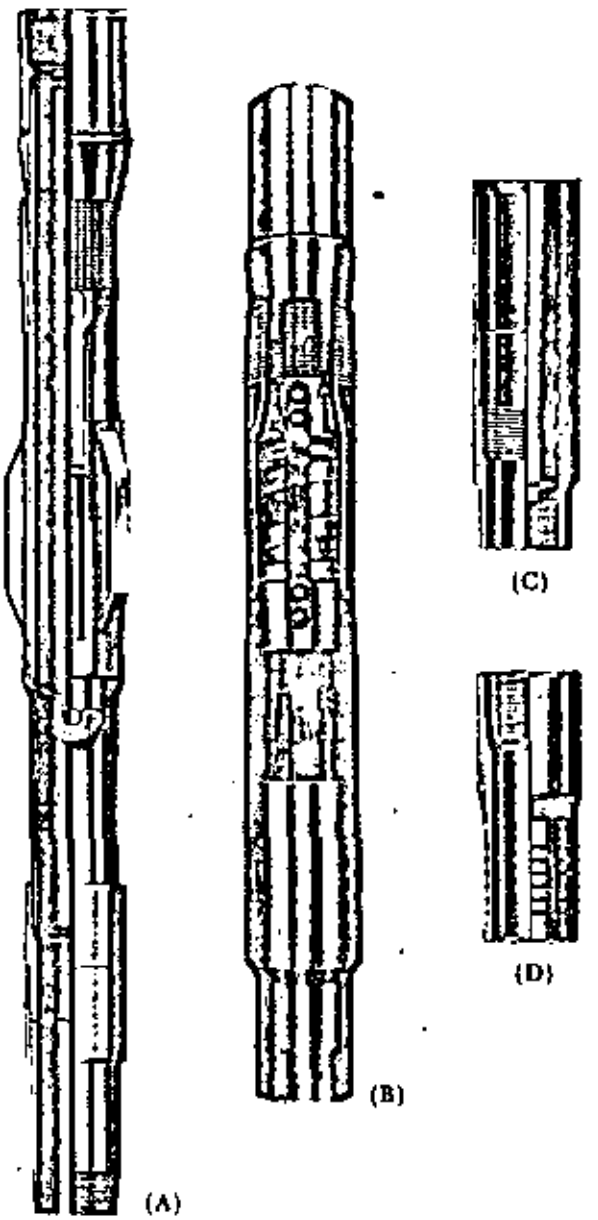


Fig. 4–24.– Equipo básico para camisa. (A) muestra el tipo convencional de colgador que se coloca mecánicamente equipado con conexión giratoria. (B) es un colgador que se coloca hidráulicamente que es aplicable especialmente cuando se corre una camisa a través de otra. El receptáculo de camisa (C) se corre arriba de una camisa colocada para recibir el niple de sello (D) que se corre en el fondo de una sarta retenida.

Fig. 4–23.– Arreglo general de camisa, colgador, empacador y herramienta selladora.

columna retenida de tubería, se baja el niple de sello en la manga de retenida y se asienta firmemente. Las conexiones en la superficie se abren para evitar un bloqueo de presión que pudiera levantar el niple de sello fuera de la manga. Nunca se corren válvulas de contrapresión en la sarta de tubería de ademe retenida, porque ésto haría imposible forzar el niple de sello en la manga contra el fluido atrapado dentro de la camisa. Hay collares de orificio especiales para usar en la sarta retenida para permitir un flujo de fluido restringido dentro de la sarta y para servir como topes a los tapones de cemento.

CEMENTACION DE POZOS PETROLEROS

PROPOSITO DEL CEMENTO

El propósito del cemento en un pozo petrolero es llenar el espacio anular entre una sarta de tubería de ademe y el agujero abierto. El primer cemento colocado detrás de la tubería de ademe después de que se corre en el agujero se llama "trabajo primario"; La Fig. 4–25 muestra detalles de uno. Las principales funciones del cemento primario, son:

1). Para restringir los movimientos de fluidos entre las formaciones y a la superficie.

2). Para proporcionar soporte a la tubería de ademe.

3). Para evitar la contaminación de las formaciones de agua dulce.

4). Para evitar la corrosión de la tubería de ademe.

El trabajo secundario de cemento, que se hace después del trabajo primario, incluye taponar a otra zona productiva, tapar un agujero seco y la cementación a presión de la formación. Estos procedimientos de cementación se encuentran fuera de los propósitos de estas lecciones y no se tratarán aquí.

NOTA HISTORICA

El primer cemento para pozos petroleros se mezcló en un cajón para mortero y se puso en el agujero por medio de una cuchara vertedora. En 1905 la cementación de pozos petroleros en California se había adelantado con el uso de tubería de producción para colocar la lechada en el fondo de la sarta de tubería de ademe. Esta lechada se forzaba hacia afuera de la tubería de ademe con presión sobre agua arriba del cemento líquido. El cierre se obtenía entonces bajando la tubería de ademe a un asiento de tubería de ademe previamente establecido y sosteniendo la presión en el agua hasta que la lechada se endurecía. La cementación mejoró con Almond Perkins y otros al emplear un tapón entre el agua y la lechada de cemento. La compañía cementadora Perkins se organizó en 1910; los servicios de esta compañía incluían un procedimiento de dos tapones, uno antes y otro después del cemento para disminuir la contaminación con el fluido de desplazamiento. Erle Halliburton, trabajó un par de años para Perkins y luego empezó un servicio similar en el norte de Texas, cambiándose más tarde a Oklahoma. Se le da crédito por la primera cementación en la que la tubería de ademe se cementó intencionalmente arriba del fondo y por la invención del mezclador a chorro de tolva.

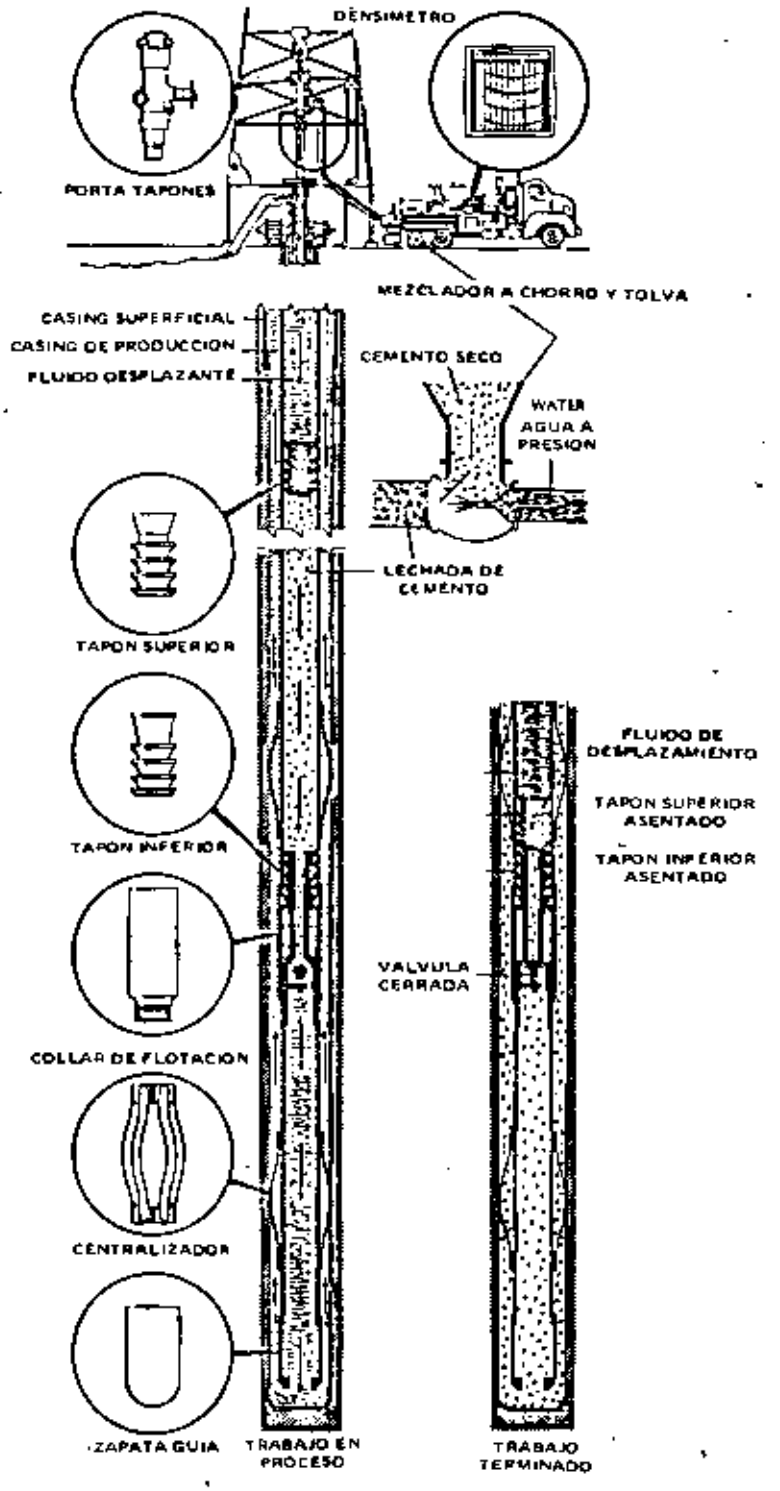


Fig. 4–25.– Diagrama de trabajo de cementación primaria

SUMINISTRO DE AGUA

Cualquier agua que sea suficientemente dulce para beber es apropiada para el cemento; pero el suministro debe ser amplio y la capacidad de bombeo a la unidad cementadora debe ser satisfactoria. Algunas aguas naturales contienen productos químicos orgánicos que afectan las propiedades de fraguado del cemento. Una de esas substancias comunes es el ácido húmico de la descomposición de la vida vegetal; el agua que contiene este ácido puede actuar como un retardador del fraguado dependiendo de su concentración en el agua. Algunas veces se encuentra que el agua del equipo contiene fosfatos, tanatos, u otros adelgazadores que se usan para el tratamiento del lodo. Estos productos químicos pueden retardar seriamente el tiempo de fraguado del cemento. Si hay alguna duda sobre la calidad del agua se deben obtener muestras para pruebas químicas con algo del cemento que se va a usar.

Se puede emplear el agua de mar con el cemento para pozo petrolero. Aunque el tiempo de espesado se puede reducir, se realiza un incremento de resistencia inicial:

EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO DE CLASE "A" DE API

	TIEMPO DE ESPESADO 6,000 PIES	RESISTENCIA A LA COMPRESION 100°F – 24 HORAS
Agua dulce	2 horas 41 minutos	2,108 lb/pulg^2
Agua de mar	2 horas 7 minutos	3,145 lb/pulg^2

La cantidad esencial de agua para un trabajo de cementación es la porción requerida para mezclar correctamente la lechada, más una tolerancia para cebar la bomba, probar las líneas y bombeo de limpieza. La relación usual de agua–cemento es de cerca de 5.5 galones por saco de cemento; se deberán proporcionar 500 galones por unidad cementadora para cebado, prueba y limpieza; y una cantidad adicional aproximada de 500 galones se deberá proveer como un margen mínimo de seguridad para compensar los errores humanos. Basándose en estas cifras, un trabajo de cementación de 500 sacos deberá tener disponible la siguiente cantidad de agua mínima:

Mezcla a 5.5 gal/saco	2,750 galones
Cebado, prueba y limpieza	500 galones
Margen de seguridad	500 galones
TOTAL:	3,750 galones
O APROXIMADAMENTE:	90 barriles

No deberá haber conflictos con otros requerimientos de agua del equipo o con posibles necesidades de emergencia, mientras esté en proceso un trabajo de cementación mezclándose. La salida de la fuente de abastecimiento a la unidad cementadora deberá ser una confiable y de preferencia con presión, como la alimentación por gravedad de un tanque de almacenamiento o una bomba. La cantidad de suministro de agua deberá basarse en la

velocidad de mezclado del cemento; generalmente ésta es de 5–6 barriles por minuto para cada unidad mezcladora en el trabajo. El agua para mezcla caliente puede dar por resultado un tiempo de bombeo disponible más corto para la lechada de cemento. Las operaciones en tiempo frío algunas veces resultan en líneas que se solidifican congeladas y el agua fría puede producir lechada viscosa durante la mezcla.

MANEJO DE MATERIALES PARA CEMENTAR

Originalmente todo el cemento y otros materiales para propósitos de pozos petroleros se obtenían en bolsas de tela; más tarde los sacos de papel y la mesa para cortar los sacos hicieron el manejo de estos materiales mucho más fácil. El mezclado mejoró grandemente con la tolva mezcladora de chorro. Ahora, tal vez el 90% del trabajo de cementación de pozos petroleros en Estados Unidos y otros países utiliza equipo para cementar a granel los materiales en vez del manejo manual en sacos. Hasta que se dispuso de cemento a granel, el tiempo de mezclado se controlaba con el número de hombres disponibles para manejar los sacos. El cemento en sacos es menos caro que el equipo para manejar cemento a granel cuando se emplean pequeños volúmenes o cuando la localización está alejada de una instalación para cemento a granel. Cuando se usa cemento en sacos, se debe tener una cuidadosa atención para apilarlos y protejerlos de la intemperie y es importante que no estén en la humedad. La altura práctica de los montones de sacos de cemento debe tomar en consideración la cantidad de compresión sobre los sacos del fondo, así como la altura conveniente para que un hombre trabaje. La Fig. 4–26 muestra una mesa cortadora de sacos y el manejo manual. El manejo de cemento a granel hace que ésto sea trabajo de un solo hombre, como se ve en la Fig. 4–27.

La Fig. 4–28 muestra el arreglo del equipo de transporte de cemento a granel que generalmente se utiliza en un trabajo grande de cementación. Este tipo de equipo emplea presión neumática para mover el cemento seco de una unidad a otra o a tolvas mezcladoras de cemento. La Fig. 4–29 es una vista de acercamiento de una unidad de transporte neumática de 500 pies cúbicos de capacidad; la máquina a la izquierda es la compresora de aire que se usa para presionar los tanques principales. La Fig. 4–30 ilustra una unidad de almacenamiento de gran capacidad: ésta se mueve vacía al lugar de trabajo y luego se llena con cemento antes del momento en que se necesite.

Las compañías de servicio de cementación que ofrecen materiales de cementación a granel, obtienen los ingredientes básicos de fuentes originales y los mueven a las estaciones de suministro a granel en el campo en donde se almacenan, mezclan y se embarcan según se requieran. El cemento suministrado de esta manera puede embarcarse rápidamente en grandes cantidades siendo muy conveniente; también da la seguridad al operador de que será una mezcla de cemento hecha a la medida de su propósito específico. Los aditivos del cemento, como la bentonita, pozolanas y sal, pueden mezclarse según especificaciones exactas; y los ingredientes, tales como los retardadores, cloruro de calcio y otros productos químicos que se usan en pequeñas cantidades se pueden dispersar perfectamente en toda la mezcla. Los recipientes de almacenamiento en la estación son a prueba de intemperie y utilizan transportadores de tornillo, elevadores de canjilones, deslizadores aereados o sistemas neumáticos para el movimiento de los materiales hasta dispositivos automáticos para pesar y mezclar. La mayoría de las unidades de transporte y almacenamiento utilizan el método neumático para transferir el cemento de la unidad de almacenamiento a las tolvas mezcladoras. La Fig. 4–31 muestra una estación de cemento a granel, con tanques para los diversos tipos de cemento.

Fig. 4–26.– Manejo manual de cemento en sacos. La mesa montada al lado de la tolva mezcladora, está equipada con un cuchillo para abrir los sacos.

Fig. 4–27.– Alimentar cemento a la tolva mezcladora es operación de un solo hombre cuando se usa cemento a granel.

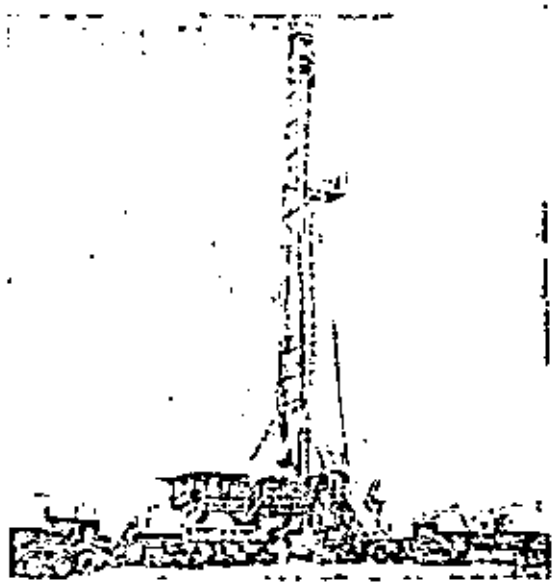


Fig. 4–28.– Equipo de transporte de cemento a granel para un trabajo de tubería de ademe.

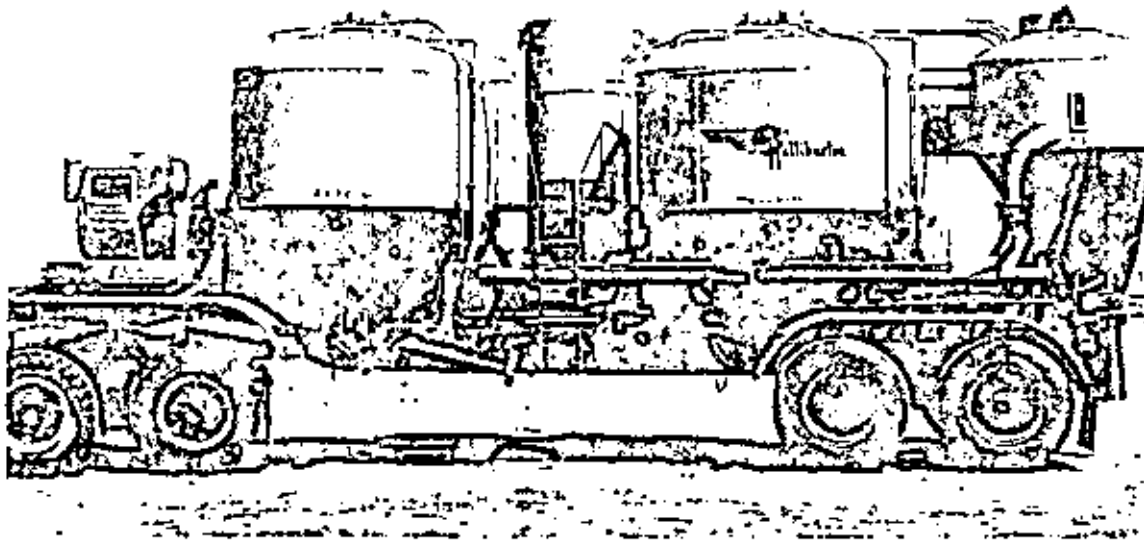


Fig. 4–29.– Unidad transportadora de cemento a granel de presión neumática.

