



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

ALTERNATIVAS DE SOLUCION A PERDIDAS DE
CIRCULACION DURANTE LA PERFORACION DE POZOS
PETROLEROS. CASO DE ESTUDIO: POZO DIRECCIONAL
SARAMAKO-1 DEL ACTIVO REFORMA-COMALCALCO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :
REYNALDO GOMEZ GARCIA



DIRECTOR DE TESIS: ING. MARIA CRISTINA AVILES ALCANTARA

SEPTIEMBRE 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-1-529

SR. REYNALDO GÓMEZ GARCÍA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora Quím. María Cristina Avilés Alcántara y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero:

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN DURANTE LA PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS. CASO DE ESTUDIO: POZO DIRECCIONAL SARAMAKO-1, DEL ACTIVO REFORMA-COMALCALCO

- INTRODUCCIÓN
- I FLUIDOS DE CONTROL
- II PÉRDIDAS DE FILTRADO
- III PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN
- IV TÉCNICAS DE SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN
- V CASO DE ESTUDIO DEL POZO DIRECCIONAL SARAMAKO-1
- VI CONCLUSIONES
- GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

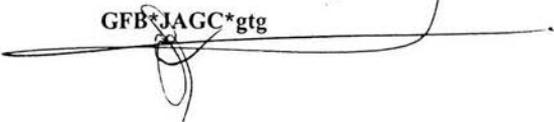
Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cd. Universitaria, D. F., a 26 de mayo de 2004
EL DIRECTOR


M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*JAGC*gtg


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

DIVISIÓN DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA.

**“ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN DURANTE
LA PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS. CASO DE ESTUDIO: POZO
DIRECCIONAL SARAMAKO-1, DEL ACTIVO REFORMA-COMALCALCO.”**

TESIS PRESENTADA POR:

REYNALDO GÓMEZ GARCÍA.

DIRIGIDA POR:

ING. MARÍA CRISTINA AVILÉS ALCÁNTARA.

JURADO DEL EXAMEN PROFESIONAL:

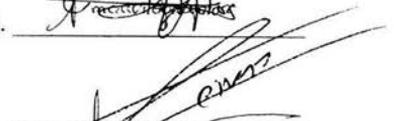
PRESIDENTE: ING. MANUEL VILLAMAR VIGUERAS.



VOCAL: ING. MARÍA CRISTINA AVILÉS ALCÁNTARA.



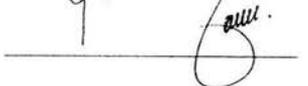
SECRETARIO: ING. MARTÍN TERRAZAS ROMERO.



1ER. SUPLENTE: DR. VÍCTOR HUGO ARANA ORTIZ.



2DO. SUPLENTE: M. C. JAIME ORTIZ RAMÍREZ.



AGRADECIMIENTOS.

A DIOS.

Por haberme ayudado y fortalecido en cada momento de mi existencia, por orientarme y guiarme en el camino de la vida, por haberme mantenido con salud y lucidez hasta alcanzar mis objetivos según los tiempos determinados por el y para el , por todas las bendiciones que me a dado hasta este día y por las muchas bendiciones que aun recibiré de parte de el y que seguramente me dará, por ayudarme a tomar decisiones y corregirme cuando estoy mal, por Haber enviado a su hijo Jesucristo para socorrerme siempre y porque me dio permiso para titularme, a Dios gracias.

A LA UNIVERSIDAD.

Que fue el instrumento usado para proporcionarme conocimientos y sabiduría suficiente para desempeñar una vida útil, para así ser de ayuda en la sociedad.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA.

Por haber seleccionado al personal idóneo especializado que fue requerido para proporcionarme los amplios conocimientos y experiencias que existen en ellos.

A LOS MAETROS.

Por el esfuerzo, por la perseverancia y la paciencia con que me han enseñado, y por la experiencia y conocimiento acumulada de ellos que han depositado en mi.

A MI DIRECTOR DE TESIS.

María Cristina Avilés Alcántara, Ingeniera del instituto mexicano del petróleo; por su paciencia, interés, asesoría y valiosa participación recibida de ella, por la cual este trabajo ha sido posible.

A MIS SINODALES.

Ingeniero Manuel Villamar Vigueras.

Ingeniero Martín Terrazas Romero.

Doctor Víctor Hugo Arana Ortiz.

M.C. Jaime Ortiz Ramírez.

Que fueron mis últimos profesores y amigos que han contribuido con sus amplios conocimientos con observaciones, correcciones y sugerencias, para el desarrollo de este trabajo.

A MIS PADRES.

Carlos Gómez Vega y Bibiana García Luna por su apoyo incondicional que siempre me han brindado cuando los he necesitado, porque han estado conmigo en las buenas y en las malas y porque es uno de los regalos que Dios me dio.

A MIS HERMANOS.

Por toda la ayuda que me han dado de múltiples maneras en el momento oportuno y por los ánimos y confianza que han depositado en mí.

A MIS AMIGOS ESPECIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA.

Leonel C., Edit Diaz, Karla, Cesar Vargas, Giovanni, Laura Lorena, Ruth Hernández Alberto Bielma y otros mas por compartir conmigo algunos momentos de sus alegrías, tristezas, aflicciones.

A MIS AMIGOS ESPECIALES DE LA FACULTAD DE QUÍMICA.

Isaac, Paul Riacardo, Andrea Citlali, Rebeca, Esmeralda Medina, Martha Jael, Maria Elena, Miguel Angel Arteaga Gonzalez, Perla Aguilar por esa gran amistad que me han brindado.

A MIS AMIGOS ESPECIALES DE LA FACULTAD DE MEDICINA.

Noemí y Erika, por su amistad y cariño que con su fe me han apoyado.

A MIS DEMAS AMIGOS

Jaime Romero, Paul del Valle, Monica Rivera, Simona, Moisés Diaz, Ana Juárez y otros que con su amistad me han dado ánimos para seguir adelante.

M.I. Juan de la Cruz Clavel López, Dr. Víctor Hugo Arana Ortiz por su amistad y apoyo moral que me han brindado en los últimos tiempos.

A Virginia Irene Soto García de quien siempre tuve sus mejores deseos.

Angélica, Silvia, Carlos, Cande, por su gran apoyo.

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN DURANTE LA PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS. CASO DE ESTUDIO: POZO DIRECCIONAL SARAMAKO-1, DEL ACTIVO REFORMA-COMALCALCO.

TEMARIO.

RESUMEN.

INTRODUCCIÓN.

CAPITULO I.- FLUIDOS DE CONTROL.

CAPITULO II.- PÉRDIDAS DE FILTRADO

CAPITULO III.- PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN.

CAPITULO IV.- TÉCNICAS DE SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN

CAPITULO V.- CASO DE ESTUDIO.- POZO DIRECCIONAL SARAMAKO-1 DEL ACTIVO REFORMA-COMALCALCO

CONCLUSIONES.

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS.

BIBLIOGRAFIA.

CONTENIDO

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO I: FLUIDOS DE CONTROL	
GENERALIDADES DEL FLUIDO DE CONTROL	8
COMPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS DE CONTROL	8
IMPACTO DEL CONTROL DE SÓLIDOS	8
FUNCIONES PRINCIPALES DEL FLUIDO DE CONTROL	9
REMOCIÓN DE LOS RECORTES DEL POZO	9
CONTROL DE LAS PRESIONES DE LA FORMACIÓN	10
DISEÑO DE FLUIDOS DE CONTROL	11
TIPOS DE FLUIDOS DE CONTROL	12
FASE CONTINUA DE LOS FLUIDOS	13
CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS FLUIDOS DE CONTROL	13
FLUIDOS BASE AGUA	13
FLUIDOS BASE-ACEITE	14
SISTEMA DE EMULSIÓN DIRECTA	14
CAPITULO 11.- PÉRDIDAS DE FILTRADO	
GENERALIDADES DE PÉRDIDAS DE FILTRADO	16
PROBLEMAS POTENCIALES RELACIONADOS CON EL ESPESOR EXCESIVO DEL ENJARRE	16
PROBLEMAS POTENCIALES RELACIONADOS CON LA INVASIÓN EXCESIVA DE FILTRADO	16
FUNDAMENTOS DE FILTRACIÓN	16
TEORÍA DE FILTRACIÓN	17
FILTRACIÓN ESTÁTICA	18
PRUEBAS DE FILTRACIÓN ESTÁTICA	19
FILTRACIÓN DINÁMICA	20
FILTRADO DE FLUIDOS DE CONTROL BASE ACEITE Y SINTÉTICO	21
SALMUERAS DE REHABILITACIÓN Y TERMINACIÓN	22
CAPITULO 111.- PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN	
GENERALIDADES DE LAS PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN	23
CAUSAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN	24
PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN ASOCIADO A UN BROTE	27
PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN EN ZONA PRODUCTORA	27
MEDIDAS PREVENTIVAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN	27
ANÁLISIS DEL PROBLEMA	31
DETECCIÓN DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN	32
LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE PÉRDIDA	32
CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN	34
CORRELACIÓN ENTRE TÉCNICA Y SEVERIDAD	35
CAUSAS QUE IMPIDEN EL RESTABLECIMIENTO DE LA CIRCULACIÓN	36

CONTENIDO

CAPITULO 1V.- TÉCNICAS DE SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN	
TÉCNICA DE SACAR LA TUBERÍA Y ESPERAR	37
MATERIALES DE PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN	37
TAPONES DE REFUERZO	38
TÉCNICA DE USAR AGENTES OBTURANTES PUNTEANTES	38
INYECCIONES BASE AGUA	41
TÉCNICAS DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE LECHADA DE ALTA PÉRDIDA DE FILTRADO	41
TÉCNICAS PARA PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN	42
TÉCNICAS PARA LA PÉRDIDA PARCIAL	42
TÉCNICAS PARA LA PÉRDIDA TOTAL	43
TÉCNICAS DE TAPONES Duros	43
TAPONES DE CEMENTO	43
PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LAS CEMENTACIONES	45
COMPOSICIÓN DE LA LECHADA DE CEMENTO	45
CEMENTO PURO	45
CEMENTO DE BENTONITA O GEL	45
CEMENTO DE GILSONITA	45
TÉCNICAS PARA APLICAR EL CEMENTO	46
METODO DE COLUMNA HIDROSTÁTICA BALANCEADA	46
ESTABILIDAD EN LA INTERFASE	46
MEJORAS EN LA COLOCACIÓN	47
CONSIDERACIONES DE DISEÑO	48
TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE LECHADA DE ACEITE /DIESEL/ BENTONITA / CEMENTO	50
TÉCNICA DE TAPONES Blandos	51
TÉCNICA PARA MEZCLAR Y APLICAR LA LECHADA DE ACEITE DIESEL/ BENTONITA.	51
TÉCNICA PARA MEZCLAR Y APLICAR UNA INYECCIÓN DE PRESIÓN DE BENGUM.	52
TÉCNICA DE INYECCIONES DE POLÍMERO ENTRECRUZADO O RETICULADO.	53
TÉCNICA DE PERFORACIÓN CIEGA / CON LODO AIREADO	53
TÉCNICAS PARA PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN EN LODOS BASE ACEITE	54
TÉCNICA DE INCORPORACIÓN DE MATERIAL DE PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN EN EL SISTEMA	54
TÉCNICA DE INYECCIONES DE LODO BASE ACEITE	55
TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE TIERRA DIATOMÁCEA (MEZCLA DE TIERRA DIATOMÁCEA, CAL Y PAPEL)/ACEITE DIESEL.	55
TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE CARBONATO DE CALCIO/FIBRA CELULÓSICA	55
TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE ARCILLA ORGANOFÍLICA	56
TÉCNICAS DE FLUIDOS NEUMÁTICOS	58
TÉCNICA DE PERFORACIÓN CON AIRE (POLVO)	59