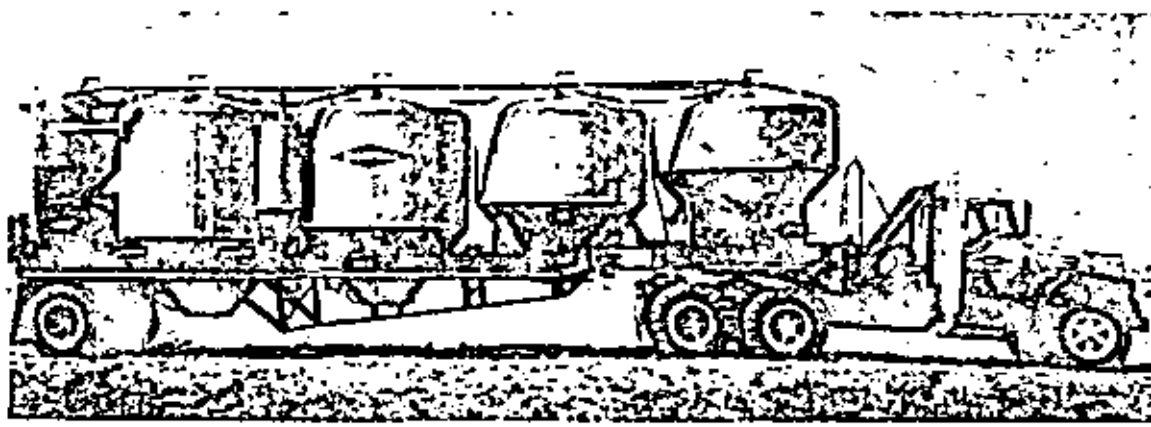


Fig. 4–30.– Unidad de almacenamiento de presión neumática. Esta está diseñada para almacenar 1,350 pies cúbicos de cemento a granel en el lugar del pozo.

El almacenamiento y manejo de cemento a granel ha sido considerablemente mejorado con el equipo neumático. Se inyecta aire comprimido en el cemento seco para hacerlo esponjoso o se usan materiales pulverizados como cal, bentonita o barita. Después se puede bombear como un líquido, fluirse por gravedad o forzarlo de un nivel a otro con presión de aire arriba de una reserva. El material que parece líquido puede manejarse por tuberías en la misma forma que un fluido y su flujo se regula con válvulas. El arreglo usual para la mayoría de las unidades de transporte de cemento a granel equipadas para usarse con tolvas mezcladoras consiste en tener un pequeño recipiente con fondo cónico para alimentar el mezclador por gravedad. Una compañía de servicio de cementación alimenta un mezclador especial directamente del sistema neumático de flujo de la unidad de transporte.

MEZCLA Y BOMBEO DE CEMENTO

El método primitivo para mezclar cemento y agua era con azadones en cajas de mortero; era lento, sucio y una tarea laboriosa, pero probablemente bastante bueno para las pequeñas cantidades de cemento requeridas. Los mezcladores a chorro Halliburton introdujeron la práctica moderna de mezclado rápido e hicieron posible mezclar varios cientos de sacos en los 60 minutos generalmente disponibles para preparar la lechada. Los servicios BJ, Dowell y otros, han empleado dispositivos mecánicos como agitadores, pero el mezclador a chorro hidráulico ha continuado siendo popular y es el sistema que más se usa actualmente para preparar la lechada. La Fig. 4—32 es un dibujo en corte del arreglo de tipo de chorro comúnmente empleado; un mezclador de alta presión de este tipo es capaz de velocidades que exceden 50 sacos por minuto. También se usan bombas centrífugas de alto volumen y baja presión en este servicio y han ganado una gran popularidad. La bomba centrífuga está accionada por una máquina independiente de los HP de las bombas de desplazamiento, así que estas últimas pueden bombear lechada a medida que prosigue la mezcla con la unidad centrífuga. La Fig. 4—33 muestra la operación de una tolva mezcladora a chorro y el equipo relativo.

El mezclador a chorro utiliza el efecto Venturi, induciendo un vacío parcial en la garganta y un flujo de fluidos turbulento, entremezclándose con las partículas de la tolva y en el tubo que sale de la garganta del Venturi. Los mezcladores de este tipo son de diseño sencillo, confiables y fuertes en la operación. El control de la velocidad de mezcla depende de dos factores: regulación del volumen de agua forzada a través del chorro; y la conservación de la tolva llena del material que se va a mezclar. Una línea de desviación puede surtir agua adicional para bajar el peso de la lechada por el incremento de la relación agua cemento. Algunas composiciones requieren el cambio del tamaño del chorro para un control correcto de la velocidad agua contra cemento, y el último tipo de mezclador incorpora un arreglo para cambiar el tamaño del orificio sin desarmarlo. En la mezcla continua, las comprobaciones a cada momento de la densidad de la lechada en el cubo del colector es la manera usual de control del peso de la lechada; con frecuencia se proveen dispositivos de medición automática de densidad.

El corazón de cualquier operación de cementación de pozo petrolero es la unidad de bombeo. El equipo cementador (ya sea montado en camión, o en remolque, una unidad montada en patín como en los equipos costa afuera o un bajel flotante), es principalmente un conjunto de bombas para propósitos especiales. Las Figs. 4—34, 4—35 y 4—36 muestran algunos camiones típicos de cementación; la Fig. 4—37 describe una unidad en patín y la Fig. 4—38 es una ilustración de un barco para servicio de cementación.

La bomba original para cementación de pozos petroleros era de un diseño duplex de

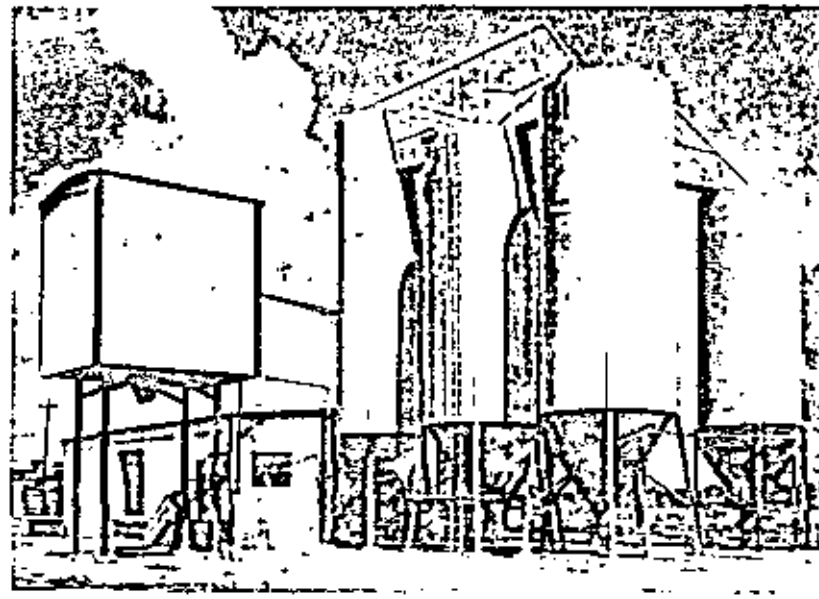


Fig. 4–31.– Estación moderna de mezcla y almacenamiento de cemento a granel.

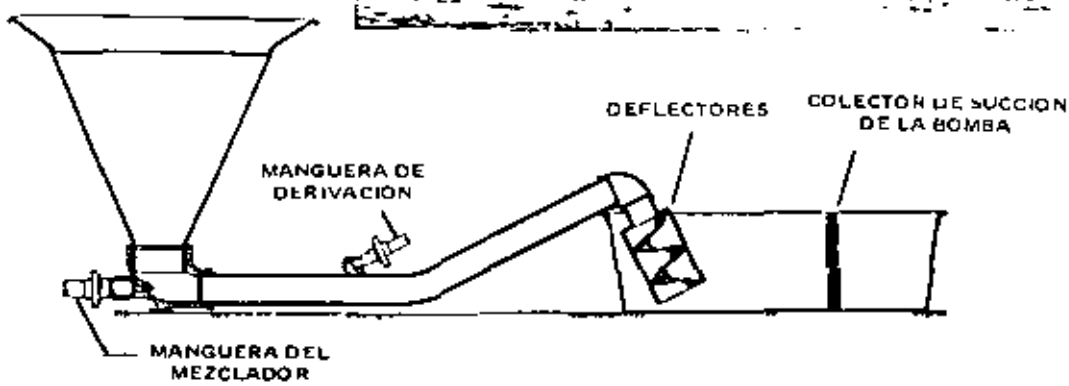


Fig. 4–32.– Mezclador de cemento a chorro de alta presión.

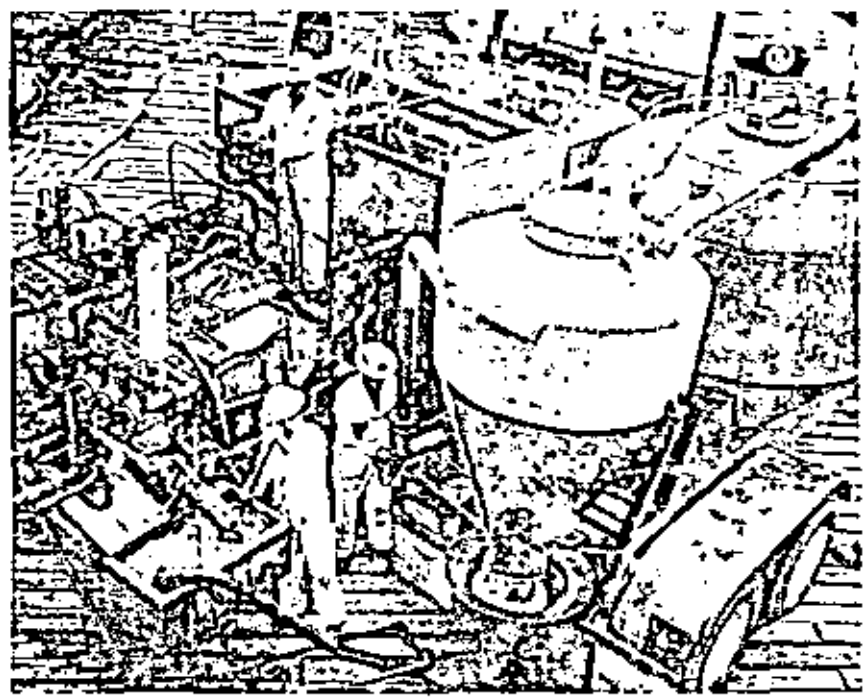


Fig. 4–33.– Operación de tolva mezcladora a chorro.

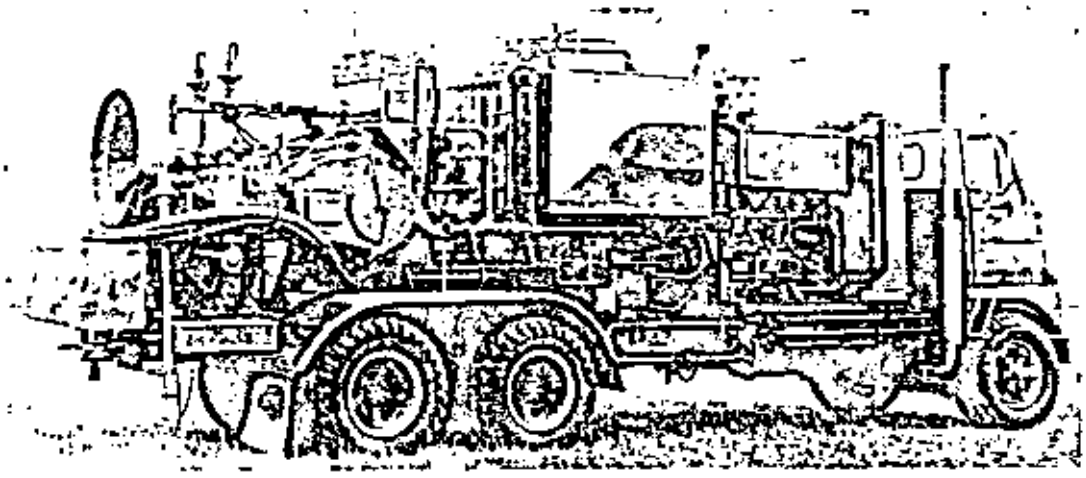


Fig. 4—34.— Unidad de cementación moderna montada en camión movida con Diesel

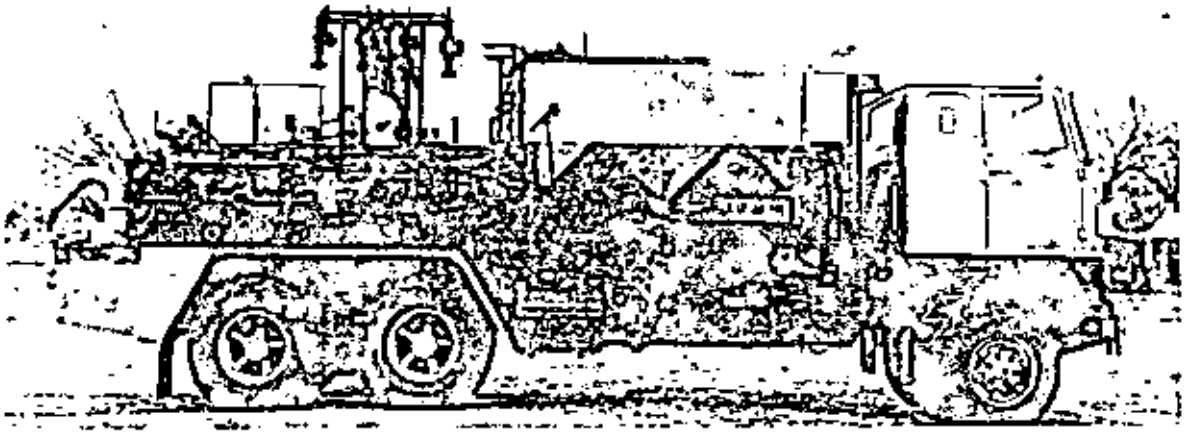


Fig. 4—35.— Unidad de cementación montada en camión movida por Diesel. Este cementador se caracteriza por la mezcla movida hidráulicamente y bombas de carga de aspiración.

Fig. 4—36.— Otra unidad de mezcla y bombeo de cemento montada en camión.

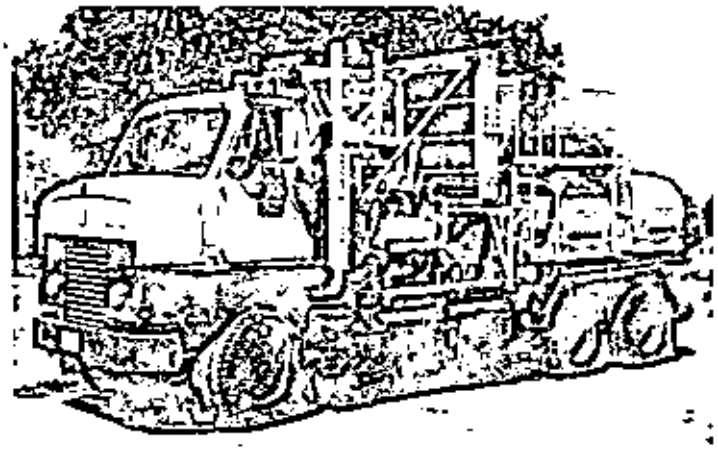


Fig. 4–37.— Equipo para manejar a granel, tolva mezcladora y unidad de bombeo montada en patín. La mayoría de los equipos de costa afuera están completamente equipados para trabajos de cementación.

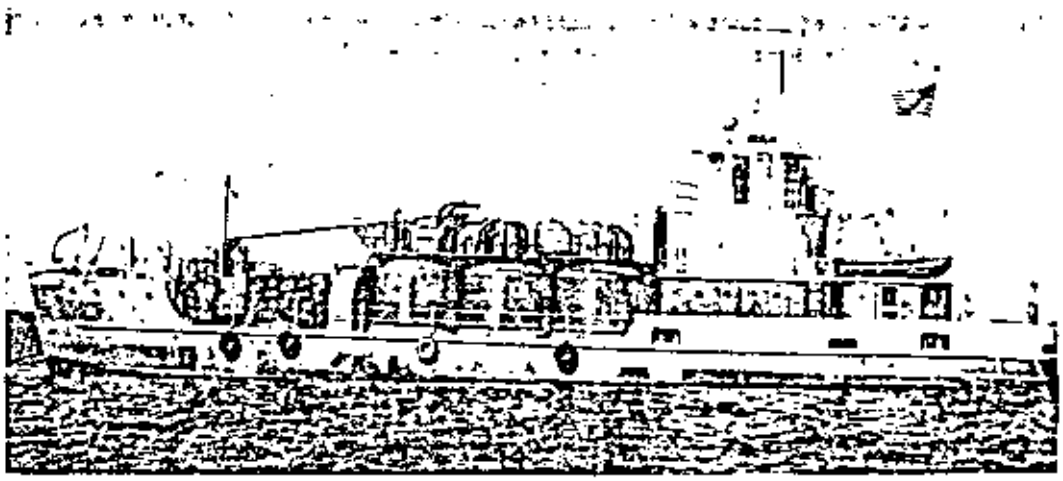


Fig. 4–38.— Unidad cementadora para servicio marítimo. Este tipo de equipo se usa para cementar pozos perforados por barcazas pluviales con equipo.

doble acción movida a vapor similar a las bombas que se usan para agua de alimentación a calderas. Las unidades movidas a vapor eran flexibles en su operación y dentro de las capacidades de la presión del vapor disponible, eran de confianza y fáciles de reparar. A medida que los pozos se perforaron más profundamente se necesitaron presión más alta y mayor capacidad; el vapor cedió el paso a equipos motorizados y también las bombas de fuerza tuvieron que adaptarse al servicio de cementación. La mayoría de las bombas movidas a motor emplean propulsores de convertidor de torque con una transmisión de engranes de relación cambiable. Las consideraciones básicas son el control del volumen y la presión de descarga desde el más pequeño al más grande, equilibrados contra el mejor caballaje de la máquina en cualquier punto. Casi todos los modelos comunes de unidades de cementación de pozos petroleros utilizan motores diesel. La mayoría de todos los trabajos de cementación manejan presiones de menos de 5,000 lb/pulg^2 pero no es poco común que las bombas de cementación tengan que desarrollar 10,000 lb/pulg^2. Para esta clase de requerimientos la mayor selección es una bomba de pistón triplex movida por medio de un convertidor de torque y una transmisión de cambio de engranes. Como se señaló anteriormente, hay una tendencia hacia las bombas centrífugas que emplean grandes volúmenes y bajas presiones para la mezcla del cemento y para cargar la succión de las unidades de desplazamiento. En muchas unidades modernas de cementación se usan bombas auxiliares movidas hidráulicamente.

Con dos bombas en una unidad, las líneas de succión, por lo general se instalan de manera que cualquiera de las bombas pueda tomar succión de un tanque de agua dividido o del colector del mezclador. La tubería de descarga se prepara de ambas bombas a la descarga principal en la línea del pozo, con desvío y líneas de alivio de regreso al tanque. Todas las tuberías que trabajan deberán revisarse cuidadosamente antes de un trabajo y deberán hacerse pruebas de presión con agua hasta una cifra arriba de la presión máxima esperada que se empleará durante el trabajo. La tubería de conexión de la unidad de bombeo o de las unidades a la cabeza de cementación en la tubería de ademe deben permitir el movimiento de la tubería de ademe, ya sea reciprocante o de rotación. Este requerimiento necesita flexibilidad; por lo tanto, se necesita tubería de acero con uniones giratorias. Con frecuencia se usan las bombas del equipo para bombear fluido atrás del tapón superior después de que se ha bombeado el cemento dentro de la tubería de ademe, por lo que la manguera regular de perforación también se une a la cabeza de cementación. Las bombas del equipo ordinariamente suministran grandes volúmenes y se usan con frecuencia para bombear hacia abajo el tapón superior cementador de modo que se obtenga un desplazamiento rápido de la lechada de cemento.

Las cabezas cementadoras de tubería de ademe, como la de la Fig. 4—39, tienen una conexión para las líneas de cementación y bombas del equipo dentro de una sarta de tubería de ademe y un receptáculo para los tapones de cemento. Las cabezas modernas tienen una tapa de cambio rápido que se puede quitar para insertar el tapón de cemento. Las primeras cabezas cementadas eran niples sencillos de tubería de línea de 2 pulgadas acampanados al tamaño de la tubería de ademe. La mayoría de las cabezas de cementación se diseñan para contener uno o más tapones y se cargan antes de la operación de cementación efectiva; los tapones se descargan selectivamente dentro de la tubería de ademe de la cabeza. Las cabezas de cementación están equipadas con válvulas y accesorios de tubería apropiados para conexión de líneas de cementación o de circulación. Cuando se desea la rotación de la tubería de ademe, se usa un adaptador de unión giratoria entre el collar de arriba y la cabeza, y la tubería de ademe se cuelga con las cuñas de la mesa rotaria.

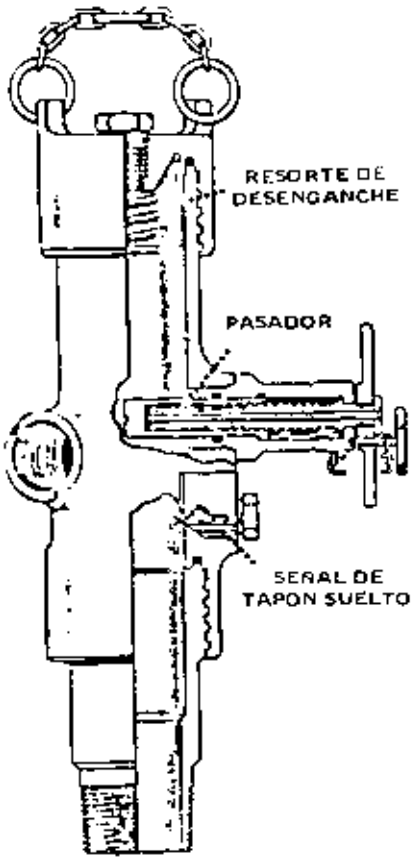


Fig. 4–39.– Detalles interiores de una cabeza de cementación moderna.

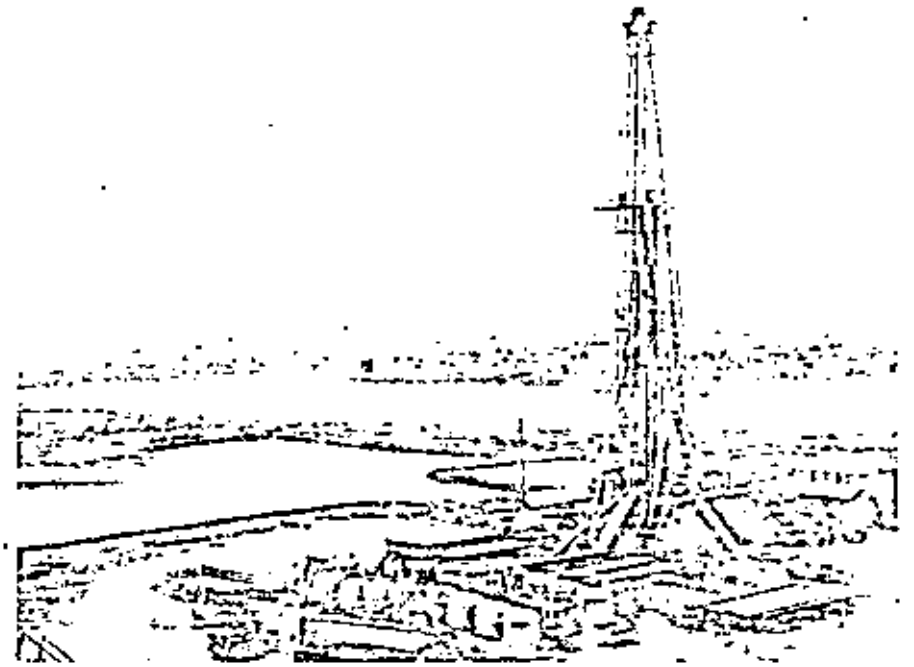


Fig. 4–40.– Movilización de gente y equipo para un trabajo de cementación de tubería de revestimiento.

CONSIDERACIONES MIENTRAS SE CEMENTA

El número de camiones para mezclar cemento depende de la cantidad de cemento que se va a mezclar, la profundidad del pozo, la presión que se espera y la cantidad de equipo de imaginaria que se desee. Como regla general solamente un camión se usa para un trabajo de tubería de ademe superficial, una unidad y otro camión por si se necesita para la tubería intermedia y de uno a tres para la sarta de producción. Los trabajos en que se manejan 1,000 sacos o más, generalmente tienen por lo menos dos camiones porque el tiempo de mezcla y desplazamiento probablemente se aproximaría al tiempo de fraguado si solamente se empleara una unidad. Cada camión debe alimentarse de tolvas mezcladoras separadas, pero todos los camiones están unidos en una sola línea común a un múltiple en el piso del equipo al que está conectada una línea de las bombas del equipo. La Fig. 4–40 muestra el arreglo del equipo necesario para un trabajo grande.

Es una práctica general bombear 10–50 barriles de agua adelante del cemento. Esto sirve como un agente de lavado y constituye un separador entre el lodo y la lechada. El agua ayudará a quitar algo de la torta de pared y arrastrará el lodo adelante del cemento, disminuyendo así la contaminación. El agua constituye un excelente líquido de lavado adelante del cemento, porque es fácil de obtener y se puede poner en flujo turbulento con cantidades bajas de circulación, y no afecta el tiempo de fraguado del cemento. La mayoría de los adelgazadores de lodo —particularmente el quebrado y los lignosulfonatos— retardarán o imposibilitarán completamente el fraguado del cemento. Algunas veces se usa como lavado adelante del cemento ácido acético (10%) con un inhibidor de corrosión y un surfactante. Es bastante efectivo y normalmente no causa corrosión de la tubería de ademe. Algunas veces se usa ácido clorhídrico (5 a 10%), pero es posible la corrosión aun cuando se use un espaciador de agua entre el ácido y el cemento. Los lavados no ácidos pueden ser benéficos cuando un gran volumen de agua no se pueda usar por temor de reducir la carga hidrostática.

La Fig. 4–41 es una ilustración que muestra la diferencia entre flujo plástico, laminar y turbulento en el espacio anular entre la tubería de ademe y el agujero abierto. Ha quedado bien establecido que la eliminación del lodo se puede lograr mejor con flujo turbulento, que saca hasta 95% comparado con no más de 60% del lodo circulante que puede extraerse con flujo plástico. El flujo turbulento se puede obtener reduciendo la viscosidad del fluido a algo parecido a la consistencia del agua y/o bombeando lo suficientemente aprisa para crear bastante velocidad para el flujo turbulento. El flujo turbulento de una lechada de cemento no solamente moverá casi todo el lodo que se puede circular, sino también quitará parcialmente las capas suaves de torta de filtro por la acción de fregado. Los productos químicos reductores de fricción que se agregan al cemento producen una lechada de baja viscosidad sin usar un exceso de agua. Reduciendo la viscosidad aparente se bajará la cantidad de flujo necesaria para producir flujo turbulento, con lo que la presión de desplazamiento será menor de lo que se requeriría de otra manera. La influencia de un agente químico reductor de fricción, con varios cementos mezclados a los pesos de lechada que se muestran, puede verse en la tabla siguiente de velocidades de bombeo necesarias para producir flujo turbulento en los tamaños de agujero o tubería de ademe indicados:

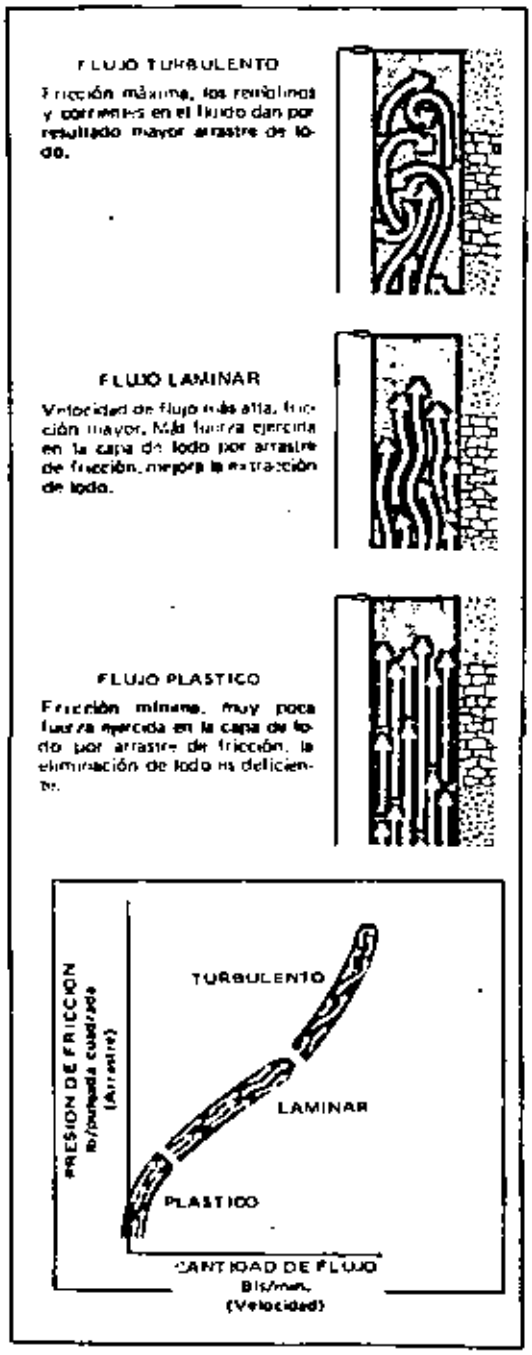


Fig. 4–41.– El flujo turbulento de la lechada de cemento cuando se desplaza sacará mucho lodo del espacio anular.

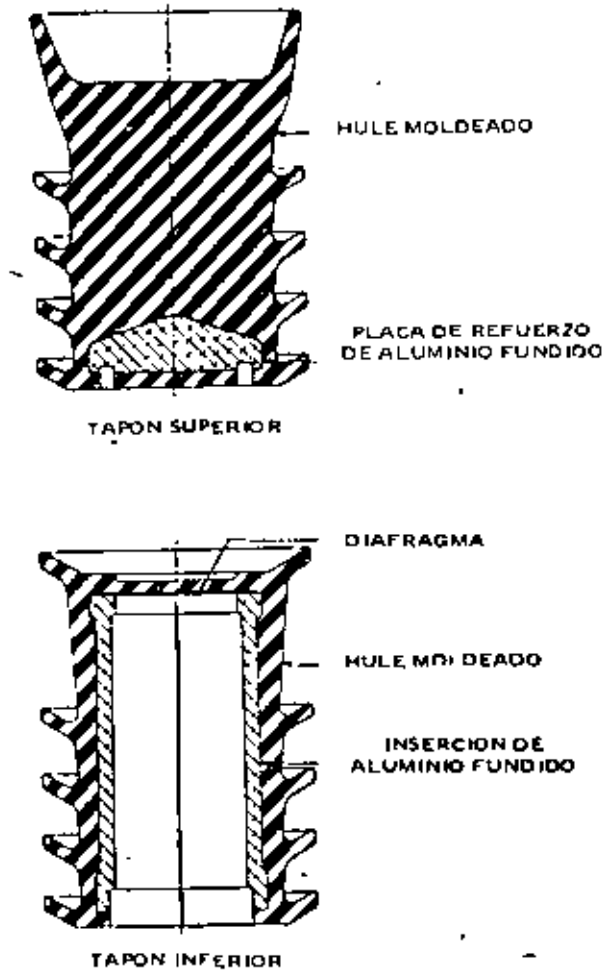


Fig. 4–42.– Tapones para cementar

LOS ADITIVOS REDUCTORES DE FRICCION, BAJAN LA VELOCIDAD DE BOMBEO NECESARIA PARA FLUJO TURBULENTO

TIPO DE CEMENTO Y PESO DE LECHADA	PORCIENTO DE ADITIVO	BARRILES/MINUTO PARA VARIOS TAMAÑOS		
		6–3/4 x 4–1/2"	8–3/4 x 5–1/2"	9–7/8 x 7"
API A	0.00	13.6	23.3	24.9
15.6 lb/gal.	0.50	11.3	18.7	20.2
	0.75	5.9	8.9	9.9
API A, 12% Gel.	0.00	16.4	29.5	31.1
12.8 lb/gal.	0.75	10.3	17.9	19.0
	1.00	2.9	4.1	4.7
API E	0.00	9.4	14.7	16.2
16.25 lb/gal.	0.50	4.4	6.0	6.9
	0.75	1.5	1.7	2.1

La lechada de cemento se deberá mezclar y bombear dentro de la tubería de ademe a la velocidad más alta posible sin demoras ni interrupciones. Las velocidades de mezcla y bombeo varían desde 20 a 50 sacos por minuto, dependiendo de la capacidad del camión cementador. Las unidades múltiples duplican o triplican estas cifras, de acuerdo con el número empleado. La densidad de la lechada se deberá controlar cuidadosamente para que el cementador obtenga el peso especificado de la lechada durante toda la operación. Con frecuencia la lechada se mezcla algo más ligera al principio de un trabajo. La densidad de la lechada normalmente se determina por medio de la balanza de lodo, pero existen los registradores automáticos. La densidad de la lechada es importante porque es una indicación directa de la relación agua—cemento y del volumen de la lechada. La densidad de la lechada es particularmente importante cuando se emplean mezclas especiales, o cuando la pérdida de circulación es un factor. Dependiendo del tipo de materiales mezclados con el cemento y la relación agua—cemento, el peso de la lechada de cemento puede ser tan bajo como de 12 libras por galón o tan pesado como de 20 libras por galón. Los cementos normales de A.P.I., como se verá más tarde, tienen pesos de lechada de 15—16 libras por galón. Es importante usar suficiente agua en la lechada, no solamente para asegurar una hidratación completa del cemento, sino también para proporcionar suficiente fluidez.

Los tapones para cementar se han hecho de sacos de yute o marcos de madera con limpiadores hechos de material de pasta, pero el estilo actual consiste de un cuerpo de aluminio recubierto de hule moldeado, fundido en la forma deseada. La Fig. 4—42 muestra los tapones para cementar que se usan ahora generalmente. La ilustración inferior es un tapón de fondo que se usa adelante del cemento para evitar la contaminación con el lodo de adelante de la lechada. Cuando llega al collar de flotación, el diafragma en el tapón se rompe para permitir que la lechada de cemento prosiga hacia abajo por la tubería de ademe y hacia arriba por el espacio anular por fuera de la tubería. El propósito del tapón de fondo es limpiar la película de lodo que se adhiere al interior de la tubería de ademe. A menos que se emplee un tapón de fondo, este lodo se quedará en la pared de la tubería de ademe hasta que lo limpie y lo acumula debajo el tapón superior. La siguiente tabla muestra el volumen de lodo que podría acumularse en 1,000 pies de tubería de ademe de 5—1/2 ó 7 pulgadas:

LODO QUE SE ADHIERE A 1,000 PIES DE TUBERIA DE ADEME

ESPESOR DE LA PELICULA DE LODO	ACUMULACION EN LA TUBERIA DE ADEME ADELANTE DEL TAPON SUPERIOR: TUBERIA DE ADEME DE 5–1/2"	TUBERIA DE ADEME DE 7"
1/32 de pulgada	25.6 pies	20.1 pies
1/64 de pulgada	12.6 pies *	9.9 pies

Estas cifras indican que los tapones de fondo se deben usar para aminorar la posibilidad de contaminación de la lechada adelante del tapón superior. Este es el cemento que determina la calidad del trabajo alrededor de la zapata de tubería de ademe. La Fig. 4–42, arriba es el tapón superior, que está construido sólidamente. Este se suelta cuando todo el cemento se ha mezclado y va seguido del lodo de perforación o de otro fluido que se usa para desplazar el cemento hacia abajo de la tubería de ademe. Este tapón origina un cierre completo cuando llega al collar de flotación. Se debe emplear un porta–tapones para cementar colocado en la cabeza con objeto de facilitar el descenso de los tapones, para evitar la entrada de aire atrás del cemento cuando se inserta el tapón superior y para permitir la operación continua.