CONTENIDO

TÉCNICA DE PERFORACIÓN CON NIEBLA	60
TÉCNICA DE PERFORACIÓN CON ESPUMA	61
TÉCNICA DE PERFORACIÓN CON LODO AIREADO	61
INCENDIOS DE FONDO	62
TÉCNICA DE PERFORACIÓN BAJO BALANCE	63
INGENIERIA DE DISEÑO DE LA PERFORACIÓN BAJO BALANCE	63
APLICACIÓN Y CASOS GENERALES DE LA PERFORACIÓN BAJO BALANCE	64
CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR EL FLUIDO CIRCULANTE A EMPLEAR	65
FASE GASEOSA	66
FASE LIQUIDA	66
ADITIVOS	66
TORSIÓN Y ARRASTRE	67
BARRENAS E HIDRÁULICA	67
PROYECTO DIRECCIONAL	67
SARTA DE PERFORACIÓN	68
CAPITULO V.- CASO DE ESTUDIO.- POZO SARAMAKO-1 DEL ACTIVO REFORMA-COMALCALCO.	
HISTÓRIA DE LA PERFORACIÓN DEL POZO SARAMAKO-1	69
ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN DEL POZO SARAMAKO-1	78
CONCLUSIONES	87
GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS	88
BIBLIOGRAFÍA	93

RESUMEN

La pérdida de lodo hacia las formaciones se llama **pérdida de circulación o pérdida de retorno**. Desde el punto de vista histórico, la pérdida de circulación ha sido uno de los factores que más contribuye a los altos costos por consumo del lodo.

Otros problemas del pozo, como la inestabilidad del pozo, la tubería pegada, e incluso los reventones, son consecuencias de la pérdida de circulación. Además de las ventajas claras que se obtienen al mantener la circulación, la necesidad de impedir o remediar las pérdidas de lodo es importante para otros objetivos de la perforación, como la obtención de una evaluación de la formación de buena calidad y el logro de una adherencia eficaz del cemento primario sobre la tubería de revestimiento.

El presente trabajo tiene como objetivo presentar las diferentes alternativas de solución a los problemas de pérdidas de circulación durante las operaciones de perforación de pozos petroleros.

En el Capítulo I se presentan elementos fundamentales sobre los fluidos de control, tales como clasificación, composición y las funciones principales que desempeña en el pozo, durante las operaciones de perforación

En el Capítulo II se muestra la importancia de controlar las pérdidas de filtrado, mediante la formación de sellos en las formaciones permeables; los problemas potenciales relacionados con los enjarres gruesos y la filtración excesiva incluyen las condiciones de pozo reducido, el aumento del torque y arrastre, pegadura de tuberías, la pérdida de circulación, la calidad inferior de los registros y daños a la formación. Con frecuencia se requiere un control adecuado de la filtración y la deposición de un enjarre delgado de baja permeabilidad para evitar los problemas en la perforación y producción del pozo.

Los Capítulos III y IV se consideran la columna vertebral de esta tesis, ya que en el Capítulo III, se presentan los conceptos básicos a los problemas típicos de pérdidas de circulación que se presentan comúnmente durante la perforación de pozos petroleros, y en el Capítulo IV, se tratan las diferentes alternativas de solución que se le pueden dar a los problemas presentados en el capítulo III.

En el Capítulo V se presenta la historia de perforación del pozo SARAMAKO-1 del activo Reforma-Comalcalco, en el cual se observan problemas severos de pérdidas de circulación durante la etapa de perforación, las posibles soluciones donde aplican algunos conceptos presentados en el capítulo anterior, su metodología y un análisis que nos ayuda a tomar mejores decisiones.

El presente trabajo cuenta con anexos en los que se proporciona un glosario de términos técnicos para el mejor entendimiento de los conceptos aquí presentados.

INTRODUCCIÓN.

El aumento de las necesidades actuales en materia de recursos energéticos en los tiempos modernos, han obligado al hombre a desarrollar nuevas y mejores tecnologías para la perforación de pozos petroleros con el fin de buscar y obtener mayores cantidades de hidrocarburos, que hasta el día de hoy, son la principal fuente de energía de México y del resto del mundo, enfrentándose para esto a problemas cada vez más complejos y costosos, tales como: “**las pérdidas del fluido de control**, durante las operaciones de perforación”.

El objetivo principal de un pozo petrolero es alcanzar la zona de hidrocarburos. Se perforan varias capas de formaciones litológicas cada vez más profundas, que contienen diversos elementos contaminantes, entre ellas las temperaturas y presiones de la formación perforada afectan a los sistemas de fluidos de control, sobre todo a los de base agua; sin embargo, en la actualidad ya se diseñan fluidos con aditivos químicos resistentes y estables a los contaminantes, así como biodegradables y no tóxicos para proteger a los ecosistemas donde se perfora un pozo petrolero.

Los fluidos de perforación desempeñan numerosas funciones que contribuyen al logro de dicho objetivo. La responsabilidad de la ejecución de estas funciones es asumida conjuntamente por el ingeniero de lodo y las personas que dirigen la operación de perforación.

El deber de las personas encargadas de perforar el agujero - incluyendo el representante de la compañía operadora, el contratista de perforación y la cuadrilla del equipo de perforación - es asegurar la aplicación de los procedimientos correctos de perforación.

La obligación principal del ingeniero de lodo es asegurarse que las propiedades del lodo sean correctas para el ambiente de perforación específico, a fin de prevenir y solucionar los diferentes problemas que se presenten en el pozo durante las operaciones de perforación, tales como las pérdidas de circulación, que en gran manera repercute en altos costos en operaciones de perforación por consumo de lodo y por tiempo de operación.

Por lo tanto el ingeniero de lodos también debería recomendar modificaciones en las prácticas de perforación que ayuden a lograr los objetivos óptimos en la perforación.

CAPITULO I

FLUIDOS DE CONTROL

GENERALIDADES DEL FLUIDO DE CONTROL¹

El fluido de control es el fluido circulatorio que se utiliza en un equipo de perforación o terminación de pozos, formando una mezcla de aditivos químicos que proporcionan propiedades físico-químicas idóneas a las condiciones operativas y a las características de la formación litológica a perforar. La estabilización de sus parámetros físico-químicos, así como la variación de los mismos al contacto con los contaminantes liberados en la formación perforada son controladas mediante análisis continuos.

COMPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS DE CONTROL¹

En la mayoría de las áreas, las arcillas comerciales (bentonitas) son añadidas al agua cuando se prepara un fluido de control base agua. Las arcillas sirven para un doble propósito:

- 1.- Dar viscosidad al fluido de perforación.
- 2.- Depositar una costra filtro (enjarre) que sellara las formaciones permeables y limitará las pérdidas de filtración, además de prevenir tuberías pegadas.

En algunas áreas la perforación se efectúa iniciando con agua y permitiendo que los sólidos de perforación sean incorporados, lo que resulta en propiedades suficientes para permitir que el pozo sea perforado. En otras situaciones, cuando se añaden arcillas a la fórmula, se utilizan sistemas a base de polímeros. Los fluidos de control base agua preparados con arcilla, que tienen agua como fase líquida continua, contienen ciertos materiales que se mantienen en suspensión y otros que están disueltos. Para obtener propiedades especiales, se pueden utilizar numerosos aditivos de lodo; sin embargo, básicamente, todos los componentes se pueden dividir en tres categorías a saber:

- 1.- La fase agua, se trata de la fase continua del fluido de control, depende de la localización y/o disponibilidad del agua. Esta puede ser agua natural, agua de mar, agua dura, agua suave, Etc. No es extraño utilizar una variedad de soluciones de salmuera, desde salada hasta la saturación como líquido base para fabricar un sistema con base agua.
- 2.- La fase de sólidos reactivos se compone de arcillas comerciales, arcillas hidratables incorporadas y arcillas de las formaciones perforadas mantenidas en suspensión en la fase de líquido. Estos sólidos son tratados químicamente para controlar las propiedades del fluido de perforación. Se utilizarán varios aditivos para obtener las propiedades deseadas.
- 3.- Los sólidos inertes se refieren a aquellos en suspensión químicamente inactivos. Pueden ser sólidos de perforación inertes tales como caliza, dolomita o arena. Al fluido de control se le añade barita (sulfato de bario) para aumentar su densidad ya que también es un sólido inerte.

IMPACTO DEL CONTROL DE SÓLIDOS¹

La experiencia en el campo y las pruebas de laboratorio han demostrado, sin lugar a dudas los beneficios de mantener un control estricto sobre los sólidos indeseables. Los beneficios de un contenido mínimo de sólidos son muchos. Entre los principales están: mayor velocidad de perforación, mayor durabilidad de la barrena, mayor vida útil de las bombas; así como una reducción en los costos de perforación. El tratamiento de lodos con problemas de sólidos puede analizarse de la siguiente manera:

- a).- La dispersión química involucra el uso excesivo de floculantes y dispersantes

¹ Bibliografía al final de la tesis.

b).- La dilución es una solución temporal y antieconómica.
c).- La remoción mecánica de los sólidos es el medio más eficiente y económico para solucionar un problema de sólidos. El equipo debe diseñarse de acuerdo al programa del pozo. Idealmente un equipo de control de sólidos debe consistir en lo siguiente: vibrador de doble malla de alto impacto, desarenador con conos de 12 pulgadas; desarcillador de 16 conos de 4 pulgadas y de 200 mesh (malla); además de centrifugas para sólidos de alta y baja gravedad. EL tamiz (cedazo) de malla 200 se utiliza para el ensayo de arena de API. Todos los materiales que no atraviesan la malla 200 (74 micrones) se clasifican como arenas cualquiera que sea su naturaleza. Las partículas entre 74 y 2 micrones reciben el nombre de limo. Los más pequeños de 2 micrones se conocen como coloides.

FUNCIONES PRINCIPALES DEL FLUIDO DE CONTROL¹

Las funciones del fluido de control describe las tareas que es capaz de desempeñar, aunque algunas de éstas no sean esenciales en cada pozo. La remoción de los recortes del pozo y el control de las presiones de la formación son funciones sumamente importantes. Aunque el orden de importancia sea determinado por las condiciones del pozo y las operaciones en curso.

REMOCIÓN DE LOS RECORTES DEL POZO¹

Los recortes de perforación deben ser retirados del pozo a medida que son generados por la barrena. A este fin, se hace circular un fluido de perforación dentro de la columna de perforación y a través de la barrena, el cual arrastra y transporta los recortes hasta la superficie, subiendo por el espacio anular. La remoción de los recortes depende del tamaño, forma y de su densidad; unidos a la Velocidad de Penetración (ROP); de la rotación de la columna de perforación; y de la viscosidad, densidad y velocidad anular del fluido de control.