El desplazamiento del cemento fuera de la tubería de ademe deberá ser tan rápido como sea posible, con objeto de crear turbulencia en el espacio anular y para quitar la cantidad máxima de lodo que se pueda circular. Esto deberá moderarse con juicio y por supuesto debe limitarse a los factores físicos presentes. Si se impone demasiada presión en la tubería de ademe y en las conexiones superficiales se puede causar una rotura; demasiado flujo (o presión) en el espacio anular puede causar la pérdida de circulación debido a fractura de la formación; y un flujo muy grande en el espacio anular puede desperdiciar lodo por derrame del niple de campana en la parte superior del pozo. La mayoría de los operadores usan la bomba del equipo cuando desplazan el cemento, porque se puede manejar un volumen más grande de fluido. Cuando se trata de un agujero de diámetro pequeño y hay poco espacio libre del tubo, como un agujero de 6–3/4 de pulgada y una tubería de ademe de 4–1/2 pulgada, se encuentra que un camión cementador con dos bombas de desplazamiento tiene bastante capacidad para obtener un flujo turbulento. Los tanques de desplazamiento en el camión se pueden usar para medir el fluido bombeado atrás del tapón. Muchos operadores consideran conveniente medir físicamente el fluido de desplazamiento cuando se bombea el cemento a su lugar. Otros cuentan las emboladas de la bomba del equipo y obtienen una medición del fluido multiplicando el número de emboladas y los galones por embolada por una eficiencia volumétrica estimada. Siempre se debe anotar el tiempo de bombeo; casi todos los operadores tienen un concepto mental del tiempo necesario, basándose en su experiencia o hacen una estimación del tiempo que se necesita. El tapón se "choca" cuidadosamente en casi todos los casos; el procedimiento usual es disminuir la velocidad de la bomba para el último 10% del fluido necesario para desplazar completamente el tapón. El bombeo se para tan pronto como hay una indicación positiva de que el tapón ha llegado al collar de flotación. El movimiento de la tubería de ademe ya sea reciprocante o de rotación, se deberá continuar durante todo el tiempo necesario para la circulación, mezcla de cemento y su desplazamiento. Unos cuantos operadores continúan moviendo la tubería hasta que hay una indicación de asimiento.

La Fig. 4–43 es un registro típico de las presiones en la cabeza de cementación mientras se mezcla y bombea el fluido atrás de la lechada de cemento para desplazarlo de la

tubería de ademe. Este trabajo se hizo en un pozo de mediana profundidad, como lo indica el hecho de que la presión de circulación es moderada; y probablemente implicó no más de unos cientos de sacos de cemento. La secuencia de los eventos aparece arriba de la escala del tiempo en la parte inferior de la carta. Obviamente la lechada se mezcló a un peso considerablemente mayor que el del fluido circulante en el pozo, porque la presión disminuyó uniformemente a medida que se mezcló la lechada y se bombeó dentro de la tubería de ademe. Por esta razón la presión de la tubería de ademe disminuyó cerca de 230 lb/pulg^2 y se sostuvo igual en esa cifra hasta que la lechada empezó a salir de la tubería de ademe. Entonces la presión de circulación aumentó uniformemente de los 47 minutos a los 64 minutos, indicando un incremento de la cantidad de lechada fuera de la tubería de ademe. El tapón de cementación chocó alrededor de 850 lb/pulg^2 casi antes del cierre; se indicó un cierre positivo por el aumento brusco de presión de aproximadamente 100 lb/pulg^2 en ese momento.

ACCESORIOS DE TUBERIA DE ADEME

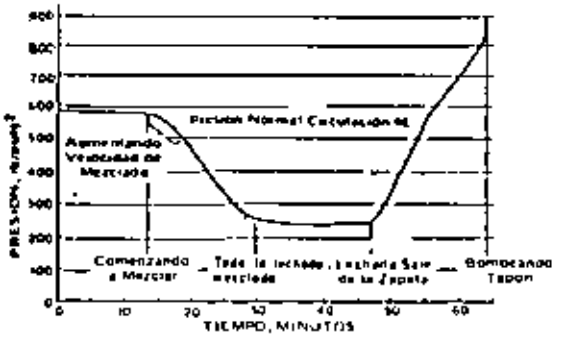
Hay tres clases de zapatas guía en uso actualmente: el tipo sencillo, la combinación de flotador y guía y el tipo de llenado automático. Como lo sugieren estos nombres, una zapata guía es un collar pesado que va unido al primer tramo de tubería que se va a bajar al agujero y tiene una nariz redonda para guiar la tubería de ademe alrededor de obstrucciones, bordes, etc. Las zapatas de tubería de ademe originales que se usaron con herramientas de cable algunas veces se empleaban para cortar realmente la formación cuando la sarta de tubería de ademe se metía hacia abajo. Las zapatas de tubería de ademe están provistas de un bisel interior para guiar las herramientas dentro de la tubería de ademe después de que se quita el cemento o el material plástico que forma la nariz. Una zapata guía se usa siempre, ya sea que se use o no un dispositivo de flotador. Las zapatas de combinación de flotador y guía se usan con frecuencia, particularmente en sartas largas y costosas de tubería porque el dispositivo flotador —en realidad una válvula de contrapresión— es un accesorio conveniente, aun cuando también se use un collar de flotación. El dispositivo flotador no es muy caro y algunas veces es conveniente una segunda válvula de contra—presión. La Fig. 4—44 muestra ejemplos de guías sencillas y en la Fig. 4—45 hay varias clases de combinaciones de guías y zapatas de flotación.

Los collares de flotación están ilustrados por la Fig. 4—46. Estos sirven para varios propósitos:

Primero; son dispositivos que permiten que la tubería de ademe literalmente flote en el interior del agujero, en virtud de que está parcialmente vacío. El accesorio de válvula de contra—presión está cerrado por la presión de la columna de fluido exterior, evitando por lo tanto, la entrada del fluido al ir bajando la tubería de ademe dentro del agujero. La cantidad de flotación depende de la cantidad de fluido colocado dentro de la sarta de tubería de ademe al llenarse desde la superficie. Cuando se ha corrido la tubería de ademe a la profundidad deseada, se establece la circulación a través de la tubería de ademe y la válvula de flotación.

Segundo: la válvula en el collar de flotación sirve como una válvula de retención en la sarta para evitar flujo en sentido contrario del cemento después de que se ha bombeado fuera de la columna. Esto es importante porque con frecuencia la densidad de la lechada es mayor que la del lodo. La válvula sirve también para evitar un reventón a través de la tubería de ademe, una función muy importante cuando hay formaciones de alta presión expuestas en el agujero abierto.

Fig. 4–43.– Registro de presiones de circulación mientras se mezcla cemento y se desplaza al espacio anular de la tubería de ademe.



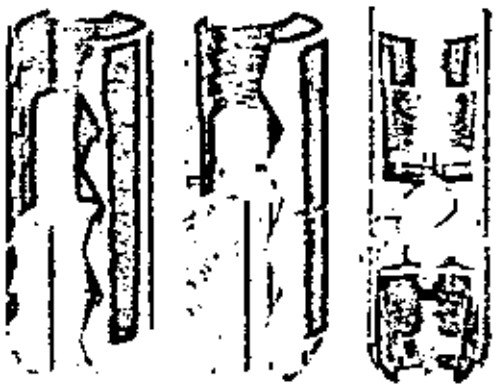
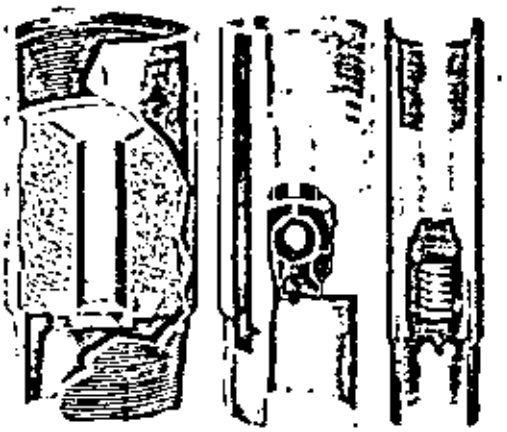


Fig. 4–44.– Zapatas guía sencillas de tubería de revestimiento.

Fig. 4–45.– Zapatas guía de tubería de ademe del tipo de flotador.



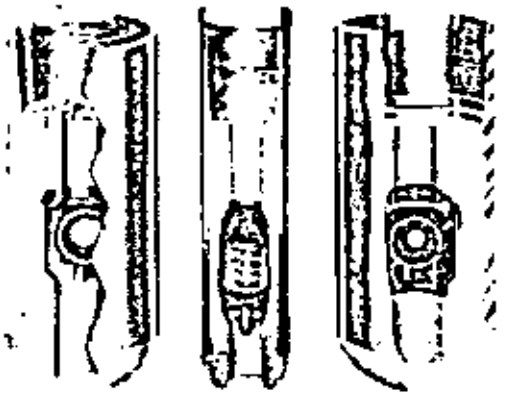


Fig. 4–46.– Collares de flotación de tubería de ademe.

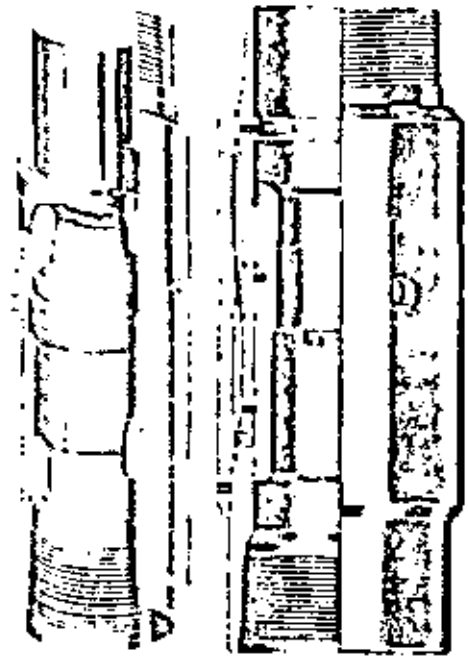
Tercero: un collar de flotación sirve como "tope" para el tapón superior cuando se desplaza el cemento. Esto permite que una cantidad de lechada quede dentro de la sarta en la zapata de tubería de ademe, de manera que el operador tenga la seguridad razonable de que hay cemento de buena calidad afuera de la tubería de ademe en ese punto. Ya se ha explicado que con frecuencia ocurre cierta contaminación de la lechada precisamente abajo del tapón superior. La mayoría de los operadores emplean un collar de flotación a una distancia de uno o más tramos arriba de la zapata de tubería de ademe, con objeto de proveer espacio dentro de la tubería de ademe para el cemento contaminado. Algunos operadores emplean una zapata de flotación y un arreglo de "collar de paletas" en lugar de un collar de flotación. El propósito del collar de paletas, que es igual que un collar de flotación sin válvula de contra–presión, es detener el tapón de cemento y dejar uno o más tramos de tubería de ademe llenos de cemento.

Una variación de la guía y zapata de flotación es el tipo de llenado diferencial o automático. Estos dispositivos permiten que una cantidad controlada de fluido entre al fondo de una sarta de tubería de ademe, mientras se esté corriendo dentro del agujero. La Fig. 4–47 muestra dos tipos que hay disponibles. La unidad de la izquierda regula la cantidad de fluido en la tubería de ademe, aplicando presión diferencial entre las alturas hidrostáticas dentro y fuera de la tubería. La zapata de la derecha emplea un arreglo de orificio para el mismo propósito. Se pueden añadir dispositivos similares en collares de flotación. El uso de equipo de llenado automático tiende a eliminar una de las causas de pérdida de circulación, porque reduce el efecto de pistón y por lo tanto baja la presión variable a medida que se baja la tubería de ademe en el agujero. El equipo de llenado automático elimina la necesidad de llenar la tubería de ademe a medida que se arma cada tramo. La mayoría de los dispositivos automáticos de llenado pueden dejar de operar llenando la tubería de ademe desde arriba y aplicando presión. Entonces las zapatas automáticas y los collares invierten su función como dispositivos regulares de válvulas de contra–presión.

Los collares de flotación y las zapatas anteriormente eran unidas a la tubería de ademe soldándolas, pero esta práctica se ha suspendido gradualmente en favor de los compuestos fijadores de roscas para evitar que se desatornillen mientras se sigue perforando. La soldadura de las zapatas coples y collares debilita la tubería de ademe y deberá evitarse siempre que se pueda. Las uniones de rosca aseguradas, cuando se preparan correctamente resisten mayor torque antes de despegarse que la tubería de ademe punteada con soldadura. Estas uniones se pueden despegar, en caso de que la tubería tenga que sacarse, calentándolas alrededor de 600°F y aplicando torque a la izquierda. La tubería de grado J–55 no se deberá soldar, excepto en condiciones muy cuidadosamente controladas y material de grado más alto en ninguna forma. Las zapatas de flotación normales y los collares están hechos de material N–80 y por lo tanto, son susceptibles de fallas si se sueldan. Los collares de tubería de ademe algunas veces se hacen de material de alto grado (aunque se armen en tubería de bajo grado) y se pueden dañar si se sueldan.

Los dispositivos de etapas múltiples similares a los tipos que se ven en la Fig. 4–48, se usan para cementar dos o más secciones separadas de detrás de una sarta de tubería de ademe, generalmente para una columna larga que podría causar falla de la formación si el cemento se desplazara del fondo de la sarta. La herramienta esencial consiste de un cople con puertos colocada en el punto apropiado de la sarta. La Fig. 4–49 muestra los pasos que intervienen en un trabajo de cementación por etapas. La cementación de la sección inferior de tubería de ademe se hace primero en la forma usual, usando tapones que pasan a través del collar de etapa sin abrir los puertos. La herramienta de etapas múltiples se abre entonces hidráulicamente con tapones especiales y se circula el fluido a través de la herramienta de

Fig. 4–47.– Zapatas guía de tubería de ademe de llenado automático.



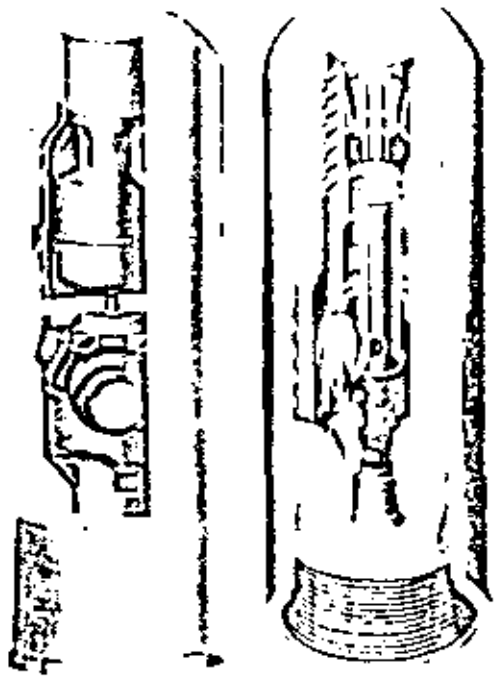


Fig. 4–48.– Collares para cementación por etapas.

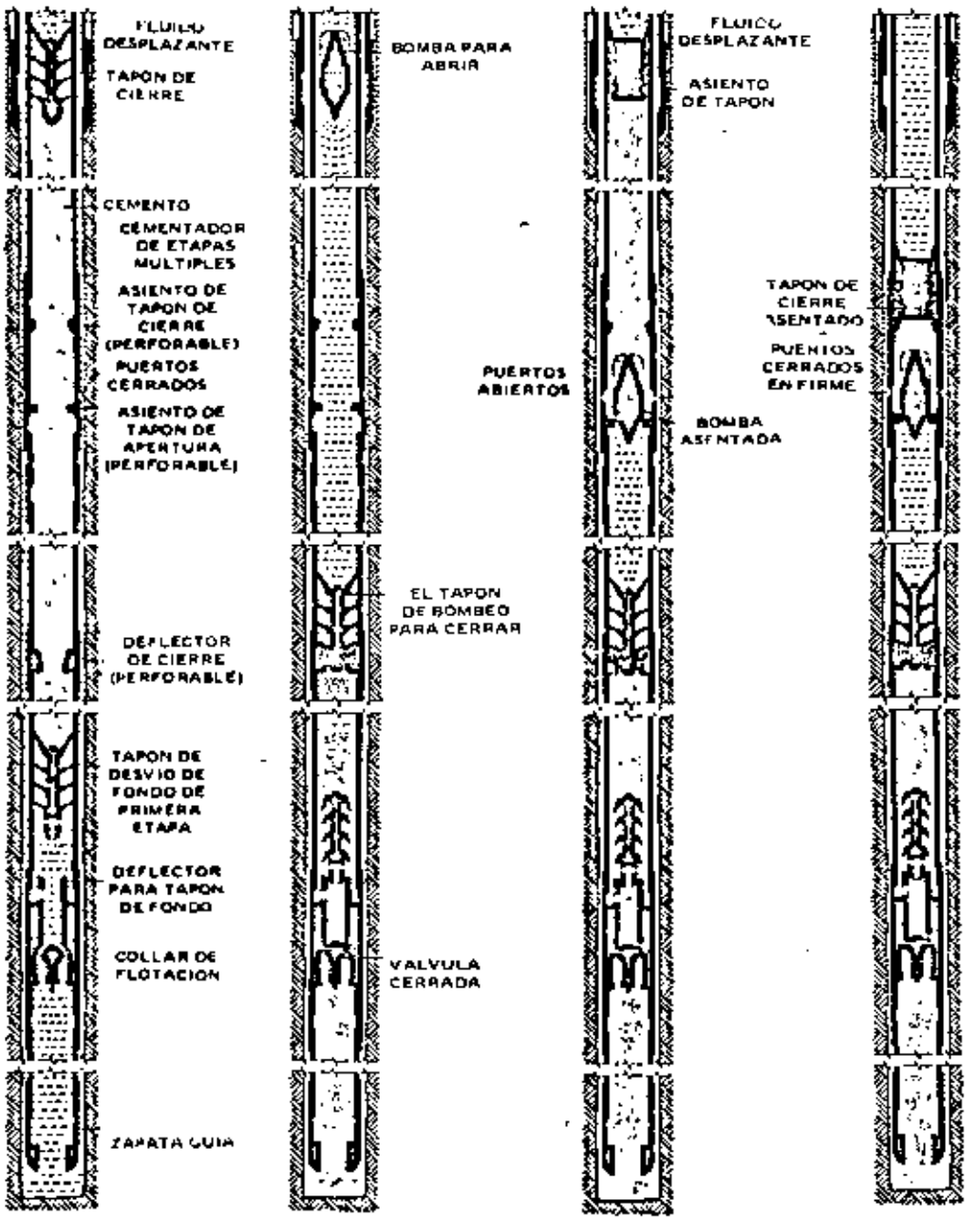


FIGURA A	FIGURA B	FIGURA C	FIGURA D
DESPLAZANDO CEMENTO PARA LA PRIMERA ETAPA	DEJANDO CAER LA BOMBA PARA ABRIR	DESPLAZANDO CEMENTO PARA LA SEGUNDA ETAPA	CEMENTADOR DE ETAPAS MULTIPLES CERRADO

Fig. 4–49.— Pasos sucesivos para la cementación por etapas

etapas a la superficie. La colocación del cemento en la sección superior ocurre a través de los puertos que después se cierran con el tapón final que se bombea detrás del cemento. La mayoría de los collares de etapas que se consiguen comercialmente están diseñados de manera que se obtenga un calibre pleno después de perforar el cemento que se dejó en la tubería de la columna. Las herramientas para cementar por etapas, algunas veces se usan en áreas donde se han desarrollado las operaciones de minería y hay una obligación legal de llenar el espacio anular hasta arriba de las bocas de las minas.