Viscosidad. La viscosidad y las propiedades reológicas de los fluidos de perforación tienen un efecto importante sobre la limpieza del pozo. Los recortes se sedimentan rápidamente en fluidos de baja viscosidad (agua, por ejemplo) y son difíciles de circular fuera del pozo. En general, los fluidos de mayor viscosidad mejoran el transporte de los recortes.

La mayoría de los lodos de perforación son tixotrópicos, es decir que se gelifican bajo condiciones estáticas. Esta característica puede suspender los recortes mientras que se efectúan las conexiones de tuberías y otras situaciones durante las cuales no se hace circular el lodo. Los fluidos que disminuyen su viscosidad con el esfuerzo de corte y que tienen altas viscosidades a bajas velocidades anulares han demostrado ser mejores para una limpieza eficaz del pozo.

Velocidad anular del fluido de control. En general, la remoción de los recortes es mejorada por las altas velocidades anulares. Sin embargo, con los fluidos de perforación más diluidos, las altas velocidades pueden causar un flujo turbulento que ayuda a limpiar el agujero, pero puede producir otros problemas de perforación en el agujero. La velocidad a la cual un recorte se sedimenta en un fluido se llama velocidad de caída. La velocidad de caída de un recorte depende de su densidad, tamaño y forma, y de la viscosidad, densidad y velocidad del fluido de perforación. Si la velocidad anular del fluido de perforación es mayor que la velocidad de caída del recorte, el recorte será transportado hasta la superficie. La velocidad neta a la cual un recorte sube por el espacio anular se llama velocidad de transporte.

En un pozo vertical: Velocidad de transporte = Velocidad anular - velocidad de caída

El transporte de recortes en los pozos de alto ángulo y horizontales es más difícil que en los

pozos verticales. La velocidad de transporte, tal como fue definida para los pozos verticales, no es aplicable en el caso de pozos desviados, visto que los recortes se sedimentan en la parte baja del pozo, en sentido perpendicular a la trayectoria de flujo del fluido, y no en sentido contrario al flujo de fluido de perforación. En los pozos horizontales, los recortes se acumulan a lo largo de la parte inferior del pozo, formando camas de recortes. Estas camas restringen el flujo, aumentan el torque, y son difíciles de eliminar. Se usan dos métodos diferentes para las situaciones de limpieza difícil del pozo que suelen ser encontradas en los pozos de alto ángulo y horizontales:

a.- El uso de fluidos tixotrópicos que disminuyen su viscosidad con el esfuerzo de corte y que tienen una alta Viscosidad a Muy Baja Velocidad de Corte (LSRV) y condiciones de flujo laminar.

Ejemplos de estos tipos de fluido incluyen los sistemas de biopolímeros, y las lechadas de bentonita floculadas tal como el sistema de Hidróxido de Metales Mezclados (MMH). Dichos sistemas de fluidos de perforación proporcionan una alta viscosidad con un perfil de velocidad anular relativamente plano, limpiando una mayor porción de la sección transversal del pozo. Este método tiende a suspender los recortes en la trayectoria de flujo del lodo e impide que los recortes se sedimenten en la parte baja del pozo.

b.- El uso de un alto caudal y de un lodo fluido para obtener un flujo turbulento.

El flujo turbulento proporcionará una buena limpieza del pozo e impedirá que los cortes se sedimenten durante la circulación, pero éstos se sedimentarán rápidamente cuando se interrumpa la circulación. Este método funciona manteniendo los recortes suspendidos bajo el efecto de la turbulencia y de las altas velocidades anulares. Es más eficaz cuando se usan fluidos de baja densidad en formaciones competentes (que no se desgastan fácilmente). La eficacia de esta técnica puede ser limitada por distintos factores, incluyendo un agujero de gran tamaño, una bomba de baja capacidad, una integridad insuficiente de la formación y el uso de motores de fondo y herramientas de fondo que limitan el caudal.

Densidad. Los fluidos de alta densidad facilitan la limpieza del pozo aumentando las fuerzas de flotación que actúan sobre los recortes, lo cual contribuye a su remoción del pozo. En comparación con los fluidos de menor densidad, los fluidos de alta densidad pueden limpiar el agujero de manera adecuada, aun con velocidades anulares más bajas y propiedades reológicas inferiores. Sin embargo, el peso del lodo en exceso del que se requiere para equilibrar las presiones de la formación tiene un impacto negativo sobre la operación de perforación; por lo tanto, este peso nunca debe ser aumentado a efectos de limpieza del agujero.

Rotación de la columna de perforación. Las altas velocidades de rotación también facilitan la limpieza del pozo introduciendo un componente circular en la trayectoria del flujo anular. Este flujo helicoidal (en forma de espiral o sacacorchos) alrededor de la columna de perforación hace que los recortes de perforación ubicados cerca de la pared del pozo, donde existen condiciones de limpieza del pozo deficientes, regresen hacia las regiones del espacio anular que tienen mejores características de transporte. Cuando es posible, la rotación de la columna de perforación constituye uno de los mejores métodos para retirar camas de recortes en pozos de alto ángulo y pozos horizontales.

CONTROL DE LAS PRESIONES DE LA FORMACIÓN¹

Como se mencionó anteriormente, una función básica del fluido de perforación es controlar las presiones de la formación para garantizar una operación de perforación segura. Típicamente, a medida que la presión de la formación aumenta, se aumenta la densidad del

fluido de perforación agregando barita para equilibrar las presiones y mantener la estabilidad del agujero. Esto impide que los fluidos de formación fluyan hacia el pozo y que los fluidos de formación presurizados causen un reventón. La presión ejercida por la columna de fluido de perforación mientras está estática, se llama presión hidrostática y depende de la densidad (peso del lodo) y de la Profundidad Vertical verdadera (TVD) del pozo. Si la presión hidrostática de la columna de fluido de perforación es igual o superior a la presión de la formación, los fluidos de la formación no fluirán dentro del pozo. Mantener un pozo “bajo control” se describe frecuentemente como un conjunto de condiciones bajo las cuales ningún fluido de la formación fluye dentro del pozo. Pero esto también incluye situaciones en las cuales se permite que los fluidos de la formación fluyan dentro del pozo – bajo condiciones controladas. Dichas condiciones varían – de los casos en que se toleran altos niveles de gas de fondo durante la perforación, a situaciones en que el pozo produce cantidades comerciales de petróleo y gas mientras se está perforando. El control de pozo (o control de presión) significa que no hay ningún flujo incontrolable de fluidos de la formación dentro del pozo. La presión hidrostática también controla los esfuerzos adyacentes al pozo y que no son ejercidos por los fluidos de la formación. En las regiones geológicamente activas, las fuerzas tectónicas imponen esfuerzos sobre las formaciones y pueden causar la inestabilidad de los pozos, aunque la presión del fluido de la formación esté equilibrada. Los pozos ubicados en formaciones sometidas a esfuerzos tectónicos pueden ser estabilizados equilibrando estos esfuerzos con la presión hidrostática. Igualmente, la orientación del pozo en los intervalos de alto ángulo y horizontales puede reducir la estabilidad del pozo, lo cual también se puede controlar con la presión hidrostática. Las presiones normales de formación varían de un gradiente de presión de 0,433 psi/pie (equivalente a 8,33 lb./gal de agua dulce) en las áreas ubicadas tierra adentro, a 0,465 psi/pie (equivalente a 8,95 lb/gal) en las cuencas marinas. La elevación, ubicación, y varios procesos e historias geológicas crean condiciones donde las presiones de la formación se desvían considerablemente de estos valores normales. La densidad del fluido de perforación puede variar desde la densidad del aire (básicamente 0 psi/pie) hasta más de 20,0 lb/gal (1,04 psi/pie). *Las formaciones con presiones por debajo de lo normal se perforan frecuentemente con aire, gas, niebla, espuma rígida, lodo aireado o fluidos especiales de densidad ultra baja (generalmente a base de petróleo).* El peso de lodo usado para perforar un pozo está limitado por el peso mínimo necesario para controlar las presiones de la formación y el peso máximo del lodo que no fracturará la formación. En la práctica, conviene limitar el peso del lodo al mínimo necesario para asegurar el control del pozo y la estabilidad del mismo. Otras funciones que el fluido de control debe cumplir son: Suspensión y descarga de recortes; Obturar las formaciones permeables; Mantener la estabilidad del agujero; Minimizar daños a la formación; Enfriar, lubricar y sostener la barrena y el conjunto de perforación; Transmitir energía hidráulica a las herramientas y a la barrena; Asegurar la evaluación adecuada de la formación; Control de la corrosión; Facilitar la cementación y terminación; Minimizar el impacto sobre el medio ambiente.

DISEÑO DE FLUIDOS DE CONTROL²

Para el diseño de un fluido, se debe contemplar si se trata de un pozo exploratorio o de desarrollo a fin de poder seleccionar los datos correlativos que faciliten la obtención de parámetros óptimos en el fluido de control, de acuerdo a las profundidades de cada contacto litológico. De esta forma, se determinan sus densidades y se selecciona el fluido a utilizar y los aditivos químicos para contingencias, con la finalidad de asentar correctamente las tuberías de revestimiento, para ello debe considerarse lo siguiente:

Pozos exploratorios: Los datos proporcionados por los registros sísmicos, y de geopresiones, levantamientos geológicos, profundidad del pozo, número de tuberías de revestimiento que se van a asentar y cálculo de las densidades requeridas.

Pozos de desarrollo: En la determinación de estos programas se cuenta con muchos datos disponibles tales como programas de fluidos de los pozos aledaños, interpretación de registros eléctricos y pruebas de laboratorio y de campo; interpretación litológica, asentamiento de tuberías de revestimiento en los pozos vecinos, comportamiento del fluido utilizado en cada etapa perforada en pozos correlacionados, etcétera. (Ver figura 1.1 Diagrama de selección de fluidos).

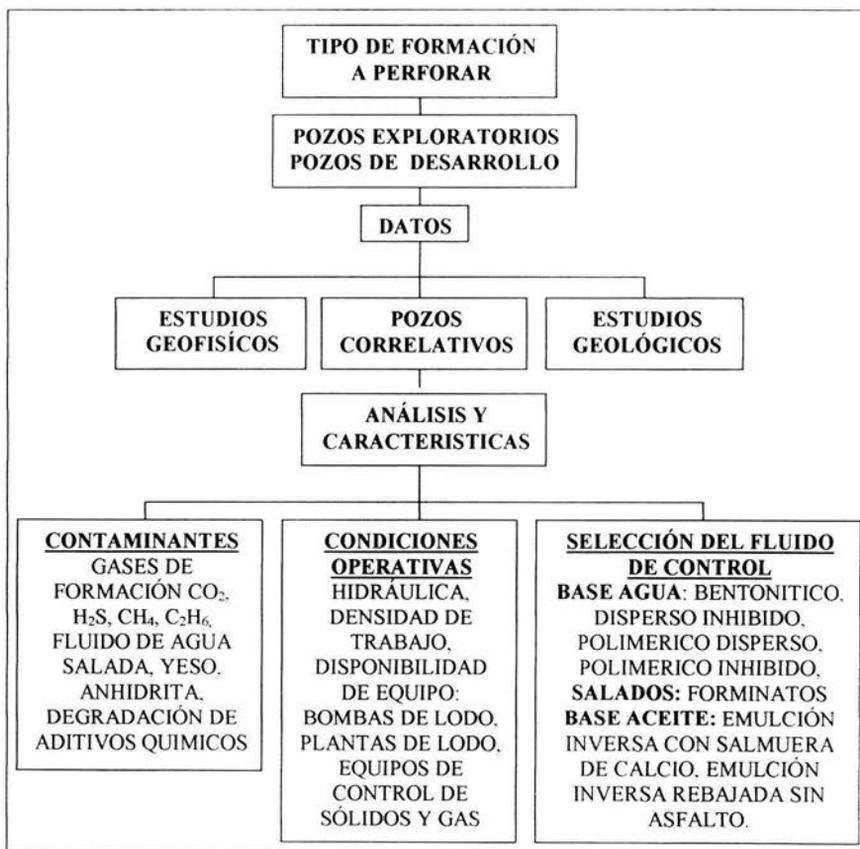


Figura 1.1 Diagrama de selección de fluidos.

TIPOS DE FLUIDOS DE CONTROL²

Un fluido de perforación que es fundamentalmente líquido, se denomina también fluido de control. Se trata de una suspensión de sólidos, líquidos o gases en un líquido. El líquido en el cual todos los aditivos químicos están suspendidos se conocen como fase continua del fluido de control o lodo y las partículas sólidas o líquidos suspendidos dentro de otro (glóbulos) constituyen la fase discontinua. Cuando se conoce la constitución de la fase continua, se obtiene el tipo de sistema de fluido conocido como base del lodo; ejemplo. (Ver tabla 1.1).

Fase Continua (Mayor volumen de líquidos)	Fase Discontinua (Menor volumen de sólidos o líquidos)	Tipo De Fluidos
El agua , integra el 60 al 90% de ¹ volumen, como base de la formulación de un sistema (tipo) de fluido	Bentonita, barita, dispersantes y ciertos polímeros, integran del 7 al 27% de los sólidos y el 3% de lubricantes líquidos en volumen.	La formula de estos tipos de fluidos se conocen como base agua
El aceite integra el 40 al 70% del volumen, como base de la formulación de un sistema (tipo) de fluido.	Las salmueras de diversas sales como calcio o sodio, ocupan el 10 al 20% en volumen; los emulsificantes el 5%; y los sólidos de 15 a 35%	la formula de estos tipos de fluidos se conocen como base aceite

Tabla 1.1: Fase continua y discontinua de los fluidos.

FASE CONTINUA DE LOS FLUIDOS²

La fase continua de un lodo base agua es el agua. Algunos aditivos químicos que son sólidos se disuelven o se dispersan en la fase continua. Forman una mezcla homogénea que proporcionara un sistema de fluido de perforación; por ejemplo: la sal de sodio se disuelve por completo y se ioniza en el agua hasta llegar al punto de saturación. Por arriba de ese nivel la sal se mantendrá en forma de cristales en estado sólido, la cual se dispersara como tal en la fase continua del fluido. Los cationes de las sales (Na⁺, Ca⁺⁺, K⁺, NH₄⁺) producen en la estructura de las arcilla una inhibición, evitando una hidratación posterior al contacto con el agua, que al tener presentes iones OXIDRILOS mejoraran la dispersión de las arcillas, reduciendo el efecto de contaminantes como son gases CO₂ y H₂S, a la vez, inhibe la corrosión. Por esta razón no existen dos fluidos iguales. Los elementos contaminantes de una formación, así como la propia estructura litológica, producirá alteraciones, que, de acuerdo al manejo de los aditivos químicos en la formulación de los fluidos, se a llegado a obtener gran variedad de fluidos base agua. En el caso de un fluido base aceite conocido como emulsión inversa, la fase continua es el diesel, y los glóbulos de agua salada es la fase discontinua o dispersa. Las teorías modernas que tratan de la formación y conducta de las emulsiones son complejas, sin embargo, esta influida considerablemente por la relación aceite/agua, por el tiempo y grado de agitación, así como por el tipo y cantidad de los emulsificantes empleados. Existen fluidos que se emplean para perforar zonas o contactos litológicos, que por su naturaleza (depressionadas y/o con pérdidas de circulación), requieren de condiciones operativas especiales, como son los fluidos basados en aire, gas o espuma, conocidos como fluidos neumáticos, que veremos mas ampliamente en el capítulo IV.

CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS FLUIDOS DE CONTROL³

FLUIDOS BASE AGUA³

Los sistemas de fluidos base agua se clasifican por la resistencia de los tipos de contaminantes de la formación y sus temperaturas, los cuales se van transformando en su formulación debido a la incorporación de flujo como gases, sal, arcillas, yeso, líquidos y sólidos de la propia formación o de aditivos químicos excedidos y degradados.

Fluido bentonítico (no disperso). El término no disperso indica que no se utilizan dispersantes y las arcillas comerciales agregadas al lodo, al igual que las que se incorporan de la formación, van a encontrar su propia condición de equilibrio en el sistema de una forma natural. Este fluido es utilizado en el inicio de la formación.

Fluido bentonítico polimérico. Es empleado para perforar formaciones de bajo contenido de arcilla. Se puede utilizar con agua fresca o salada, considerando el contenido de calcio menor

de 200 ppm. El Ca⁺⁺ se controla con carbonato de sodio.

Fluido disperso- no inhibido. Se utilizan dispersantes químicos para deflocular a la bentonita sodica, no se utilizan iones de inhibición, ya que los dispersantes van a actuar sobre los sólidos perforados, maximizando su dispersión. Es el fluido de perforación más versátil y más utilizado en la industria. La viscosidad del sistema es controlado con facilidad mediante el uso de dispersantes, se trata de un sistema con buena tolerancia a los contaminantes mas comunes y a grande contenido de sólidos. Además si se le agregan surfactantes y mayor dosis de lignitos resulta excelente para perforar pozos de alta temperatura.

Fluido disperso-inhibido. En este tipo de lodos se utilizan dispersantes químicos para deflocular la bentonita sodica. No se utilizan iones de inhibición, ya que los dispersantes van a actuar sobre los sólidos perforados, maximizando su dispersión.

FLUIDOS BASE-ACEITE³

El fluido de emulsión inversa se define como un sistema en el que la fase continua es aceite y el filtrado también lo es. El agua que forma parte del sistema consiste de pequeñas gotas que se hallan dispersas y suspendidas en el aceite. Cada gota de agua actúa como una partícula sólida. La adición de emulsificantes hacen que el agua se emulsifique en el aceite y forme un sistema estable. Los emulsificantes que se utilizan en el sistema deben ser solubles tanto en agua como en aceite. El empleo de otros materiales organofílicos va a proveer las características de gelación, así como la utilización de asfalto o gilsonita para la reducción de filtrado de iones de calcio o de sodio para la inhibición. La emulsión inversa se formula usando una amplia variedad de aceites: por ejemplo, diesel o aceites minerales. Se utilizan para perforar lutitas problemáticas por su alto grado de hidratación, zonas de arenas productoras con altas temperaturas en medios corrosivos. (Ver tabla 1.2).

Etapa T.R. (Pulg)	Prof (m)	Bna. (Pulg)	Densidad (gr/cc)	Tipo De Fluido	Temp. (°F)	Contaminantes
30	50-150	36	1.00-1.06	Agua dulce- Agua de mar	Ambiente	Ninguno
20-17 1/2	50-1000 150-1200	26	1.06-1.25	Bentonítico	50	Arcillas generadoras de lodo
14 ³ / ₄ -13 ³ / ₈	1000-3000 1200-3400	17 ¹ / ₂ -16	1.25-1.75	Polimérico disperso	175	Arcilla, CO ₂ , agua salada
9 ⁵ / ₈ -7	3000-4200 3400-4800	12 ¹ / ₄ -8 ¹ / ₂	1.60-2.15	Emulsión inversa	225	Agua salada, CO ₂ , H ₂ S, domo salino
5-3 ¹ / ₂ (Tubing less)	4200-5800 4800-6400	6 ¹ / ₂ -5 ⁷ / ₈ , 5 ⁵ / ₈	0.90-1.30	Emulsión directa	350	Gases CO ₂ , H ₂ S, hidrocarburos

Tabla 1.2: Fluidos de control por etapas.

SISTEMA DE EMULSIÓN DIRECTA³

En las zonas depresionadas y con perdidas de circulación, para lograr los objetivos de perforación, requieren de fluidos de baja densidad. Estos deben superar las desventajas a las que están sometidos, como son la baja estabilidad a la temperatura, sensibilidad a la sosa cáustica, bajo poder de inhibición en arcillas hidratables que se encuentran intercaladas en las rocas carbonatadas del cretácico y del jurasico, gases amargos que alteran su composición química y la sensibilidad que tienen a cualquier contacto con fluidos de emulsión inversa.

Esto nos a llevado a la conclusión que este tipo de fluidos solo sea aplicable en donde lo permitan los gradientes de fractura o en combinación con nitrógeno por medio de la tecnología de punta de la perforación bajo balance (ver capítulo IV). Ya sea en zonas depresionadas, en donde las rocas, están fracturadas y son susceptibles de pérdida de circulación, lo que provoca problemas mecánicos a la sarta de perforación; o en la reparación de pozos en campos productores de gas, para evitar el daño a la formación por su bajo contenido de sólidos. Este lodo se refuerza con polímeros que soportan altas temperaturas y son utilizados como estabilizadores térmicos y reductores de filtrado. Los fluidos de baja densidad son emulsiones directas que se preparan a razón de hasta un 80% de diesel de acuerdo a la densidad requerida un 18% de agua y un 2% de emulsificantes, así como también un agente supresor de hidratación y un polímero viscosificante. Estas emulsiones directas proporcionan estabilidad al agujero durante la perforación o reparación de pozos.

CAPITULO II PÉRDIDAS DE FILTRADO

GENERALIDADES DE PÉRDIDAS DE FILTRADO²

Una de las funciones básicas del fluido de perforación es sellar las formaciones permeables y controlar la filtración (pérdida de filtrado). Los problemas potenciales relacionados con los enjarres gruesos y la filtración excesiva, incluyen las condiciones de pozo reducido, el aumento del torque y arrastre, pegadura de tuberías, pérdidas de circulación, calidad inferior de los registros y daños a la formación. Con frecuencia se requiere un control adecuado de la filtración y la deposición de un enjarre delgado de baja permeabilidad para evitar los problemas de perforación y producción.

PROBLEMAS POTENCIALES RELACIONADOS CON EL ESPESOR EXCESIVO DEL ENJARRE²

1. Puntos apretados en el pozo que causan un arrastre excesivo.
2. Mayor suaveo y pistoneo debido a la reducción del espacio anular libre.
3. Pegadura por presión diferencial de la columna de perforación debido a la mayor superficie de contacto y al desarrollo rápido de las fuerzas de adhesión causado por la tasa de filtración más alta.
4. Dificultades con la cementación primaria debido al desplazamiento inadecuado del enjarre.
5. Mayor dificultad para bajar la tubería de revestimiento.