Los centradores, con frecuencia en combinación con los raspadores, se usan en la tubería de ademe por dos razones principales en relación a la cementación: (1) para asegurar una distribución uniforme de cemento alrededor de la tubería y (2) para obtener un sello suficiente entre la tubería de ademe y la formación. Hasta el momento parece que más de la mitad de las sartas de tubería de ademe que se han corrido en Estados Unidos, están equipadas con centradores y que la mitad de estos trabajos también emplearon raspadores. Una cantidad considerable de investigaciones en el campo se han verificado en campos de múltiples arenas y estos informes demuestran que las cementaciones de tubería de ademe se mejoran con el empleo de centradores y que resultan mejores trabajos con el uso de raspadores y alta velocidad de desplazamiento cuando se está colocando la lechada de cemento. Algunas veces no es posible obtener flujo turbulento en el espacio anular con equipo convencional de bombeo, excepto por medio de agentes reductores de fricción; pero el movimiento reciprocante o rotatorio de la tubería de ademe realiza el mismo resultado. La Fig. 4–50 muestra varios tipos de centradores que hay disponibles.

Los centradores deben tener suficiente fuerza para centrar la tubería de ademe razonablemente bien en el agujero y tienen que tener suficiente espacio libre para el paso del fluido circulante. También deben permitir una cubierta concéntrica de cemento alrededor de la tubería. Los centradores conservan la tubería de ademe alejada de la pared del agujero y pueden así evitar presión diferencial al meter la tubería. Los centradores pueden ayudar a eliminar la torta de pared y a evitar la canalización de cemento en el espacio anular. La Fig. 4–51 muestra los diversos caminos para unirlos a la tubería de ademe. A la izquierda se ve un tipo de bisagras que se agarra a los coples de la tubería de ademe; los otros dos se mantienen en posición por collares de tope.

Los raspadores de cemento son dispositivos mecánicos limpiadores de pared agarrados a la tubería de ademe que raspan el agujero por el trabajo que hacen al mover la sarta de tubería reciprocando o girando. La Fig. 4–52 muestra seis de las muchas variedades de raspadores reciprocantes y la Fig. 4–53 ilustra los diversos tipos de raspadores rotatorios. Ambos tipos se pueden fijar a la tubería de ademe soldándolos, pero actualmente la práctica es usar topes de collar mecánicos o abrazaderas, similares a los que se ilustran en la Fig. 4–54. Normalmente se instalan raspadores sólidos o divididos mientras la tubería está en la tarima antes de correrla. Los centradores y los raspadores de bisagra generalmente se sujetan con abrazaderas en la tubería de ademe después de que se arma y al correrse dentro del agujero. Los raspadores reciprocantes normalmente se separan de 15 a 20 pies de intervalo a través de la sección que se va a cementar, pero los raspadores rotatorios usualmente se ponen únicamente opuestos a las zonas productivas.

La mayoría de los operadores trabajan moviendo la tubería, ya sea que tenga raspadores o no. La tubería de ademe que está equipada con limpiadores de pared reciprocantes, se moverá hacia arriba y hacia abajo en una distancia de 5–35 pies, dependiendo de la separación de los dispositivos en la tubería. La tubería de ademe no se deberá bajar demasiado aprisa en la carrera hacia abajo, porque el desplazamiento de la tubería y la circulación del fluido pueden producir variaciones excesivas de presión y pueden

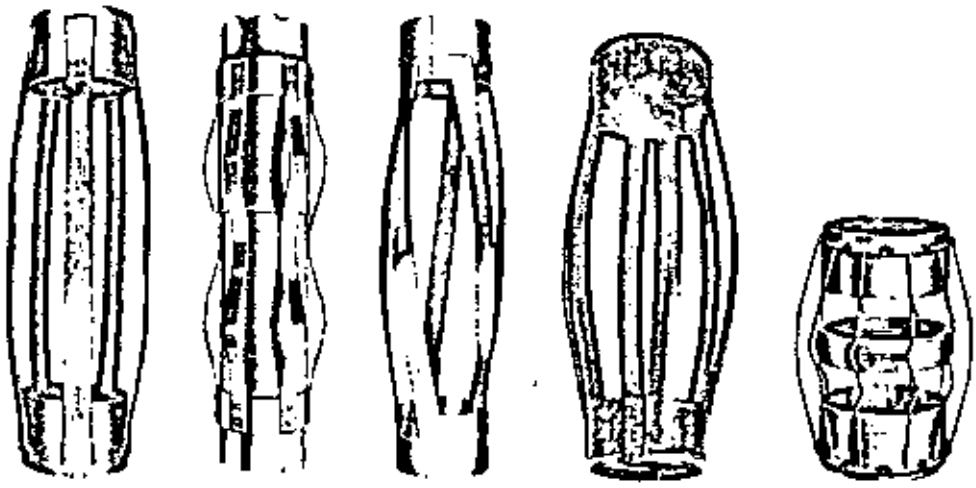


Fig. 4–50.– Varios tipos de centradores de tubería de ademe.

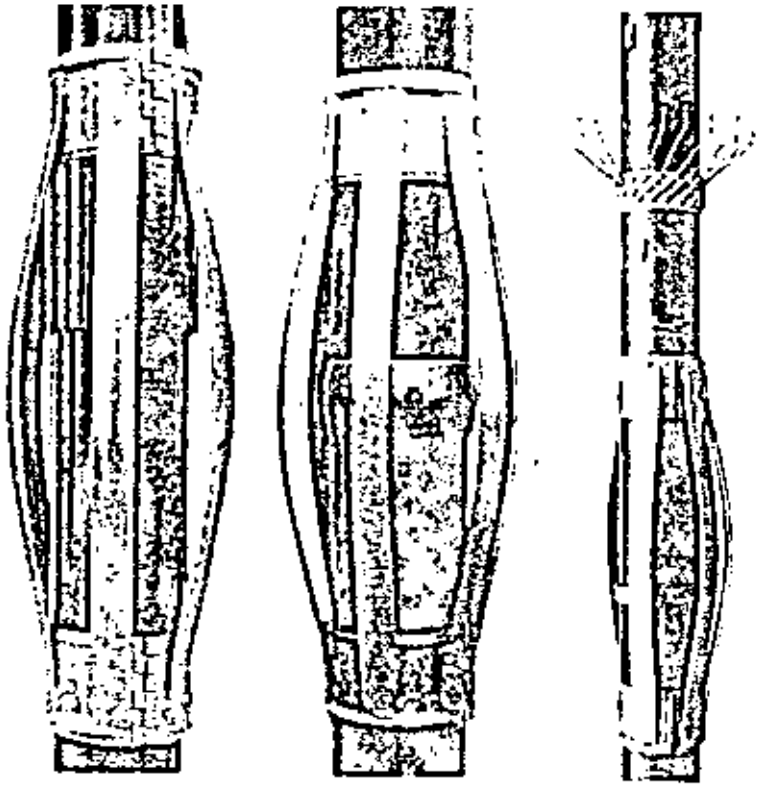
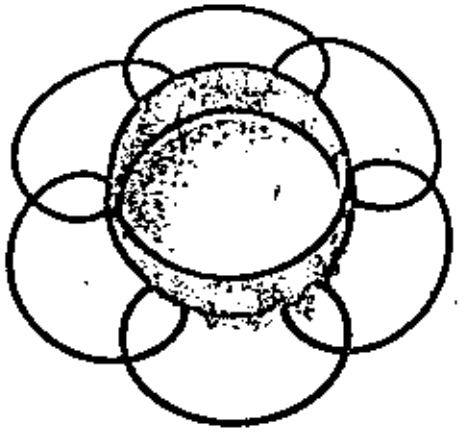
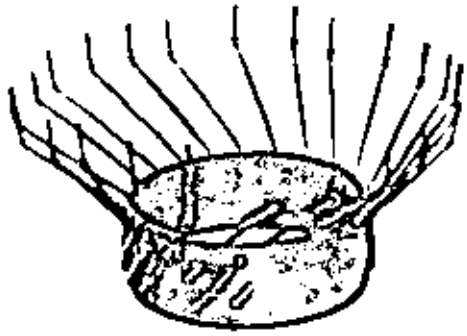


Fig. 4–51.– Varias maneras de unir los centradores a la tubería de ademe

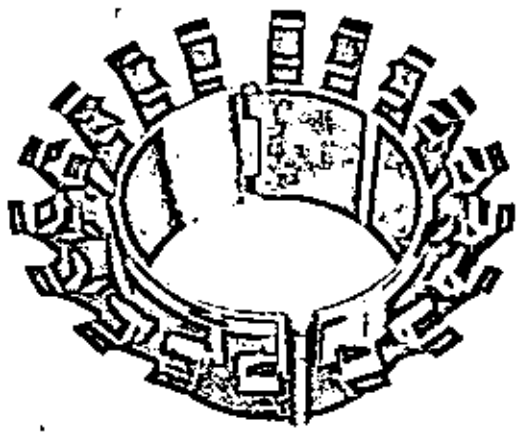


Limpiador reciprocante de cuerpo sólido

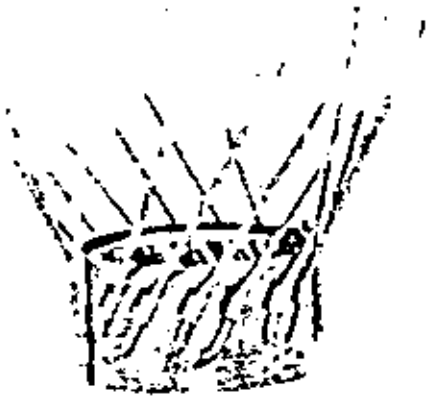


Raspador reciprocante de cuerpo sólido

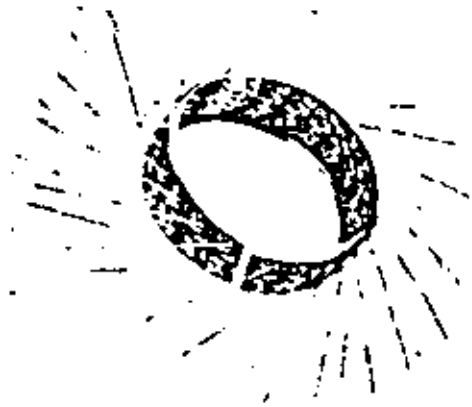
Raspador reciprocante de bisagra



Limpiador reciprocante de bisagra



Raspador reciprocante de bisagra



Raspador reciprocante dividido

Fig. 4–52.– Raspadores reciprocantes

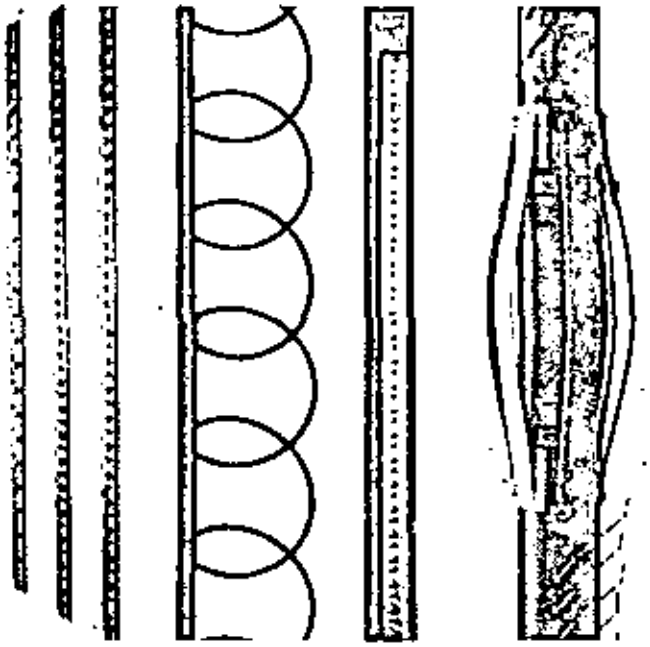


Fig. 4–53.– Raspadores rotatorios para limpiar la pared

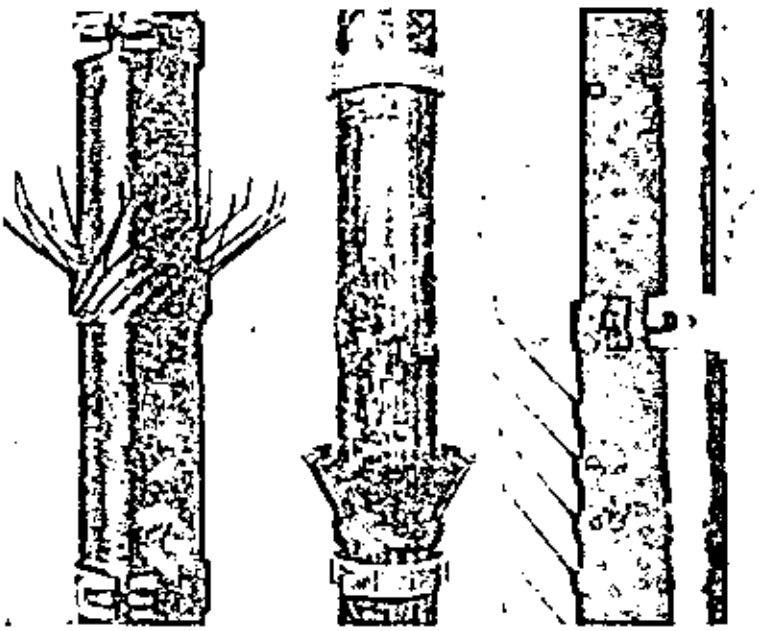


Fig. 4–54.– Collares de tope mecánicos y abrazaderas

causar fallas de la formación. Generalmente, la frecuencia del movimiento reciprocante es aproximadamente de dos minutos por carrera. La tubería de ademe equipada con raspadores rotatorios se soporta con las cuñas en la mesa rotaria y se gira a una velocidad de 20 rpm. La rotación de la tubería en agujeros desviados puede ser peligrosa, debido a la flexión de la sarta y puede dañar los acoplamientos con cada vuelta de la tubería.

REQUERIMIENTOS DE VOLUMEN DE CEMENTO

El método más elemental para estimar la parte superior del cemento detrás de la tubería de ademe (y por el contrario, la cantidad de cemento necesario para llegar a cierto punto), es el cálculo del volumen del agujero abierto menos el volumen de desplazamiento de la tubería. Las compañías de servicio de cementación publican manuales que enlistan tablas de capacidad de agujeros y volumen entre tubería de ademe y agujero, tubería de producción y de ademe, etc. Los volúmenes calculados o del manual entre la tubería de ademe y una sarta más grande de tubería son bastante precisos. Por otro lado, la determinación del volumen entre tubería y agujero abierto pueden ser muy imprecisos por el agrandamiento del agujero, debido a deslave o cierre causado por la acumulación de torta de pared. El requerimiento de volumen a través de un intervalo de agujero abierto que se va a cementar se puede estimar por el diámetro del calibre de la barrena, más un margen adicional (calculado con base en la experiencia) por agrandamiento del agujero. Aun cuando se disponga de un registro de calibre, se requerirá lechada de cemento adicional para obtener un llenado completo por la pérdida de fluido por filtración, etc. Este factor de exceso varía con las condiciones locales del campo los métodos de perforación, tipo de fluido de perforación y aditivos usados con el cemento. Una investigación del A.P.I. sobre las prácticas en Estados Unidos durante los últimos años de 1950 demostró que la mayoría de los operadores emplearon factores de exceso de 25–100%.

Un método empírico para calcular la capacidad de un agujero abierto es multiplicar el diámetro en pulgadas por sí mismo, siendo el resultado el número de barriles por 1,000 pies. Por ejemplo, la capacidad de volumen de un agujero de 10 pulgadas es aproximadamente 100 barriles por 1,000 pies. El método puede ampliarse para calcular el volumen entre el agujero y la tubería de ademe, multiplicando el diámetro de la tubería de ademe por sí mismo y restando esto de la cifra obtenida para la capacidad del agujero. Por ejemplo, la tubería de ademe de 7 pulgadas de D.E. desplazará 49 barriles (7 x 7) por 1,000 pies. Esa cifra restada de 100 barriles por 1,000 pies en un agujero de 10 pulgadas de diámetro, será igual a 51 barriles por 1,000 pies de espacio anular. Los barriles se pueden convertir a pies cúbicos usando como multiplicador 5.6. Estas aproximaciones son útiles para determinaciones de agujero abierto porque la mayoría de los agujeros perforados no son de calibre verdadero, como se explicó arriba, sino que están ampliados debido a tres posibles factores: la barrena corriendo ligeramente fuera de centro, deslave del agujero y esquisto que se derrumbe. Cuando se use el método del cuadrado del diámetro, se encuentra generalmente satisfactorio usar un diámetro ligeramente mayor que el de la barrena o de la tubería de ademe, es decir, aproxime a la pulgada entera mayor más próxima.