PROBLEMAS POTENCIALES RELACIONADOS CON LA INVASIÓN EXCESIVA DE FILTRADO²

1. Daños a la formación causados por la invasión de filtrado y sólidos. La zona dañada está ubicada a una profundidad demasiado grande para que pueda ser reparada mediante perforación o acidificación. Los daños pueden consistir en precipitación de compuestos insolubles, cambios de humectabilidad, cambios de permeabilidad relativa respecto al aceite o al gas, taponamiento de la formación por finos o sólidos, y el hinchamiento de las arcillas.
2. Prueba inválida de muestreo del fluido de la formación. Las pruebas de flujo del fluido de la formación pueden dar resultados que se refieren al filtrado y no a los fluidos del yacimiento.
3. Dificultades en la evaluación de la formación causadas por la invasión excesiva de filtrado, la mala transmisión de las propiedades eléctricas a través de enjarres gruesos, y posibles problemas mecánicos al bajar y recuperar las herramientas de registro. Propiedades erróneas medidas por las herramientas de registro (midiendo propiedades alteradas por el filtrado en vez de las propiedades de los fluidos del yacimiento).
4. Las zonas de aceite y gas pueden pasar desapercibidas porque el filtrado está desplazando a los hidrocarburos, alejándolos del pozo, lo cual dificulta su detección.

FUNDAMENTOS DE FILTRACIÓN²

La *filtración* se refiere a la acción mediante la cual la presión diferencial hace entrar a la fase líquida del lodo de perforación dentro de una formación permeable. Durante este proceso, las partículas sólidas son *filtradas*, formando un *enjarre* (ver figura 11.1). Si la fase líquida también contiene un líquido inmiscible tal como una salmuera en un lodo base aceite, entonces las gotas del líquido inmiscible también se depositarán en el enjarre y contribuirán al control de filtración. Los sistemas de lodo deberían estar diseñados para sellar las zonas

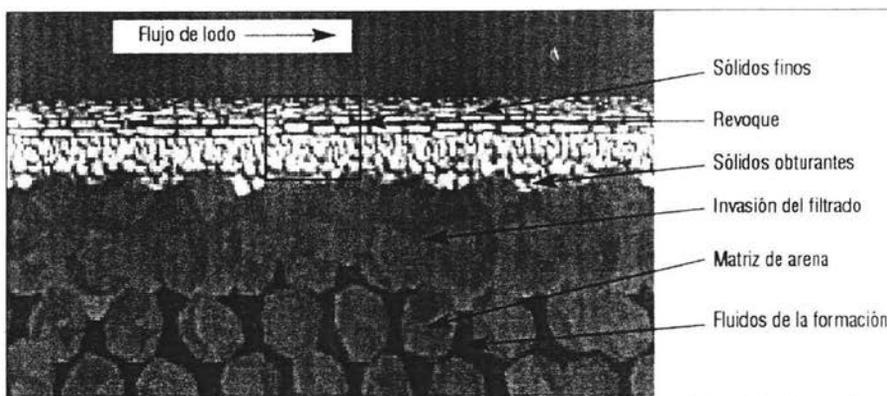


Figura 11.1: Características de la filtración.

permeables lo más rápido posible con enjarres lisos y delgados. En las formaciones muy permeables con grandes gargantas de poros, el lodo entero puede invadir la formación (según el tamaño de los sólidos del lodo). Para estas situaciones, será necesario usar agentes puenteantes para bloquear las aberturas, de manera que los sólidos del lodo puedan formar un sello. Los agentes puenteantes deben tener un tamaño aproximadamente igual a la mitad del tamaño de la abertura más grande. Dichos agentes puenteantes incluyen el carbonato de calcio, la celulosa molida y una gran variedad de materiales de pérdida de circulación. La filtración ocurre bajo condiciones tanto dinámicas como estáticas, durante las operaciones de perforación. La filtración bajo condiciones dinámicas ocurre mientras el fluido de perforación está circulando. La filtración estática ocurre en otros momentos – durante las conexiones, los viajes o cuando el fluido no está circulando. Las mediciones de filtración y enjarre de baja presión, baja temperatura y Alta Temperatura, Alta Presión (ATAP) del Instituto Americano del Petróleo (API) realizadas por el ingeniero del lodo son pruebas estáticas. Estas pruebas son muy eficaces para evaluar las tendencias globales de filtración del lodo, y en cierto modo proporcionan una indicación de las características de la filtración dinámica de flujo laminar. Pruebas más complejas y laboriosas, realizadas con instrumentos de laboratorio, están disponibles para medir la filtración dinámica, pero no son prácticas para realizar pruebas de rutina.

TEORÍA DE FILTRACIÓN²

Para que la filtración pueda ocurrir, tres condiciones son necesarias:

1. Debe haber un líquido o un fluido líquido / lechada de sólidos.
2. Debe haber un medio permeable.
3. La presión del fluido debe ser más alta que la presión del medio permeable.

Durante la perforación, se hace circular un fluido a través del pozo. Se perforan zonas permeables como las areniscas y se mantiene generalmente la presión hidrostática de la columna de lodo a una presión superior a la presión poral. Una vez que estas condiciones se han satisfecho, un enjarre de sólidos de lodo se acumula sobre las formaciones permeables. Mientras tanto, la fase líquida del lodo, (filtrado), fluirá a través del enjarre y dentro de la formación. El espesor del enjarre y la profundidad de invasión de filtrado son controlados por la concentración de sólidos, la presión diferencial, la permeabilidad del enjarre y el tiempo de exposición. Durante la exposición inicial de una formación permeable a un fluido de perforación, cuando los sólidos del lodo están formando un enjarre de baja permeabilidad en el pozo, se produce una alta tasa de filtración y los sólidos finos del lodo invaden la

formación. Esta alta tasa de filtración inicial se llama “pérdida instantánea”.

FILTRACIÓN ESTÁTICA²

La filtración estática ocurre bajo condiciones estáticas, es decir en cualquier momento en que el lodo no está circulando. Varios factores controlan la tasa de filtración bajo estas condiciones. La ley de Darcy, un modelo clásico de flujo de fluido, ayuda a identificar los factores que afectan la filtración. También se puede usar para ilustrar el volumen de filtrado y el espesor del enjarre. La ley de Darcy se aplica al flujo de fluidos a través de materiales permeables (arena, arenisca o enjarre). Puede ser usada para establecer la relación entre la tasa de filtración, la permeabilidad, superficie de la sección transversal, presión diferencial, viscosidad del filtrado y espesor del enjarre (ver figura 11.2). Para el flujo de filtrado a través

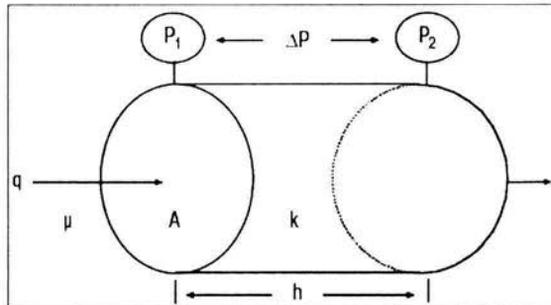


Figura 11.2: Ilustración del flujo de la ley de Darcy.

del enjarre, la permeabilidad del enjarre es la permeabilidad determinante, visto que es mucho más baja que la permeabilidad de la formación. La ley de Darcy se puede escribir de la siguiente manera:

$$q = \frac{KA\Delta P}{\mu h}$$

Donde:

q = Caudal de filtrado (cm³/seg)

k = Permeabilidad (darcys)

A = Superficie de la sección transversal (cm²)

ΔP = Presión diferencial (atmósferas)

μ = Viscosidad (cP)

h = Espesor del enjarre (cm)

Como lo ilustra esta ecuación, la pérdida de filtrado es inferior cuando la permeabilidad del enjarre es más baja, la superficie es más pequeña y la presión diferencial es más baja. La filtración también disminuye cuando la viscosidad del filtrado y el espesor del enjarre aumentan, siempre que el enjarre más grueso tenga la misma permeabilidad. Durante los periodos estáticos, el espesor del enjarre aumenta con el tiempo, pero la velocidad de deposición disminuye. Un enjarre grueso puede causar numerosos problemas y debería evitarse. Por lo tanto, la filtración estática es la principal preocupación y sería conveniente que cualquier situación de perforación sufriera la menor pérdida posible de filtrado.

Se evalúa la tasa de filtración de un fluido de perforación midiendo el volumen de filtrado captado durante un periodo estándar. Por este motivo, la ley de Darcy debería ser modificada para determinar el volumen de filtrado V_f .

La tasa de filtración, q , es igual al cambio del volumen de filtrado dividido por la variación de tiempo, dV_F/dt .

El espesor del enjarre, h , puede ser definido matemáticamente de la siguiente manera:

$$h = \frac{(V_F)F_{SLDS-LODO}^2}{A(F_{SLDS-REVOQUE} - F_{SLDS-LODO})}$$

Donde:

V_F = Volumen de filtrado.

$F_{SLDS-LODO}$ = Volumen de la fracción de sólidos en el lodo.

$F_{SLDS-REVOQUE}$ = Volumen de la fracción de sólidos en el enjarre.

Sustituyendo esto en la ley de Darcy y resolviendo (integrando) para el volumen de filtrado:

$$V_F = A \sqrt{\frac{2kt(F_{SLDS-REVOQUE} - F_{SLDS-LODO})\Delta P}{\mu(F_{SLDS-LODO})}}$$

Donde:

t = Tiempo

Esta ecuación demuestra que el volumen de filtrado está relacionado con la superficie y las raíces cuadradas del tiempo, la permeabilidad y la presión diferencial. Por lo tanto, el volumen de filtrado será menor cuando los tiempos son más cortos y la permeabilidad del enjarre y la presión diferencial son más bajas. El volumen de filtrado también varía inversamente a las raíces cuadradas de la viscosidad y fracción de sólidos del lodo. Por lo tanto, el volumen de filtrado será menor cuando la viscosidad del filtrado aumenta. El efecto de las concentraciones de sólidos es complejo y no afecta el volumen de filtrado de la misma manera que las otras variables. En base a esta relación, puede ser generalmente útil usar medidas de filtración, V_{F1} , tomadas bajo un conjunto de condiciones para pronosticar la filtración, V_{F2} , bajo otro conjunto de condiciones.

PRUEBAS DE FILTRACIÓN ESTÁTICA¹

El API ha normalizado dos procedimientos para la prueba de filtración estática. La primera es la prueba de baja presión, baja temperatura y la otra es la prueba de filtrado ATAP (Alta Temperatura, Alta Presión). Normalmente, la prueba de baja temperatura, baja presión se llama "prueba de filtración API".

El procedimiento de filtración API es realizada durante 30 minutos a temperatura ambiente con una presión diferencial de 100 psi a través del papel filtro. Las variaciones de temperatura afectan esta prueba; por lo tanto se recomienda realizar esta prueba cada vez a más o menos la misma temperatura. En la gama de temperaturas de 70 a 140°F, el volumen de filtrado aumentará en un 50% o aproximadamente 10% por cada aumento de temperatura de 15°. El volumen de filtrado de API es indicado por los centímetros cúbicos (cm³) de filtrado captado después de 30 minutos. El espesor del enjarre de API que se ha depositado durante la prueba de filtración de API está indicado en 1/32 de pulgada. En algunas regiones, los operadores requieren medidas métricas, y el espesor del enjarre está indicado en milímetros (mm).