Después de calcular el espacio que se va a llenar, se debe determinar el volumen de la lechada de cemento para establecer el volumen de los materiales que se van a emplear en la lechada. Los factores que intervienen en estos cálculos incluyen la relación de agua de mezcla a cemento, el tipo de cemento y la cantidad de materiales adicionales, tales como gelatina, pozolanas, cáscaras de nuez, etc. Estos se pueden generalmente obtener del abastecedor del cemento. Después de que se ha determinado el volumen unitario de la lechada específica de cemento que se va a emplear, se puede estimar la parte superior del

cemento detrás de la tubería de ademe por comparación del volumen total de lechada con el volumen del espacio detrás de la tubería de ademe. Esta es la "parte superior calculada" de cemento; no es una cifra precisa porque casi nunca se obtiene un llenado exacto, como se explicó arriba. Las partes superiores calculadas de cemento son más aplicables en áreas de rocas duras donde las condiciones del agujero son más pronosticables que en la costa del Golfo y áreas similares. Donde hay numerosas zonas de gran permeabilidad, se puede esperar que la pérdida de filtración será considerable. La reducción de la pérdida del agua de la lechada con el uso de aditivos apropiados da por resultado un llenado más alto por saco. La selección apropiada de un factor de exceso depende de la seguridad del volumen del agujero según los datos y la experiencia anterior. Generalmente se usa un exceso de 15–25% cuando se dispone de un registro de calibre; esta cantidad se deberá elevar a 50–100% cuando no se conoce el verdadero diámetro del agujero.

Cuando se está cementando tubería de ademe superficial, la mayoría de los operadores hacen todo lo posible para asegurar un llenado completo de cemento de la zapata de la tubería de ademe a la superficie; pueden incluir bentonita o pozolanas para obtener el peso más ligero posible de la lechada, agregar escamas de celofán o algunos otros materiales para circulación perdida, tratar para pérdidas de agua y usar hasta 100% de exceso de cemento. La parte superior del cemento, si el volumen requerido supuesto es correcto, se indica por el retorno de cemento a la superficie. Si no se obtiene el retorno de cemento, la práctica usual es bombear cemento en el espacio anular después de que se ha terminado la tarea primaria. Una estimación común del requerimiento para la tubería de ademe superficial en el sur de Louisiana es un pie cúbico de lechada por cada pie de profundidad detrás de tubería de ademe de 10–3/4 pulgadas ó 13–3/8 pulgadas. Cuando se esté cementando tubería de ademe intermedia, la mayoría de los operadores se satisfacen con un llenado menor detrás de la tubería, algunas veces no más de unos cuantos miles de pies. Si las presiones del pozo son altas, algunos operadores tratan de obtener un llenado completo del espacio anular, aun cuando el requerimiento de cemento pueda ser de varios miles de pies cúbicos. Si el cemento no circula a la superficie, algunos operadores bombean cemento entre las sartas intermedia y superficial. Si la cantidad de llenado detrás de la tubería de ademe intermedia es crítico, se usa un registro de calibre para determinar el factor de exceso y se considera el empleo de una herramienta para cementación por etapas. Cuando se está cementando la sarta de aceite la mayoría de los operadores toman un registro de calibre a menos que se haya probado que el factor de exceso sea bastante seguro. La carta para tubería de ademe de 7 pulgadas dentro de agujero perforado de 8–3/4 pulgadas a 8,000 pies podría aparecer de la siguiente manera:

MEDIDAS DEL REGISTRO DE CALIBRE

PROFUNDIDAD DEL POZO	DIAMETRO PROMEDIO
7,000 – 8,000 pies	9 – 1/2 pulg.
6,000 – 7,000 pies	10 – 1/4 pulg.
5,000 – 6,000 pies	9 – 5/8 pulg.

La experiencia con los agujeros calibrados ha demostrado que se debe usar un 15% de exceso de cemento. Usando este factor y valores de manual, se encuentra lo siguiente para tubería de ademe de 7 pulgadas dentro del agujero de diámetro indicado arriba.

PROFUNDIDAD DEL POZO	VOLUMENES CALCULADOS DEL ESPACIO ANULAR (por 1,000 pies)	
7,000 – 8,000 pies	187 pies^3 x 1.15	215 pies^3
6,000 – 7,000 pies	199 pies^3 x 1.15	229 pies^3
5,000 – 6,000 pies	274 pies^3 x 1.15	274 pies^3
	Volumen del espacio anular hasta 5,000 pies	718 pies^3

Suponiendo que el volumen de la lechada es igual a 1.1 pies^3/saco, entonces 718 ÷ 1.1 = 652 sacos necesarios para llenar el espacio anular hasta 5,000 pies en este ejemplo. El cemento que se intente dejar dentro de la tubería de ademe es un factor adicional. Generalmente se agregan cincuenta sacos para compensar, desperdicios, etc.; en este caso se ordenarían 700 sacos de cemento para el trabajo.

CONSIDERACIONES PARA DESPUES DE CEMENTAR

Después de que el tapón de cementar ha chocado con el collar de flotación, la presión se ha subido detrás del tapón y se ha parado la bomba, el siguiente paso es descargar la presión con objeto de determinar si la válvula de contra–presión en la sarta de tubería de ademe está sosteniéndola satisfactoriamente. Como se explicó previamente, la presión de atrás del tapón, generalmente aumenta a medida que el cemento sube por el espacio anular, algunas veces llegando a 1,000 libras o más; y el procedimiento aceptado es subir varios cientos de libras la presión adicional después de que el tapón deja de moverse con objeto de obtener la completa seguridad de que se ha desplazado toda la lechada. Estas dos consideraciones pueden dar por resultado tal vez 1,500 lb/pulg^2 en la tubería de ademe cuando se para la bomba; la presión de esta magnitud dilata la tubería en una cantidad apreciable debido a expansión de arco. La expansión de la tubería de ademe donde no hay cemento no tiene ninguna consecuencia; pero el fondo de la sarta donde el tubo está cubierto de cemento se puede afectar la adherencia entre la tubería y el cemento endurecido. Después de que el cemento se endurece, la descarga de presión en la tubería de ademe permite que se contraiga de manera que la unión con el cemento se puede aflojar. Descargar la presión en la tubería de ademe antes de que fragüe el cemento elimina este problema y tiene el beneficio adicional de permitir que se inicie de inmediato el trabajo de conectar las tuberías. La mayoría de los reglamentos estatales consideran una válvula de flotación equivalente a sostener la presión en el cemento.

La Fig. 4–55 es una tabulación de los requerimientos en los estados de espera del cemento (EDC). Se deberá tomar nota de que estos reglamentos dejan abierto el tiempo de espera cuando hay una válvula de flotación en la sarta, pero se requieren de 8 a 12 horas de tiempo de espera si no hay flotador en la sarta. El tiempo de espera usual antes de perforar es de 12 horas. Generalmente el tiempo de EDC empieza cuando el tapón choca con el collar de flotación y termina cuando se perfora el tapón de cemento. El tiempo de EDC se requiere con objeto de que el cemento adquiera suficiente fuerza para que: 1).– Ancle la tubería y resista los golpes de las operaciones subsecuentes y 2).– Selle las zonas permeables para prevención de movimientos de fluidos de la formación detrás de la tubería. Se ha probado con experimentos que la resistencia a la tensión de 8 lb/pulg^2 es suficiente para anclar la tubería a la formación en la mayoría de los casos; pruebas similares han demostrado que una fuerza de compresión de 130 lb/pulg^2 proporcionarán una permeabilidad suficientemente

REQUERIMIENTOS ESTATALES DE TIEMPO DE ESPERA DEL CEMENTO

TIPO DE TRABAJO	ARIZONA	COLORADO	KANSAS	LOUISIANA	MISSOURI	MONTANA	NEBRASKA	NUEVO MEXICO	NUEVA DAKOTA	OKLAHOMA	TEXAS	AGUAS COSTERAS DE TEXAS	WIOMING
Tubería Superficial													
EDC c/presión de superficie sin flotador.	12	12	–	12	12	12	12	8 *	12	8	–	12	12
EDC c/presión de superficie con flotador.	Indefinido	0	–	0	0	0	0	0	0	Indefinido	0	0	0
Prueba de presión	–	–	–	300/1000	1 lb/pie hasta 1,000	Apropiada	–	600/1500	Ninguna	No	–	1000	Apropiada
EDC para perforar.	12	12	24	12	12	12	12	18*	12	8	–	12	12
Intermedia													
EDC c/presión de superficie sin flotador.	–	–	–	–	–	–	–	8	–	–	–	–	–
EDC c/presión de superficie con flotador.	–	–	–	0	–	–	–	0	–	–	–	–	–
Prueba de presión	–	Apropiada	–	800/1500	–	Apropiada	–	600/1500	Ninguna	–	–	–	–
EDC para perforar.	12	–	–	Fijada por el Agente	24	24	12	18*	12	–	–	–	–
Producción													
Prueba de presión.	–	Apropiada	–	800/1500	2 lb/pie hasta 1,500	Apropiada	Requerida	600/1500	Ninguna	–	2 lb/pie hasta 1500	1600	–
EDC para perforar.	12	–	–	24	24	24	–	18*	12	–	24	24	–

* Selección del operador entre 18 horas y tiempo basado en resistencia del cemento.
Arkansas y Utah no tienen reglas estatales sobre cementación.

Fig. 4—55.— Requerimientos estatales de espera del cemento

baja para sellar aislándolas la mayoría de las zonas. La siguiente tabla muestra las longitudes de tubería de ademe de varios pesos que pueden soportarse con 10 pies de cemento en el espacio anular.

LONGITUDES DE TUBERIA DE ADEME SOPORTADAS POR UNA COLUMNA DE 10 PIES DE CEMENTO DE 8 LB/PULG^2 DE RESISTENCIA A LA TENSION

TAMAÑO DE TUBERIA DE ADEME (Pulgadas)	PESO DE LA TUBERIA DE ADEME (Lb/pie)	LONGITUD SOPORTADA POR 10 PIES DE CEMENTO (Pies)
4 – 1/2	9.5	367
5 – 1/2	15.5	275
7	26.0	209
10 – 3/4	40.5	206

El cemento Portland, generalmente alcanza una resistencia a la tensión de 8 lb/pulg^2 en 1.5 veces el tiempo que se necesita para alcanzar la temperatura máxima. El tiempo de EDC generalmente empleado permite que se desarrolle una fuerza a la compresión de 500 lb/pulg^2, por lo que hay en general un factor de seguridad de 2 a 5. Se ha establecido bastante bien que la resistencia a la tensión óptima del cemento para pozo petrolero es de cerca de 50 lb/pulg^2 y que la capacidad máxima de adherencia ocurre a una resistencia de tensión de 100 lb/pulg^2, equivalentes a 1,200 lb/pulg^2 de resistencia a la compresión.

La falla de las uniones del fondo de la tubería de ademe superficial se ha investigado y se ha determinado que la razón principal de la separación de esas uniones es la fuerza de desenroscado, desarrollada por la rotación de alta velocidad cuando se está perforando el cemento. Prácticamente todos los cementos usados para tubería de ademe superficial tienen suficiente fuerza dentro de las 8 horas para soportar la tubería, pero las uniones se pueden desenroscar o romper por falla de mellas debidas a mala calidad de soldadura. El tratamiento recomendado es armar cada unión cuidadosamente, usando compuesto para asegurar las roscas para evitar retroceso y perforar muy despacio y con cuidado. Tanto los extremos de rosca del taller como del campo de los acoplamientos deberán tratarse con compuesto para pegar las roscas.

Después de que se han establecido las prácticas de cementación en una área determinada, se ha encontrado que la parte superior del cemento para un agujero y tubería de tamaños regulares con un volumen constante de lechada es bastante consistente. Si hay alguna duda de la altura del cemento en el espacio anular, entonces se deberá verificar la parte superior. Esto generalmente se hace corriendo un registro de temperatura o con un registro de adherencia de cemento. Para la mayoría de los casos un registro de temperatura es un método excelente para localizar la parte superior del cemento como se ve en el ejemplo que muestra la Fig. 4–56. Los registros de temperatura se deben correr cada 2 a 4 horas después de la mezcla, cuando el calor de fraguado del cemento es más apreciable. La inspección de temperaturas refleja el gradiente de temperatura en el pozo y hay un cambio repentino de este gradiente en la parte superior del cemento. Se pueden usar los registros de adherencia para determinar las partes superiores del cemento, aun cuando se emplean con más frecuencia para determinar la calidad de la adherencia del cemento con la tubería. La

interpretacion es muy importante. Generalmente, si un registro de adherencia muestra una buena liga, se puede considerar la tarea primaria de cementación como satisfactoria; por otro lado, un registro de mala adherencia no necesariamente indica un trabajo malo de cementación. Los registros de adherencia de una sola línea o curva no evalúan la adherencia de cemento a la formación. Se debe suponer que un trabajo de cementación sea satisfactorio a menos que se tengan buenas evidencias de lo contrario. Las inspecciones con trazadores radiactivos generalmente se emplean para información especial de ingeniería o con propósitos de investigación.

Los trabajos de tubería de ademe y cementación casi siempre se prueban antes de seguir perforando, aunque las reglamentaciones estatales son bastante variables en relación al tiempo EDC antes de probar y a la presión que hay que aplicar. Dependiendo en cuál sarta es de la que se trata el tiempo EDC máximo es de 24 horas y el mínimo de 8 horas. En la mayoría de las áreas la tubería de ademe se prueba a presión después de que se han instalado las cabezas de tubería de ademe y los preventores de reventones. Esta prueba normalmente se hace con el uso de las bombas del equipo, pero en algunas áreas, particularmente cuando se trata de tubería de ademe de alto grado, se trae equipo especial, al lugar contratado y se certifica la prueba. La presión máxima está limitada por A.P.I. en su clasificación de la tubería de ademe y si es posible, la prueba se ejecuta a la presión máxima que se espera que la tubería y los accesorios superficiales tendrán que resistir en servicio. La práctica general en la mayoría de las áreas es correr hasta 1,500 lb/pulg^2 con las bombas del equipo y sostener esta presión durante 30 minutos; una caída de 50 lb/pulg^2 en esa cantidad de tiempo se considera satisfactoria. Algunos reglamentos estatales exigen que se demuestre con una prueba el cierre de agua perforando una formación impermeable cerca de la zapata y corriendo una prueba de vástago de perforación para probar que hay una producción libre de agua. Si se va a colocar una camisa abajo de la sarta de cierre, o si se espera tener producción de agujero abierto, se perforan unos cuantos pies abajo de la sarta cementada y se prueba el agujero abierto como se dijo antes. Las pruebas de cierre de agua de este tipo, generalmente las atestigua un representante del gobierno del estado.

CEMENTOS Y ADITIVOS PARA POZO PETROLERO

El cemento Portland, es el tipo más ampliamente usado en los pozos petroleros. Se fabrica aglutinando a alta temperatura caliza firmemente molida (algunas veces conchas de ostión) y arcilla o esquisto. Después de enfriar la escoria se muele; se agregan yeso y otros compuestos para mejoramiento específico del material básico. La hidratación del cemento (reacción con agua) empieza cuando se agrega agua y el cemento pulverizado gradualmente se fragua en un sólido al continuar la hidratación. Después de que empieza la hidratación, iniciando el fraguado, el proceso se retarda y la resistencia del cemento fraguado continúa aumentando durante muchos días. Todas las marcas industriales de una clase dada de cemento son químicamente similares, pero ligeras variaciones pueden ser suficientes para alterar la respuesta deseada cuando se usan con ciertos aditivos; por lo tanto, los cementos se deben probar en condiciones del pozo simuladas para obtener los mejores resultados. Las propiedades físicas, como el tiempo de fraguado, resistencias a la tensión y compresión, etc., son principalmente funciones de la composición del cemento, finura del molido, relación de agua cemento, temperatura y presión. El calor tiene un efecto acelerador en el fraguado y presiones sobre 3,000 lb/pulg^2 reducen el tiempo de fraguado. La Fig. 4–57 ilustra las temperaturas que se encuentran a profundidad en la costa del Golfo de Texas y en pozos de la cuenca Delaware. Teóricamente sólo el 10–20% de agua en peso (comparada con el cemento seco) se requiere para fraguar y endurecer el cemento, pero generalmente se emplea un 30–40% para preparar una lechada bombeable.

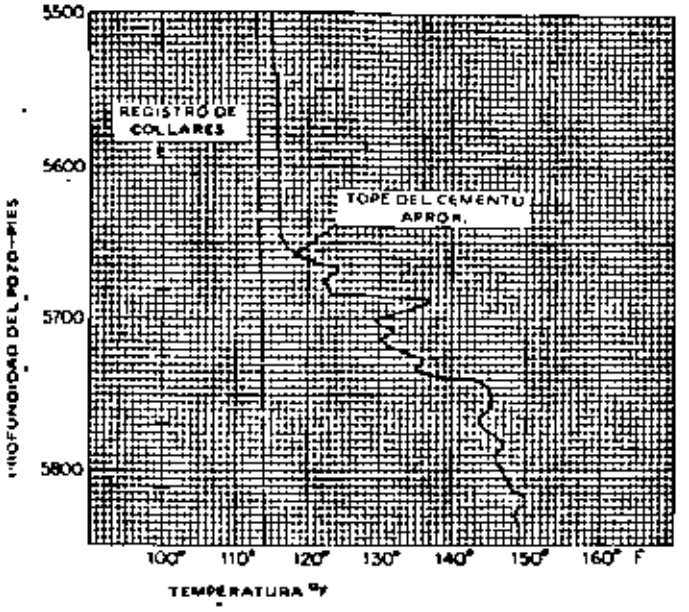


Fig. 4–56.– Inspección de temperatura que muestra la parte superior del cemento afuera de la tubería de ademe.