La prueba ATAP es realizada durante 30 minutos a 300°F o a una temperatura equivalente a la temperatura de la formación, con una presión diferencial de 500 psi a través del papel filtro. Esta prueba puede ser realizada a temperaturas tan bajas como 200°F y tan altas como 450°F. El valor indicado del filtrado ATAP es igual a dos veces (2x) los centímetros cúbicos (cm³) del filtrado captado después de 30 minutos. Se debe doblar el volumen de filtrado porque la

superficie de filtración de la celda de filtración ATAP es igual a la mitad de la superficie de filtración de la celda de filtrado API. El espesor del enjarre ATAP depositado durante la prueba de filtración ATAP está indicado en 1/32 pulgada o en milímetros (mm). El receptor de filtrado para la prueba ATAP está presurizado para evitar la vaporización del filtrado calentado. Esta presión debe ser más alta que la presión de vapor de agua a la temperatura de prueba. A temperaturas de prueba de 300°F o menos, la presión del receptor alcanza 100 psi con la presión de la celda a 600 psi. Para temperaturas de prueba superiores a 300°F, la presión del receptor en la prueba ATAP debería ser determinada a partir de la presión de vapor de agua a la temperatura de prueba.

Se establece la presión de la celda o unidad superior a la presión del receptor más 500 psi para crear la presión diferencial estándar de 500 psi. Se usa un papel filtro especial a las temperaturas de prueba inferiores a 350°F. El papel filtro se carboniza (se consume) cuando las temperaturas se acercan a 400°F; discos de acero inoxidable deberían ser usados en lugar del papel filtro a temperaturas mayores de 350°F.

Otro tipo de prueba de filtración estática ATAP, el Aparato de Taponamiento de permeabilidad (PPA), es usado ocasionalmente para evaluar la tasa de filtración a través de núcleos simulados (discos de aloxita o cerámica). Esta prueba se llama Prueba de Taponamiento de Permeabilidad (PPT) y mide una "pérdida instantánea" y una pérdida de filtrado de 30 minutos a presiones muy altas (500 a 2.500 psi) y temperaturas elevadas. El PPA es una celda ATAP modificada con un pistón flotante y una cámara de lodo presurizada hidráulicamente. La unidad tiene el núcleo simulado en la parte superior de la celda y el filtrado es captado en la parte superior.

FILTRACIÓN DINÁMICA²

La filtración dinámica es sensiblemente diferente de la filtración estática, muchas veces con tasas de filtración considerablemente más altas. No existe ninguna correlación directa entre las medidas de filtración estática API y ATAP y la filtración dinámica. La experiencia ha demostrado que un lodo que demuestra buenas características de filtración estática y estabilidad tendrá un rendimiento satisfactorio bajo las condiciones reales de perforación, indicando que la pérdida de filtrado dinámica está comprendida dentro de un rango satisfactorio. La filtración comienza tan pronto como la barrena expone a la roca permeable. Un sobrebalance de la presión hidrostática causará el flujo inmediato del filtrado dentro de la formación a una velocidad elevada. A medida que la filtración continúa, los sólidos más grandes de lodo sellan las formaciones porosas y un enjarre empieza a formarse – bajo condiciones dinámicas. Como con la filtración estática, la permeabilidad del enjarre limita la filtración, no la permeabilidad de la formación. La turbulencia del flujo de fluido en la barrena y en las partes adyacentes a los pórtamelas tiende a mantener estas tasas de filtración a altos niveles, mediante la erosión del enjarre. Bajo condiciones dinámicas, las tasas de filtración no disminuyen con el tiempo, como con la filtración estática. Además, el espesor del enjarre no sigue aumentando. En cambio, se establece un equilibrio entre la deposición del enjarre y la erosión hidráulica, de manera que la tasa de filtración dinámica se vuelve más o menos constante. Puede que se trate menos de la erosión verdadera que de la tendencia del movimiento del fluido a impedir la deposición de las partículas sólidas de una manera organizada. El equilibrio del enjarre es determinado principalmente por las características de los sólidos del lodo (tamaño, composición y concentración de las partículas), y en menor parte por las condiciones hidráulicas (flujo turbulento o laminar) y la viscosidad del filtrado. Los enjarres dinámicos son más delgados y más sólidos que los enjarres estáticos. A medida que la perforación continúa, el pozo está sujeto a condiciones dinámicas. Una vez que los portamechas pasan más allá de la formación permeable, las condiciones de flujo laminar

normalmente predominan y las fuerzas de erosión hidráulica disminuyen. Bajo condiciones laminares, las tasas de filtración dinámica son considerablemente más bajas que bajo las condiciones turbulentas, y se puede hacer una correlación con las características de filtración estática. Durante las conexiones y los viajes, las condiciones estáticas depositan un enjarre estático y las tasas de filtración disminuyen (raíz cuadrada del tiempo). Cuando se reanuda la circulación, el enjarre estático depositado sobre el enjarre dinámico comienza a desgastarse (quizás totalmente, según las condiciones hidráulicas) hasta que se logre de nuevo el equilibrio a una tasa de filtración constante. Los estudios han identificado varias diferencias importantes entre la filtración dinámica y la filtración estática. Una diferencia es el efecto del aceite emulsionado u otros líquidos inmiscibles. Aunque estos líquidos insolubles reduzcan la pérdida de filtrado estática y el espesor del enjarre, en realidad aumentan la filtración dinámica al causar que el enjarre sea menos cohesivo y más erosionable. Otra diferencia es que el aumento de la concentración de polímeros de control de filtración para reducir la pérdida de filtrado API a niveles ultrabajos puede aumentar la filtración dinámica. Estas diferencias se deben principalmente a la modificación de la resistencia ante la erosión de los enjarres. Los enjarres dinámicos depositados por fluidos floculados son más gruesos pero más cohesivos que los enjarres depositados por fluidos desfloculados. La resistencia a la erosión de los enjarres floculados parece estar relacionada con los sólidos de arcilla que son mantenidos unidos por las cargas electrostáticas. Los enjarres de los fluidos desfloculados parecen ser más erosionables porque sus cargas son neutralizadas. Esto no significa que los fluidos floculados serían preferidos en lo que se refiere a la filtración dinámica. La alta tasa de filtración indeseable y el mayor espesor del enjarre anulan cualquier ventaja posible que sería obtenida con un enjarre más sólido y menos erosionable. Como con la filtración estática, los fluidos y los enjarres que contienen una cantidad suficiente de bentonita de alta calidad producen las más bajas tasas de filtración, los enjarres más delgados y las características globales de filtración más deseables.

FILTRADO DE FLUIDOS DE CONTROL BASE ACEITE Y SINTÉTICO¹

La pérdida de filtrado API de estos sistemas es generalmente nula, o demasiado baja para constituir una medida eficaz. La tasa de filtración de los lodos base aceite, salvo indicación contraria, se refiere a la filtración ATAP. Los antiguos sistemas base aceite estaban compuestos "totalmente de aceite" y no contenían ninguna salmuera. En general contenían de 1 a 5 por ciento en volumen de agua, como contaminante derivado de los fluidos de la formación. Los sistemas "totalmente de aceite" siguen siendo usados actualmente para aplicaciones especiales como la extracción de núcleos y cuando los cambios producidos por fuertes emulsificantes causan daños a la formación. Estos sistemas usan frecuentemente materiales asfálticos y arcilla organofílica para proporcionar el control de filtración y la viscosidad. Algunos sistemas usan modificadores de viscosidad diseñados para lubricar el aceite y otros productos químicos más complejos para la viscosidad y el control de filtración. La mayoría de los fluidos base aceite y sintético son emulsiones. Su fase fluida es una emulsión, con el aceite o el sintético como fase continua, y la salmuera como fase emulsionada. Estos sistemas contienen de 10 a 50 por ciento en volumen de salmuera, generalmente de cloruro de calcio. La salmuera emulsionada forma gotas coloidales que son inmiscibles en el aceite o sintético. Estas gotas de salmuera quedan atrapadas en el enjarre y reducen la permeabilidad del enjarre y la pérdida de filtrado. Los lodos de emulsión inversa pueden contener emulsificantes, agentes humectantes, arcillas organofílicas, asfaltos y/o lignito tratado con aminas, polímeros, cal y material densificante.

SALMUERAS DE REHABILITACIÓN Y TERMINACIÓN¹

Los términos "sin sólidos" y "clara" se usan frecuentemente para describir las salmueras usadas para perforar en zonas productivas, colocar filtros de grava y para otras operaciones de terminación y rehabilitación. Ocasionalmente, se usa carbonato de calcio y sal de granulometría determinada (cloruro de sodio) en estas salmueras para impedir la pérdida de circulación. Lo ideal sería que estas salmueras no contengan ningún sólido insoluble en ácido (arcillas, arena, barita, etc.). Las salmueras de cloruro de sodio, cloruro de calcio, bromuro de sodio, bromuro de calcio, y a veces bromuro de cinc son usadas para estas aplicaciones. Las salmueras de bromuro de cinc no se usan mucho porque son corrosivas y muy costosas. Las salmueras pueden aumentar la densidad para el control del pozo sin introducir sólidos que podrían producir daños a la formación. La alta salinidad también inhibe el hinchamiento de las arcillas de la formación. Aunque estas salmueras no sean tan dañinas a la formación como el agua dulce o el agua salada, su pérdida debe ser controlada. Los aditivos de control de filtración para estos sistemas se componen generalmente de polímeros y agentes puenteantes. El polímero más usado para la viscosidad es la Hidroximetilcelulosa (HEC). Los polímeros son usados para la viscosidad y el control de pérdida de filtrado. Los agentes puenteantes son necesarios para sellar las aberturas de la formación que son demasiado grandes para ser selladas por los polímeros. Patentados se encuentran molientes grandes, medianas y finas de partículas de granulometría determinada de carbonato de calcio (mármol o caliza) para ser usadas como agentes puenteantes. Los tamaños medianos típicos de partículas para estos productos son: grueso (104 micrones), mediano (43 micrones) y fino (13micrones). El tamaño medio de las partículas para un agente puenteante debería ser por lo menos igual a la mitad del tamaño de la abertura de poro. Como los tamaños de molienda cubren un rango más amplio que solamente los tamaños medianos de las partículas, las partículas de gran tamaño serán suficientes para iniciar la obturación.

CAPITULO III PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN

GENERALIDADES DE PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN²

Se trata de la pérdida del lodo hacia la formación expuesta al pozo. El flujo de lodo hacia la formación implica menos lodo volviendo por la línea de flote, que el bombeado al pozo. La reducción de flujo en el espacio anular, debido a la pérdida, puede causar muchos problemas, los recortes se pueden acumular en la zona de baja velocidad y como consecuencia originar un atropamiento de sarta. Además puede también bajar el nivel de lodo en el anular, con la consiguiente reducción de la presión hidrostáticas en el pozo.

En la sección de lutita, esta reducción en la presión hidrostática puede inducir a que las arcillas flojas se desmoronen haciendo que la herramienta quede atrapada. El pozo puede fluir si la presión hidrostática es menor a la presión de formación cuando la formación es permeable. Esto presenta una situación sumamente peligrosa, de pérdida de circulación en un pozo con flujo. Si este flujo se canaliza hacia la zona de pérdida, la situación se convierte en un reventón subterráneo. Un reventón subterráneo o una arena acuífera es peligrosa, pero peor sería si el flujo es gas o H₂S. El peligro se multiplica si hay solo una tubería de revestimiento instalada a poca profundidad. El fluido puede migrar hacia la superficie por alrededor de la tubería de revestimiento creando un cráter en la superficie, pudiendo provocar volcadura del equipo.

Como se menciona en la introducción, la inestabilidad del pozo, la tubería pegada, e incluso los reventones, son consecuencias de la pérdida de circulación. Por lo cual es importante impedir o remediar las pérdidas de lodo, además por la necesidad para otros objetivos de la perforación, como la obtención de una evaluación de la formación de buena calidad y el logro de una adherencia eficaz del cemento primario sobre la tubería de revestimiento.

La pérdida de circulación puede producirse de una de dos maneras básicas:

1. **Invasión** o pérdida de lodo hacia las formaciones que son cavernosas, fisuradas, fracturadas o no consolidadas.
2. **Fracturación** es decir la pérdida de lodo causada por la fracturación hidráulica producida por presiones inducidas excesivas (Figura 111.1).

Para que se pierda lodo hacia la formación se necesitan dos factores:

- 1.- Los orificios de la formación deben ser tres veces más grandes que la mayor de las partículas existentes en el lodo.
- 2.- La presión hidrostática debe ser mayor a la presión de la formación.

Las formaciones que se caracterizan por tener orificios grandes como para permitir pérdida de circulación son:

- 1).- formaciones no consolidadas o sumamente permeables.
- 2).- fracturas naturales.
- 3).- zonas cavernosas.
- 4).- fracturas inducidas.

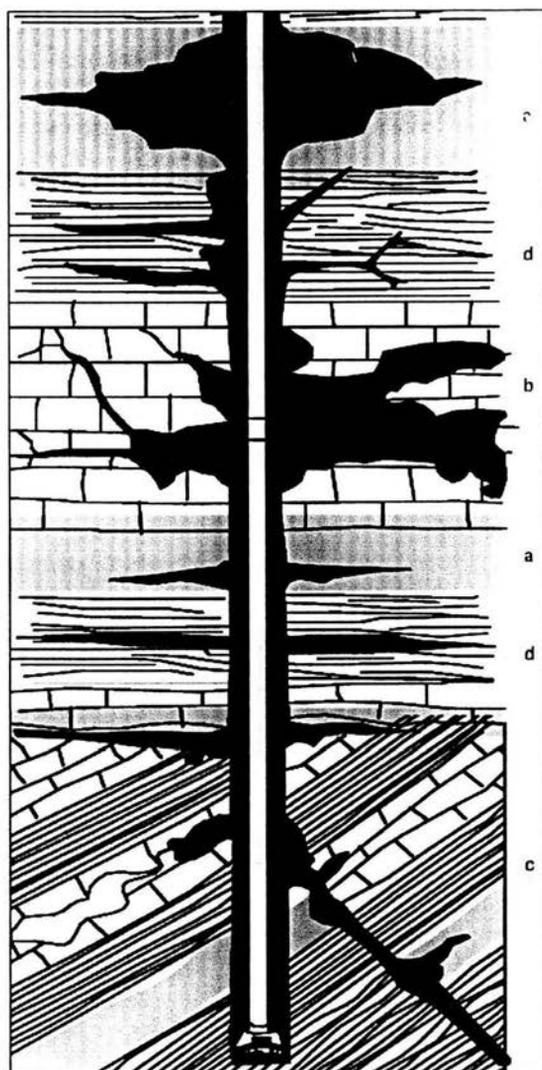


Figura 111. 1^a: Sección de pérdida de circulación:
a: Arenas no consolidadas y grava de alta permeabilidad.
b: Zonas cavernosas o fisuradas en carbonatos (caliza o dolomita).
c: Fracturas naturales, fallas y zonas de transición en carbonatos o lutitas duras.
d: Fracturas inducidas por el exceso de presión.

CAUSAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN²

1. Invasión. En muchos casos, la pérdida de circulación no se puede evitar en las formaciones que son cavernosas, fisuradas, fracturadas o no consolidadas. Las formaciones agotadas de baja presión (generalmente arenas) son similares en lo que se refiere al potencial de pérdida de circulación.

a. Las formaciones de grano grueso no consolidadas pueden tener una permeabilidad suficientemente alta para que el lodo invada la matriz de la formación, resultando en pérdida de circulación. Esta alta permeabilidad está frecuentemente presente en las arenas y los lechos de grava poco profundos. Las formaciones que eran arrecifes y bancos de ostras también tienen tendencias similares. También es importante impedir la pérdida de lodo en los intervalos poco profundos, ya que esto puede producir el socavamiento de estas formaciones no consolidadas, formando una gran cavidad menos estable que podría derrumbarse fácilmente bajo la acción de la sobrecarga y del peso del equipo de perforación.

b. Las formaciones agotadas (generalmente arenas) constituyen otra zona de pérdida potencial. La producción de formaciones que están ubicadas en el mismo campo, o que están muy próximas las unas de las otras, puede causar una presión de la formación por debajo de lo normal (agotada), debido a la extracción de los fluidos de la formación. En tal caso, los pesos de lodo requeridos para controlar las presiones de las otras formaciones expuestas pueden ser demasiado altos para la formación agotada, forzando el lodo a invadir la formación agotada de baja presión (ver Figura 111.2). Si se produjera esta situación, planes deberían ser formulados para impedir la pérdida de circulación y evitar la pegadura de la tubería en la formación agotada. Agentes puenteantes y materiales de relleno especiales deberían ser usados para formar un buen sello y un buen enjarre en la zona agotada.

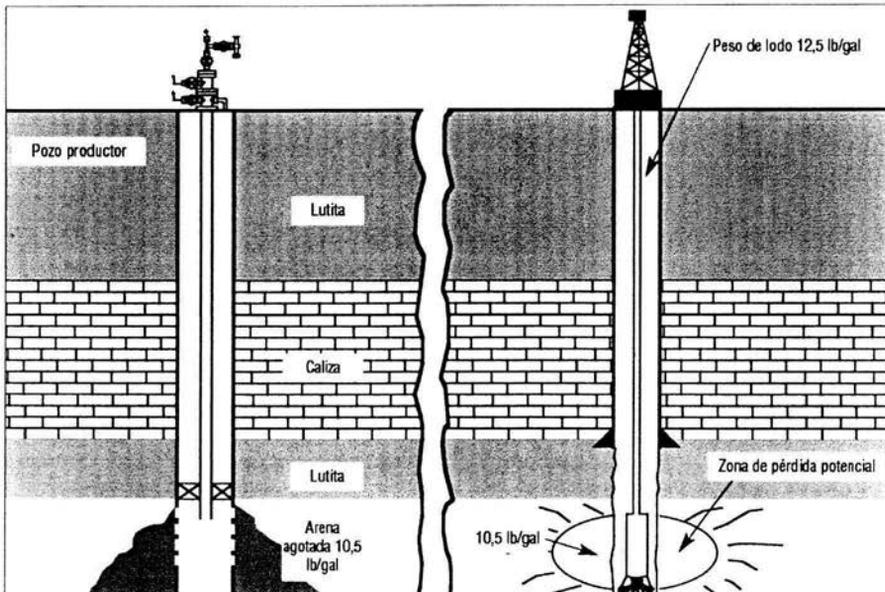


Figura 111.2: Arena agotada.

c. Las zonas cavernosas o fisuradas están generalmente relacionadas con las formaciones volcánicas o de carbonatos (caliza y dolomita) de baja presión. En la caliza, las fisuras son creadas por el flujo continuo anterior de agua que disolvió parte de la matriz de la roca (lixiviación), creando un espacio vacío que suele llenarse ulteriormente de aceite. Cuando estas formaciones fisuradas son perforadas, la columna de perforación puede caer libremente a través de la zona vacía y se suele sufrir una pérdida rápida de lodo. El volumen y la persistencia de este tipo de pérdida depende del grado de interconexión entre las fisuras. Fisuras y cavernas similares pueden aparecer durante el enfriamiento del magma o ceniza

volcánica. Las formaciones cavernosas y fisuradas son frecuentemente fáciles de localizar a partir de los pozos de referencia y predecir a partir de los registros de lodo y de la litología.

d. La pérdida de lodo también puede ocurrir hacia las fisuras o fracturas de los pozos donde no hay ninguna formación de grano grueso permeable o cavernosa.

Estas fisuras o fracturas pueden ocurrir naturalmente o ser generadas o ampliadas por presiones hidráulicas. En muchos casos hay fracturas naturales que pueden ser impermeables bajo las condiciones de presión balanceada. Las pérdidas también pueden producirse en los límites no sellados de las fallas.

2. Fracturación. La fracturación hidráulica comienza y la pérdida de circulación ocurre cuando se alcanza o se excede una determinada presión crítica de fractura. Una vez que una fractura ha sido creada o abierta por una presión, puede que sea difícil repararla ("cerrarla") y es posible que no se pueda restablecer la integridad original de la formación, como se demostrará a continuación en la Figura 111.5. La pérdida de circulación puede persistir, aunque la presión sea reducida más tarde. Ésta es una de las razones por las cuales es mejor pretratar e impedir la pérdida de circulación que permitir que ocurra. La pérdida de circulación que resulta de la presión inducida suele ser causada por una de dos situaciones:

a. Colocación incorrecta de la tubería de revestimiento intermedia. Si se coloca la tubería de revestimiento encima de la zona de transición, pasando de presiones normales a presiones anormales, las presiones ejercidas por el lodo más pesado (requerido para balancear las presiones crecientes) inducirá frecuentemente la fracturación en el asiento débil de la zapata. Las pérdidas causadas por la fracturación ocurren generalmente cerca del asiento de la zapata anterior, y no a la profundidad de la barrena, aunque la tubería de revestimiento haya sido colocada correctamente.

b. Las presiones de fondo excesivas resultan de muchas condiciones, incluyendo:

i. Fuerzas mecánicas.

a) Hidráulica inapropiada. Caudales y velocidades de bombeo excesivos, causando altas presiones de Densidad Equivalente de Circulación (ECD).

b) Prácticas de perforación.

1) Aumento demasiado rápido de las velocidades de bombeo después de realizar las conexiones y los viajes. Esto puede ser extremadamente importante para tratar los fluidos base aceite. Si no se aumenta lentamente la velocidad de las bombas, las presiones de circulación impuestas sobre la formación pueden ser mucho más altas, ya que los lodos base aceite tienen tendencia a diluirse a las temperaturas más altas generadas durante la circulación, y a espesarse a las temperaturas más bajas producidas durante los viajes. No es raro que las presiones de circulación disminuyan en más de 100 psi mientras que el lodo se calienta hasta lograr la temperatura de circulación.