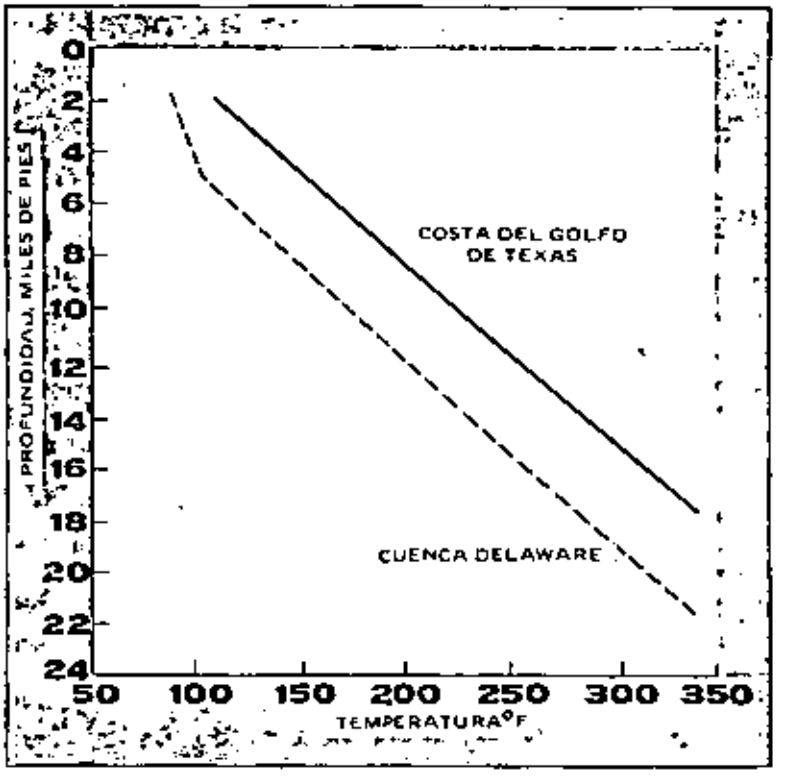


Fig. 4–57.– Temperatura del fondo del agujero de pozos de la costa del Golfo de Texas y la cuenca Delaware.

Las composiciones de cemento pueden clasificarse ampliamente como mezclas "puras" o "preparadas sobre pedido". Hasta el advenimiento de las estaciones de cemento a granel colocadas cerca de los campos petroleros, era necesario comprar y almacenar cemento en sacos de especificaciones normales para los objetivos principales. Casi el único cambio que se podía hacer con el material en sacos era variar la cantidad de agua cuando se preparaba la lechada de cemento. Las mezclas de cemento hechas sobre pedido las han hecho posibles las plantas de almacenamiento y mezcla cercanas al destino final del cemento. Las mezclas son populares por su bajo costo y sus características mejoradas para las condiciones más difíciles de profundidad y temperatura del pozo que existen ahora. Todos los cementos se hacen esencialmente de la misma manera, siendo la diferencia la finura del grano o molido. El de "fraguado rápido" está finamente molido y el cemento retardado es relativamente grueso. El Portland está molido a una finura intermedia entre estos extremos; su costo es menor que el de cualquiera de los dos. El de fraguado rápido tiene una resistencia a la compresión más alta que el Portland en las primeras 30 horas, pero el Portland más un acelerador químico da fraguado más rápido que el de fraguado rápido y generalmente a menor costo. Se usan otros aditivos con el cemento Portland común para propósitos específicos, como se ve en la Fig. 4–58.

CLASIFICACIONES DE CEMENTOS A.P.I.

CLASE A.P.I.	AGUA DE MEZCLA (Galones/saco)	PESO DE LECHADA (Libras/galón)	PROFUNDIDAD DEL POZO (Pies)	TEMPERATURA ESTATICA (°F)
A (Portland)	5.2	15.6	0 – 6000	80 – 170
B (Portland)	5.2	15.6	0 – 6000	80 – 170
C (Fraguado Rápido)	6.3	14.8	0 – 6000	80 – 170
D (Retardado)	4.5	16.2	6 – 12000	170 – 290
E (Retardado)	4.5	16.2	6 – 14000	170 – 290
F (Retardado)	4.5	16.2	10 – 16000	230 – 320
G (Básico–Calif)	5.0	15.8	0 – 8000	80 – 200
H (Básico Costa Golfo)	4.5	16.2	0 – 8000	80 – 200

TIEMPO DE ESPESADO DEL CEMENTO
(Horas: minutos)

TEMPERATURA DE CIRCULACION A.P.I.	PORTLAND COMUN	FRAGUADO RAPIDO	RETARDADO	CLASE G
91°F	4:00	4:00	–	3:00
103°F	4:15	3:10	4:00	2:30
113°F	2:41	2:06	4.00	2:10
125°F	–	–	4:00	1:44

EFECTOS DE ALGUNOS ADITIVOS EN LAS PROPIEDADES FISICAS DEL CEMENTO		Bentonita	Pirita	Tierra de Infusorios	Pozolana	Arena	Barita	Arsenopirita	Cloruro de Calcio	Cloruro de Sodio *	Lignosulfonatos	CMHEC †	Aceite Diesel	Materiales para Baja Pérdida de Agua	Materiales para Pérdida de Circulación	Carbón Activado
DENSIDAD	DISMINUYE	⊗	⊗	⊗	×											
	AUMENTA					⊗	⊗	⊗	×	×	×					
AGUA REQUERIDA	MENOS										⊗					
	MAS	⊗	×	⊗	×	×	×	×							×	×
VISCOSIDAD	DISMINUYE								×		⊗					
	AUMENTA	×	×	×	×	×	×	×							×	×
TIEMPO DE ESPESADO	ACELERADO	×					×	×	⊗	⊗						
	RETARDADO			×						×	⊗	⊗	×	⊗		
TIEMPO DE FRAGUADO	ACELERADO						×	×	⊗	⊗						
	RETARDADO	×	×	×	×						⊗	⊗		×		
FRAGUADO RAPIDO	DISMINUYE	×	×	×	×		×	×			⊗	⊗		×	×	×
	AUMENTA								⊗	⊗						
RESISTENCIA FINAL	DISMINUYE	×	×	⊗	×		×					⊗		×	×	×
	AUMENTA										×					
DURABILIDAD	DISMINUYE	×	×	×									×		×	
	AUMENTA				⊗											×
PERDIDA DE AGUA	DISMINUYE	⊗									×	⊗	×	⊗	×	
	AUMENTA		×	×												

Denota efecto menor.
Denota efecto mayor y/o propósito principal para el que se usa.
* Pequeños porcentajes de cloruro de sodio aceleran el espesado. Cantidades Grandes pueden retardar el cemento clase a A.P.I.
Carboximetil Hidroximetil Celulosa.

Fig. 4–58.– Algunos aditivos comúnmente usados con el cemento

La selección de un cemento y los aditivos depende en gran parte al escoger un material económico que se pueda colocar satisfactoriamente con el equipo disponible, que adquiere una resistencia adecuada después de colocarlo, más tarde retiene sus propiedades necesarias para aislar las zonas detrás de la tubería de ademe y soporta y protege la tubería. El cemento escogido puede ser uno de los grados A.P.I. sin aditivos o un cemento básico al cual se le agregan productos químicos y otras substancias para satisfacer condiciones específicas. La mayoría de los aditivos deben mezclarse en una instalación de cemento a granel porque de otra manera es difícil dispersar los materiales en todo el cemento seco. Si se usan cantidades pequeñas de aditivos químicos puede que sea necesario disolver el material en el agua de mezcla.

Generalmente, se usan aditivos con cementos básicos con objeto de: alterar el tiempo de fraguado; cambiar la densidad de la lechada; bajar la característica de pérdida de agua; mejorar las propiedades de flujo; mejorar la fuerza de la adherencia con la tubería; o para servir otros propósitos. Algunos de los aditivos comúnmente empleados con el cemento para pozos petroleros se muestran en la carta de la Fig. 4—58. Los aceleradores incluyen cloruro de calcio, cloruro de sodio, agua de mar y varios productos de marcas industriales. Los retardadores comerciales incluyen los productos químicos similares a los adelgazadores de lodo como los lignosulfonatos, etc. Las lechadas de baja densidad se preparan con bentonita, materiales del tipo de las pozolanas, Gilsonita (un material como el asfalto) y otras substancias de peso ligero. La bentonita es la más común, que se usa en concentraciones hasta de 35% con varios otros aditivos. Las mezclas de pozolanas con cemento se pueden obtener en varios porcentajes para obtener lechadas de peso ligero que son más fuertes que el Portland. Las lechadas de alta densidad se pueden obtener usando baritas, óxidos de hierro u otros materiales pesados. La pérdida de agua de la lechada puede reducirse con bentonita o materiales de celulosa pulverizados. El látex líquido se usa para reducir las características de pérdida de agua de un compuesto y para mejorar las cualidades de adherencia. Los productos químicos de marcas industriales se pueden obtener con las diversas compañías de servicio de cementación para reducir la viscosidad aparente de las lechadas de cemento con objeto de hacerlas más fáciles de bombear. Finalmente, varios aditivos granulados y del tipo de escamas se emplean para taponar zonas de pérdida de circulación. Los materiales típicos granulados incluyen la Gilsonita y las cáscaras de nuez; tiras de celofán son un material escamoso común que se usa mucho. Los cementos de fraguado rápido algunas veces se usan para tapar agujeros grandes o fracturas.

Las mezclas de cemento y sal en varios porcentajes con otros aditivos se usan en el cemento para mejorar la calidad de la adherencia a los esquistos sensibles al agua y en lechadas de peso ligero cuando se desean columnas de cemento extremadamente altas. El cemento saturado de sal se expande ligeramente a medida que se fragua.

APENDICE

PROPIEDADES MINIMAS DE COMPORTAMIENTO DE LA TUBERIA DE ADEME

Tomado del Boletín 5C2 de A.P.I.
Novena edición, marzo de 1966

PROPIEDADES MINIMAS DE COMPORTAMIENTO DE LA TUBERIA DE ADEME
(PARTE 1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
					ROSCADA Y ACOPLADA			LINEA EXTREMA				
Tamaño, Diámetro Exterior	Peso Nominal Roscas y Acoplamiento	Grado	Espesor de Pared	Diámetro Interior	Diámetro de Ensanchamiento	Diámetro Exterior de Acoplamiento	Diámetro Exterior del Acoplamiento de Espacio Libre Especial	Diámetro de Ensanchamiento	Diámetro Exterior de la Caja Apretada con Fuerza Mecánica	Resistencia al Aplastamiento	Presión Interna de Calencia	Resistencia a Punto Cedente del Cuerpo del Tubo
Pulgadas	Lb/pie		Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Lb/pulg²	Lb/pulg²	1000 Lb.
D			t	d		W	W_c		W			
5 1/2	14.00	H-40	0.244	5.012	4.887	6.050	5.875	–	–	2,440	3,110	161
	14.00	J-55	0.244	5.012	4.887	6.050	5.875	–	–	3,170	4,270	222
	15.50	J-55	0.275	4.950	4.825	6.050	5.875	4.653	5.860	3,860	4,810	248
	17.00	J-55	0.304	4.892	4.767	6.050	5.875	4.653	5.860	4,500	5,320	273
	17.00	C-75	0.304	4.892	4.767	6.050	5.875	4.653	5.860	5,600	7,250	372
	20.00	C-75	0.361	4.778	4.653	6.050	5.875	4.653	5.860	7,350	8,610	437
	23.00	C-75	0.415	4.670	4.545	6.050	5.875	4.545	5.860	8,900	9,900	497
	17.00	N-80	0.304	4.892	4.767	6.050	5.875	4.653	5.860	5,900	7,740	397
	20.00	N-80	0.361	4.778	4.653	6.050	5.875	4.653	5.860	7,800	9,190	466
	23.00	N-80	0.415	4.670	4.545	6.050	5.875	4.545	5.860	9,420	10,560	530
	17.00	P-110	0.304	4.892	4.767	6.050	5.875	4.653	5.860	7,880	10,640	546
	20.00	P-110	0.361	4.778	4.653	6.050	5.875	4.653	5.860	10,770	12,630	641
	23.00	P-110	0.415	4.670	4.545	6.050	5.875	4.545	5.860	13,080	14,530	729
6 5/8	20.00	H-40	0.288	6.049	5.924	7.390	7.000	–	–	2,360	3,040	229
	20.00	J-55	0.288	6.049	5.924	7.390	7.000	–	–	3,060	4,180	316
	24.00	J-55	0.352	5.921	5.796	7.390	7.000	5.730	7.000	4,240	5,110	382
	24.00	C-75	0.352	5.921	5.796	7.390	7.000	5.730	7.000	5,240	6,970	520
	28.00	C-75	0.417	5.791	5.666	7.390	7.000	5.660	7.000	6,890	8,260	610
	32.00	C-75	0.475	5.675	5.550	7.390	7.000	5.550	7.000	8,380	9,410	688
	24.00	N-80	0.352	5.921	5.796	7.390	7.000	5.730	7.000	5,510	7,440	555
	28.00	N-80	0.417	5.791	5.666	7.390	7.000	5.660	7.000	7,310	8,810	651
	32.00	N-80	0.475	5.675	5.550	7.390	7.000	5.550	7.000	8,910	10,040	734
	24.00	P-110	0.352	5.921	5.796	7.390	7.000	5.730	7.000	7,200	10,230	763
	28.00	P-110	0.417	5.791	5.666	7.390	7.000	5.660	7.000	10,020	12,120	895
	32.00	P-110	0.475	5.675	5.550	7.390	7.000	5.550	7.000	12,470	13,800	1009

PROPIEDADES MINIMAS DE COMPORTAMIENTO DE LA TUBERIA DE ADEME
(PARTE 2)

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
RESISTENCIA DE UNION — 1,000 LB.								RESISTENCIA DE UNION — PIES							
ROSCADA Y ACOPLADA						LINEA EXTREMA		ROSCADA Y ACOPLADA						LINEA EXTREMA	
ROSCA REDONDA		ROSCA DE SIERRA				Unión Normal	Unión Opcional	ROSCA REDONDA		ROSCA DE SIERRA				Unión Normal	Unión Opcional
Corta	Larga	Acoplamiento Regular	Acoplamiento Regular de Grado Más Alto	Acoplamiento de Espacio Libre Especial	Acoplamiento de Espacio Libre Especial de Grado Más Alto			Corta	Larga	Acoplamiento Regular	Acoplamiento Regular de Grado Más Alto	Acoplamiento de Espacio Libre Especial	Acoplamiento de Espacio Libre Especial de Grado Más Alto		
130	–	–	–	–	–	–	–	9,290	–	–	–	–	–	–	–
172	–	–	–	–	–	–	–	12,290	–	–	–	–	–	–	–
202	217	339	339	315	339	339	339	13,030	14,000	21,870	21,870	20,320	21,870	21,870	21,870
		429	429	399	420	429	429			27,680	27,680	25,740	27,100	27,680	27,680
220	247	372	372	315	372	372	372	13,470	14,530	21,880	21,880	18,530	21,880	21,880	21,880
		471	471	399	420	471	471			27,710	27,710	23,470	24,710	27,710	27,710
–	327	471	–	399	–	471	471	–	19,240	27,710	–	23,470	–	27,710	27,710
–	400	554	–	399	–	497	479	–	20,160	27,700	–	19,950	–	24,850	23,950
–	473	555	–	399	–	549	479	–	20,570	24,130	–	17,350	–	23,870	20,830
–	348	496	496	420	496	496	496	–	20,470	29,180	29,180	24,710	29,180	29,180	29,180
–	428	583	583	420	525	523	504	–	21,400	29,150	29,150	21,000	26,250	26,150	25,200
–	502	584	663	420	525	577	504	–	21,830	25,390	28,830	18,260	22,830	25,090	21,910
–	445	620	620	525	620	620	620	–	26,180	36,470	36,470	30,880	36,470	36,470	36,470
–	548	728	728	525	654	654	630	–	27,400	36,400	36,400	26,250	32,700	32,700	31,500
–	643	730	829	525	654	722	630	–	27,960	31,740	36,040	22,830	28,430	31,390	27,390
184	–	–	–	–	–	–	–	9,200	–	–	–	–	–	–	–
245	266	430	430	387	430	–	–	12,250	13,300	21,500	21,500	19,350	21,500	–	–
		545	545	490	516					27,250	27,250	24,500	25,800		
314	340	520	520	387	490	477	477	13,080	14,170	21,670	21,670	16,130	20,420	19,880	19,880
		659	659	490	516	605	605			27,460	27,460	20,420	21,500	25,210	25,210
–	453	659	–	490	–	605	605	–	18,880	27,460	–	20,420	–	25,210	25,210
–	552	773	–	490	–	648	644	–	19,710	27,810	–	17,500	–	23,140	23,000
–	638	872	–	490	–	717	644	–	19,940	27,250	–	15,310	–	22,410	20,120
–	481	694	694	516	644	637	637	–	20,040	28,920	28,920	21,500	26,830	26,540	26,540
–	586	813	813	516	644	682	678	–	20,930	29,040	29,040	18,430	23,000	24,360	24,210
–	677	918	918	516	644	755	678	–	21,160	28,690	28,690	16,120	20,120	23,500	21,190
–	641	867	867	644	794	796	796	–	26,710	36,130	36,130	26,830	33,080	33,170	33,170
–	781	1,017	1,017	644	794	852	848	–	27,890	36,320	36,320	23,000	28,360	30,430	30,290
–	904	1,147	1,147	644	794	944	848	–	29,250	35,840	35,840	20,120	24,810	29,500	26,500

PROPIEDADES MINIMAS DE COMPORTAMIENTO DE LA TUBERIA DE ADEME
(PARTE 1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
					ROSCADA Y ACOPLADA			LINEA EXTREMA				
Tamaño, Diámetro Exterior Pulgadas D	Peso Nominal Roscas y Acoplamiento Lb/pie	Grado	Espesor de Pared Pulgadas t	Diámetro Interior Pulgadas d	Diámetro de Ensanchamiento Pulgadas	Diámetro Exterior de Acoplamiento Pulgadas W	Diámetro Exterior del Acoplamiento de Espacio Libre Especial Pulgadas W_c	Diámetro de Ensanchamiento Pulgadas	Diámetro Exterior de la Caja Apretada con Fuerza Mecánica Pulgadas M	Resistencia al Aplastamiento Lb/pulg²	Presión Interna de Cedencia Lb/pulg²	Resistencia a Punto Cedencia del Cuerpo del Tubo 1000 Lb
7	17.00	H-40	0.231	6.538	6.413	7.656	7.375	–	–	1,300	2,310	196
	20.00	H-40	0.272	6.456	6.331	7.656	7.375	–	–	1,930	2,720	230
	20.00	J-55	0.272	6.456	6.331	7.656	7.375	–	–	2,500	3,740	316
	23.00	J-55	0.317	6.366	6.241	7.656	7.375	6.151	7.390	3,200	4,360	368
	26.00	J-55	0.362	6.276	6.151	7.656	7.375	6.151	7.390	4,070	4,980	415
	23.00	C-75	0.317	6.366	6.241	7.656	7.375	6.151	7.390	3,910	5,940	499
	26.00	C-75	0.362	6.276	6.151	7.656	7.375	6.151	7.390	4,930	6,790	566
	29.00	C-75	0.408	6.184	6.059	7.656	7.375	6.059	7.390	6,110	7,650	634
	32.00	C-75	0.453	6.094	5.969	7.656	7.375	5.969	7.390	7,200	8,490	609
	35.00	C-75	0.498	6.004	5.879	7.656	7.375	5.879	7.530	8,210	9,340	763
	38.00	C-75	0.540	5.920	5.795	7.656	7.375	5.795	7.530	9,060	10,130	822
	23.00	N-80	0.317	6.366	6.241	7.656	7.375	6.151	7.390	4,070	6,340	532
	26.00	N-80	0.362	6.276	6.151	7.656	7.375	6.151	7.390	5,240	7,240	604
	29.00	N-80	0.408	6.184	6.059	7.656	7.375	6.059	7.390	6,480	8,160	676
	32.00	N-80	0.453	6.094	5.969	7.656	7.375	5.969	7.390	7,640	9,060	745
	35.00	N-80	0.498	6.004	5.879	7.656	7.375	5.879	7.530	8,810	9,960	814
	38.00	N-80	0.540	5.920	5.795	7.656	7.375	5.795	7.530	9,610	10,800	877
	26.00	P-110	0.362	6.276	6.151	7.656	7.375	6.151	7.390	6,880	9,960	830
	29.00	P-110	0.408	6.184	6.059	7.656	7.375	6.059	7.390	8,710	11,220	929
	32.00	P-110	0.453	6.094	5.969	7.656	7.375	5.969	7.390	10,520	12,460	1025
	35.00	P-110	0.498	6.004	5.879	7.656	7.375	5.879	7.530	12,310	13,700	1119
	38.00	P-110	0.540	5.920	5.795	7.656	7.375	5.795	7.530	13,360	14,850	1205

PROPIEDADES MINIMAS DE COMPORTAMIENTO DE LA TUBERIA DE ADEME
(PARTE 2)

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
RESISTENCIA DE UNION – 1,000 Lb										RESISTENCIA DE UNION – PIES					
ROSCADA Y ACOPLADA						LINEA EXTREMA				ROSCADA Y ACOPLADA				LINEA EXTREMA	
ROSCA REDONDA		ROSCA DE SIERRA				Union Normal	Union Opcional	ROSCA REDONDA			ROSCA DE SIERRA			Union Normal	Union Opcional
Corta	Larga	Acoplamiento Regular	Acoplamiento Regular de Grado Más Alto	Acoplamiento de Espacio Libre Especial	Acoplamiento de Espacio Libre Especial de Grado Más Alto			Corta	Larga	Acoplamiento Regular	Acoplamiento Regular de Grado Más Alto	Acoplamiento de Espacio Libre Especial	Acoplamiento de Espacio Libre Especial de Grado Más Alto		—
172	–	–	–	–	–	–	–	7,180	–	–	–	–	–	–	–
176	–	–	–	–	–	–	–	8,800	–	–	–	–	–	–	–
234	–	–	–	–	–	–	–	11,700	–	–	–	–	–	–	–
284	313	499	499	418	499	499	499	12,350	13,610	21,700	21,700	18,170	21,700	21,700	21,700
		632	632	529	557	632	632			27,480	27,480	23,000	24,720	27,480	27,480
334	367	506	506	418	529	506	506	12,850	14,120	21,770	21,770	16,080	20,350	19,460	19,460
		717	717	529	557	641	641			27,580	27,580	20,350	21,420	24,650	24,650
–	416	632	–	529	–	632	632	–	18,000	27,480	–	23,000	–	27,480	27,480
–	489	717	–	529	–	641	641	–	18,810	27,580	–	20,350	–	24,650	24,650
–	567	803	–	529	–	685	674	–	19,380	27,600	–	18,240	–	23,620	23,240
–	633	844	–	529	–	761	674	–	19,780	26,380	–	16,530	–	23,780	21,000
–	703	844	–	529	–	850	761	–	20,090	24,110	–	15,110	–	24,290	21,740
–	767	844	–	529	–	917	761	–	20,180	22,210	–	13,920	–	24,130	20,030
–	442	666	666	557	696	666	666	–	19,220	28,960	28,960	24,220	28,960	28,960	28,960
–	519	755	755	557	696	675	675	–	19,960	29,040	29,040	21,420	26,770	25,960	25,960
–	597	845	845	557	696	721	709	–	20,590	29,140	29,140	19,210	24,000	24,860	24,450
–	672	880	932	557	696	801	709	–	21,000	27,780	29,120	17,410	21,750	25,030	22,160
–	746	889	1,017	557	696	895	801	–	21,310	25,400	29,060	15,910	19,890	25,670	22,890
–	814	889	1,096	557	696	965	801	–	21,420	23,390	28,840	14,660	18,320	25,390	21,080
–	693	944	944	696	854	844	844	–	26,650	36,310	36,310	26,770	32,850	32,460	32,460
–	797	1,056	1,056	696	854	902	886	–	27,480	36,410	36,410	24,000	29,450	31,100	30,550
–	897	1,111	1,165	696	854	1,002	886	–	28,030	34,720	36,410	21,750	26,690	31,310	27,690
–	996	1,111	1,272	696	854	1,118	1,002	–	28,460	31,740	36,340	19,890	24,400	31,940	28,630
–	1,087	1,111	1,363	696	854	1,207	1,002	–	28,610	29,240	35,870	18,320	22,470	31,760	26,370

PROPIEDADES MINIMAS DE COMPORTAMIENTO DE LA TUBERIA DE ADEME
(PARTE 1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
					ROSCADA Y ACOPLADA			LINEA EXTREMA				
Tamaño Diámetro Exterior	Peso Nominal Roscas y Acoplamiento	Grado	Espesor de Pared	Diámetro Interior	Diámetro de Ensanchamiento	Diámetro Exterior de Acoplamiento	Diámetro Exterior del Acoplamiento de Espacio Libre Especial	Diámetro de Ensanchamiento	Diámetro Exterior de la Caja Apretada con Fuerza Mecánica	Resistencia al Aplastamiento	Presión Interna de Cedencia	Resistencia a Punto Cedente del Cuerpo del Tubo
Pulgadas D	Lb/pie		Pulgadas t	Pulgadas d	Pulgadas	Pulgadas W	Pulgadas W_e	Pulgadas	Pulgadas M	Lb/pulg^2	Lb/pulg^2	1000 Lb.
7 5/8	24.00	H-40	0.300	7.025	6.900	8.500	8.125	—	—	1,970	2,750	276
	26.40	J-55	0.328	6.969	6.844	8.500	8.125	6.750	8.010	3,010	4,140	414
	26.40	C-75	0.328	6.969	6.844	8.500	8.125	6.750	8.010	3,520	5,650	564
	29.70	C-75	0.375	6.875	6.750	8.500	8.125	6.750	8.010	4,570	6,450	641
	33.70	C-75	0.430	6.765	6.640	8.500	8.125	6.640	8.010	5,790	7,400	729
	39.00	C-75	0.500	6.625	6.500	8.500	8.125	6.500	8.010	7,340	8,610	839
	26.40	N-80	0.328	6.969	6.844	8.500	8.125	6.750	8.010	3,650	6,020	602
	29.70	N-80	0.375	6.875	6.750	8.500	8.125	6.750	8.010	4,780	6,890	683
	33.70	N-80	0.430	6.767	6.640	8.500	8.125	6.640	8.010	6,110	7,900	778
	39.00	N-80	0.500	6.625	6.500	8.500	8.125	6.500	8.010	7,790	9,180	895
	29.70	P-110	0.375	6.875	6.750	8.500	8.125	6.750	8.010	6,170	9,470	940
	33.70	P-110	0.430	6.765	6.640	8.500	8.125	6.640	8.010	8,190	10,860	1069
	39.00	P-110	0.500	6.625	6.500	8.500	8.125	6.500	8.010	10,760	12,620	1231
8 5/8	28.00	H-40	0.304	8.017	7.892	9.625	9.125	—	—	1,580	2,470	318
	32.00	H-40	0.352	7.921	7.796	9.625	9.125	—	—	2,110	2,860	366
	24.00	J-55	0.264	8.097	7.972	9.625	9.125	—	—	1,430	2,950	381
	32.00	J-55	0.352	7.921	7.796	9.625	9.125	7.700	9.120	2,740	3,930	503
	36.00	J-55	0.400	7.825	7.700	9.625	9.125	7.700	9.120	3,420	4,460	568
	36.00	C-75	0.400	7.825	7.700	9.625	9.125	7.700	9.120	4,090	6,090	775
	40.00	C-75	0.450	7.725	7.600	9.625	9.125	7.600	9.120	5,070	6,850	867
	44.00	C-75	0.500	7.625	7.500	9.625	9.125	7.500	9.120	6,060	7,610	957
	49.00	C-75	0.557	7.511	7.386	9.625	9.125	7.386	9.120	7,180	8,480	1059
	36.00	N-80	0.400	7.825	7.700	9.625	9.125	7.700	9.120	4,270	6,490	827
	40.00	N-80	0.450	7.725	7.600	9.625	9.125	7.600	9.120	5,330	7,300	925
	44.00	N-80	0.500	7.625	7.500	9.625	9.125	7.500	9.120	6,390	8,120	1021
	49.00	N-80	0.557	7.511	7.386	9.625	9.125	7.386	9.120	7,810	9,040	1129
	40.00	P-110	0.450	7.725	7.600	9.625	9.125	7.600	9.120	7,000	10,040	1271
	44.00	P-110	0.500	7.625	7.500	9.625	9.125	7.500	9.120	8,630	11,160	1404
	49.00	P-110	0.557	7.511	7.386	9.625	9.125	7.386	9.120	10,480	12,430	1553

PROPIEDADES MINIMAS DE COMPORTAMIENTO DE LA TUBERIA DE ADEME
(PARTE 2)

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
RESISTENCIA DE UNION — 1,000 LB.										RESISTENCIA DE UNION — PIES					
ROSCADA Y ACOPLADA						LINEA EXTREMA		ROSCADA Y ACOPLADA						LINEA EXTREMA	
ROSCA REDONDA		ROSCA DE SIERRA						ROSCA REDONDA			ROSCA DE SIERRA				
Corta	Larga	Acoplamiento Regular	Acoplamiento Regular de Grado Más Alto	Acoplamiento de Espacio Libre Especial	Acoplamiento de Espacio Libre Especial de Grado Más Alto	Unión Normal	Unión Opcional	Corta	Larga	Acoplamiento Regular	Acoplamiento Regular de Grado Más Alto	Acoplamiento de Espacio Libre Especial	Acoplamiento de Espacio Libre Especial de Grado Más Alto	Unión Normal	Unión Opcional
212	—	—	—	—	—	—	—	8,630	—	—	—	—	—	—	—
315	346	564	564	564	564	553	553	11,930	13,110	21,360	21,360	21,360	21,360	20,950	20,950
		714	714	714	714	700	700			27,050	27,050	27,050	27,050	26,520	26,520
—	461	714	—	714	—	700	700	—	17,460	27,050	—	27,050	—	26,520	26,520
—	542	811	—	739	—	700	700	—	18,250	27,310	—	24,880	—	23,570	23,570
—	635	923	—	739	—	766	744	—	18,840	27,390	—	21,930	—	22,730	22,080
—	751	1,063	—	739	—	851	744	—	19,260	27,260	—	18,950	—	21,820	19,080
—	490	752	752	752	752	737	737	—	18,560	28,480	28,480	28,480	28,480	27,920	27,920
—	575	854	854	778	854	737	737	—	19,360	28,750	28,750	26,200	28,750	24,810	24,810
—	674	972	972	778	969	806	784	—	20,000	28,840	28,840	23,000	28,750	23,920	23,260
—	798	1,119	1,119	778	969	896	784	—	20,460	28,690	28,690	19,950	24,850	22,970	20,100
—	769	1,064	1,064	969	1,064	922	922	—	25,890	35,820	35,820	32,630	35,820	31,040	31,040
—	901	1,211	1,211	969	1,186	1,008	979	—	26,740	35,930	35,930	28,750	35,190	29,910	29,050
—	1,066	1,395	1,395	969	1,186	1,120	979	—	27,330	35,770	35,770	24,850	30,410	28,720	25,100
233	—	—	—	—	—	—	—	8,320	—	—	—	—	—	—	—
279	—	—	—	—	—	—	—	8,720	—	—	—	—	—	—	—
244	—	—	—	—	—	—	—	10,170	—	—	—	—	—	—	—
372	417	686	686	666	686	869	686	11,620	13,030	21,440	21,440	20,810	21,440	21,440	21,440
		869	869	843	869	869	869			27,160	27,160	26,340	27,160	27,160	27,160
434	486	775	775	666	775	688	688	12,060	13,500	21,530	21,530	18,500	21,530	19,110	19,110
		981	981	843	888	871	871			27,250	27,250	23,420	24,670	24,190	24,190
—	648	982	—	843	—	871	871	—	18,000	27,280	—	23,420	—	24,190	24,190
—	742	1,098	—	843	—	942	886	—	18,550	27,450	—	21,080	—	23,550	22,150
—	834	1,212	—	843	—	1,007	886	—	18,950	27,560	—	19,160	—	22,890	20,140
—	939	1,341	—	843	—	1,007	886	—	19,160	27,370	—	17,200	—	20,550	18,080
—	688	1,034	1,034	888	1,034	917	917	—	19,110	28,720	28,720	24,670	28,720	25,470	25,470
—	788	1,156	1,156	888	1,095	992	932	—	19,700	28,900	28,900	22,200	27,380	24,800	23,300
—	887	1,276	1,276	888	1,095	1,060	932	—	20,160	29,000	29,000	20,190	24,890	24,090	21,190
—	997	1,412	1,412	888	1,095	1,000	932	—	20,350	28,820	28,820	18,120	22,350	21,630	19,020
—	1,055	1,425	1,425	1,095	1,339	1,240	1,165	—	26,380	36,620	36,620	27,380	33,480	31,000	29,120
—	1,186	1,574	1,574	1,095	1,339	1,326	1,165	—	26,950	35,770	35,770	24,890	30,430	30,140	26,480
—	1,335	1,741	1,741	1,095	1,339	1,326	1,165	—	27,240	35,530	35,530	22,350	27,330	27,060	23,780

LECCIONES DE PERFORACION ROTATORIA

UNIDAD II • LECCION 4

PREGUNTAS DE LA LECCION 4 DE LA UNIDAD II

"TUBERIA DE ADEME Y CEMENTACION"

NOMBRE: _____

FECHA: _____

1. Exponga cinco de las principales funciones desempeñadas por la tubería de revestimiento (o ademe) en un pozo petrolero.

_____

_____

_____

_____

_____

2. Nombre los cuatro tipos principales de sartas de tubería de ademe que con frecuencia se colocan en un pozo petrolero.

_____ _____

_____ _____

3. Dé las variaciones de longitud (pies) de la tubería de ademe A.P.I.

CLASIFICACION	VARIACION DE LONGITUD (Pies)
1	_____
2	_____
3	_____

4. Mencione los cinco grados de acero que se usan en la tubería de ademe A.P.I. y enuncie la resistencia mínima a punto cedente de cada grado.

GRADO A.P.I.	RESISTENCIA MINIMA A PUNTO CEDENTE ($Lb/pulg^2$)
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

5. La tubería de ademe A.P.I. normal, generalmente está roscada a cuatro tipos de roscas y acoplamientos ¿Cuáles son?

_____ , _____

_____ , _____

_____ , _____

_____ (_____)

6. Las columnas de tubería de ademe están diseñadas para resistir tres fuerzas principales o cargas ¿Cuáles son?

_____ _____ _____

7. Dé tres razones por las cuales son convenientes las tenazas de potencia para armar tubería de ademe en sartas largas.

_____

_____

_____

8. El punto más importante relativo a la medición de la tubería es saber exactamente cuántos_____ hay en el área del trabajo cuando se está corriendo tubería de ademe.

9. Enumere tres causas de variaciones de presión del fluido de perforación cuando se esté corriendo tubería de ademe que pueden romper la formación.

_____

_____

_____

10. Una sarta de tubería de ademe después de que se ha cementado, deberá apoyarse de acuerdo con la recomendación de A.P.I. en 1955 ¿Con cuánto peso en el colgador de tubería de ademe?

_____

11. Después de que se coloca una camisa, una sección superior de tubería de ademe llamada "_____" se corre algunas veces para hacer una sarta completa hasta la superficie.

12. Mencione tres de las cuatro funciones principales del cemento primario para la tubería de ademe.

_____

_____

_____

13. Señale dos factores que controlan la velocidad de mezclado de un mezclador de cemento de chorro.

_____

_____

14. La remoción del lodo en el espacio anular entre el agujero y la tubería de ademe se puede obtener mejor con el flujo turbulento del fluido ¿De cuáles dos maneras se puede obtener el flujo turbulento de la lechada de cemento?

_____

_____

15. Un collar de flotación en una sarta de tubería de ademe sirve para varios propósitos; escriba tres de ellos.

_____

_____

_____

16. Los centradores y los raspadores se usan en la tubería de ademe para desempeñar dos objetivos principales, como sigue:

_____

_____

17. El tiempo de (EDC) espera del cemento se requiere para que el cemento adquiera suficiente fuerza para dos propósitos principales ¿Cuáles son?

_____

_____

18. La falla de las uniones del fondo de sartas de tubería de ademe superficiales o intermedias se ha encontrado que se deben a la fuerza de desenroscado desarrollada cuando se está perforando el cemento para sacarlo y debido a la mala soldadura. Señale tres recomendaciones para evitar esta dificultad.

_____

_____

_____

19. Mencione dos maneras en que se puede localizar la parte superior del cemento afuera de la tubería de ademe después de un trabajo de cementación.

_____

_____

20. - Marque su selección de la información más importante del pozo necesaria para determinar la composición apropiada del cemento para la tubería de ademe.

Tipo del lodo: _____

Profundidad del pozo: _____

Temperatura del fondo del agujero: _____

Tamaño del agujero: _____