2) Subir o bajar la tubería demasiado rápido (suabeo/pistoneo).

c) Atravesar sin perforar puentes.

d) La Velocidad de Penetración (ROP) excesiva para un caudal determinado resultará en una alta concentración de recortes en el fluido anular, causando una alta ECD.

e) Golpeteo de la tubería.

ii. Condiciones del pozo.

a) Desprendimiento de la lutita o aumento de la carga de sólidos en el espacio anular y alta densidad equivalente de circulación.

b) Acumulación de recortes en una porción derrumbada del pozo o en el lodo.

c) Camas de recortes o asentamiento de barita en la parte inferior de un pozo direccional, o posible caída.

- d) Puentes.
- e) **Amagos** (surgencias imprevistas de presión) y procedimientos de control de pozo.

iii. Propiedades del lodo.

- a) Viscosidades y esfuerzos de gel excesivos.
- b) Acumulación de sólidos perforados
- c) Enjarres gruesos que reducen el diámetro hidráulico del pozo.
- d) Densidad excesiva del lodo o aumento demasiado rápido de la densidad del lodo.
- e) Columnas de lodo desbalanceadas.
- f) Asentamiento de barita.

PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN ASOCIADO A UN BROTE⁷

Si la pérdida de circulación se presenta durante el proceso de perforación, se corre el riesgo de tener un brote y este se incrementa al estar en zonas de alta presión o en el yacimiento, en pozos delimitadores o exploratorios. Al perderse la columna de lodo, la presión hidrostática disminuye al punto de permitir la entrada de fluidos de la formación al pozo, ocasionando un brote. Para reducir las pérdidas de circulación se recomiendan las siguientes prácticas:

- Emplear la densidad mínima que permita mantener un mínimo de sólidos en el pozo.
- Mantener la reología del lodo en condiciones óptimas.
- Reducir las pérdidas de presión en el espacio anular
- Evitar incrementos bruscos de presión.
- Reducir la velocidad al introducir la sarta

La pérdida de circulación es uno de los problemas mas serios que puede ocurrir durante el control de un brote, debido a la incertidumbre que se tienen en las presiones de cierre. Para el caso de pérdida parcial se puede emplear la preparación de lodo con volúmenes de obturante. En pérdida de circulación total y cuando se tenga gas, la solución es colocar tapones de barita en la zona de pérdida en unos 100 metros de agujero. Para flujos de agua se recomienda colocar un tapón de diesel, bentonita y cemento (Ver mas detalle en el capítulo IV).

PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN EN ZONA PRODUCTORA⁶

Esta puede producir serio daño a la formación, reducir la producción del yacimiento y por lo tanto cuasar un serio daño económico. En este caso para combatir la pérdida de circulación, lo más aconsejable es formular un volumen que no ocasione daño a la formación, pero que solucione el problema con la misma eficiencia que los otros métodos. Estos materiales deberán ser degradables o solubles en soluciones débiles de ácido para no causar daño a la formación. Por ejemplo, carbonato de calcio en diferentes granulometrías

MEDIDAS PREVENTIVAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACION³

Una buena planificación y prácticas de perforación apropiadas son los factores claves para impedir la pérdida de circulación, minimizando las presiones excesivas sobre la formación. Varias medidas pueden ser tomadas para impedir o minimizar la pérdida de circulación:

1. **Colocar la tubería de revestimiento en la zona apropiada**, de manera que el gradiente de fractura de la formación en la zapata de cementación de la tubería de revestimiento sea suficiente para soportar el cabezal hidrostático de los lodos más pesados que son requeridos para balancear las presiones en las formaciones subyacentes.

2. Minimizar las presiones de fondo.

a. El movimiento de la tubería no debería exceder las velocidades críticas durante los viajes. Cuando se mete la columna de perforación dentro del pozo, la presión aumenta bruscamente debido al efecto de pistoneo de la barrena y de los portamechas, lo cual aumenta la presión ejercida sobre el fondo del pozo. Las buenas prácticas de perforación mantendrán estos aumentos bruscos de la presión al nivel de las presiones de fractura y de formación, de la manera ilustrada en la Figura 111.3. Muchos pozos sufren la pérdida de circulación mientras

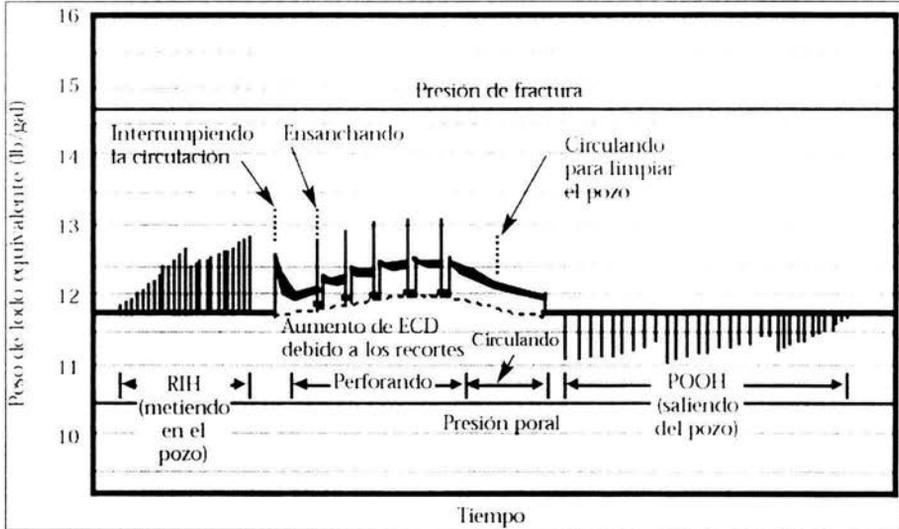


Figura 111.3: Presión de fondo para el ciclo normal de perforación (según Clark).

se mete la tubería de perforación o la tubería de revestimiento en el pozo. La longitud de la tubería en el pozo afecta la magnitud del aumento brusco de presión. Las pruebas indican que el flujo de lodo a lo largo de la tubería crea la mayor parte del aumento brusco de presión. Cuanto más larga sea la tubería, más grande será el aumento brusco de presión. Por lo tanto, cuanto más profundo sea el pozo, más lento debe ser la velocidad de introducción de la tubería en el pozo, a medida que la profundidad de la barrena aumenta. Los espacios libres anulares más pequeños también aumentan las presiones de surgencia, más o menos de la misma manera que las pérdidas de presión anulares aumentan cuando se reducen los espacios libres anulares (ver figura 111.4).

b. El movimiento rápido de la tubería durante la circulación también causa aumentos bruscos de presión aún más grandes. La introducción rápida de la tubería o el ensanchamiento rápido durante la circulación puede crear grandes presiones de surgencia.

c. Una ROP muy alta aumenta la carga de recortes en el espacio anular, produciendo un aumento de la ECD; por lo tanto, será más probable que cualquier otro aumento brusco de la presión en las conexiones cause la fracturación, de la manera indicada en la Figura 111.5. Es importante controlar la ROP y circular antes de realizar las conexiones, cuando la ECD se aproxima a la presión de fractura. Mantener la concentración de recortes en el espacio anular por debajo de 4% para minimizar el efecto de los recortes sobre la ECD.

d. El arranque o la parada rápida de las bombas de lodo puede causar aumentos bruscos de la presión. Al arrancar las bombas demasiado rápido, se crea una presión que puede causar la pérdida de circulación, especialmente cuando se interrumpe la circulación en el fondo después de realizar un viaje. Parte del aumento brusco de la presión será creado por la presión

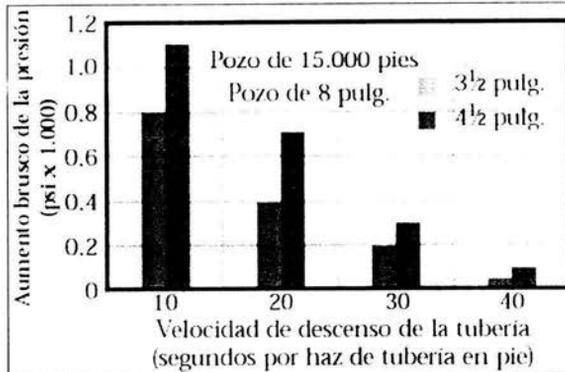


Figura 111.4: Efecto de la velocidad de descenso de la tubería y del espacio libre anular sobre los aumentos bruscos de presión.

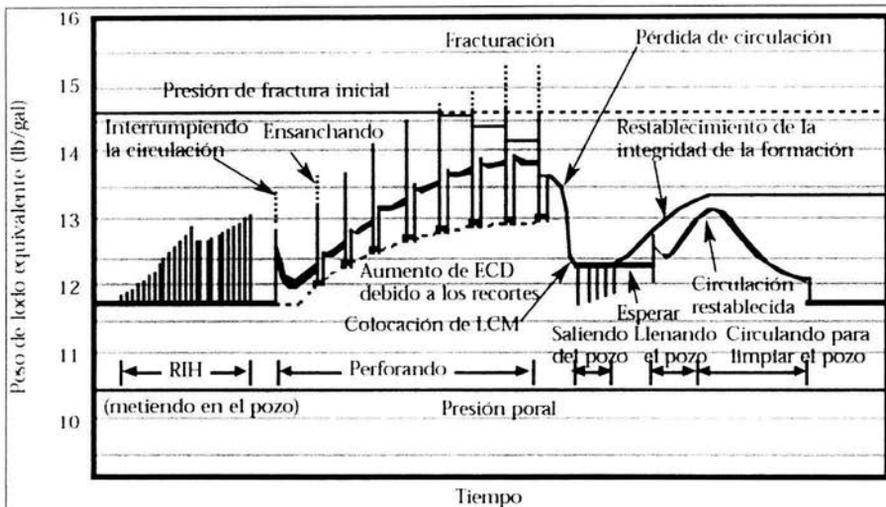


Figura 111.5: Ciclo de perforación causando la fracturación y el restablecimiento subsiguiente de parte de la integridad de la formación (según Clark).

requerida para romper la estructura de gel de lodo. La rotación de la tubería al iniciar la circulación ayudara a romper los esfuerzos de gel y reducirá considerablemente la presión de surgencia. El resto del aumento brusco de presiones causado por la presión requerida para acelerar la columna de lodo para alcanzar la velocidad normal de circulación. Manteniendo una baja estructura de gel y aumentando gradualmente la velocidad de bombeo, será posible reducir este tipo de presión de surgencia. Estas presiones pueden ser minimizadas mediante la interrupción de la circulación en varios intervalos durante los viajes dentro del pozo.

e. Usar suficientes portamechas para mantener el punto neutro en el Conjunto de Fondo (BHA) para minimizar el golpeteo de la columna de perforación.

f. Durante la fase de planificación del pozo, sería necesario diseñar las tuberías de revestimiento a la columna de perforación de manera que permitan una operación apropiada, segura, y también para optimizar la hidráulica de manera que se obtenga una buena limpieza

del pozo y una ECD mínima, especialmente en las áreas sensibles.

g. Lavar y ensanchar con cuidado a través de los puentes.

h. Evitar los amagos, si es posible. La presión estática del pozo cerrado en la superficie es transmitida dentro del pozo, muchas veces fracturando la formación en su punto más débil.

Esto resulta no solamente en la pérdida de circulación, sino también en la pérdida de control del pozo. La posibilidad y severidad de un amago puede ser minimizada mediante la investigación, la planificación del pozo y la ejecución apropiada de las operaciones. Las personas responsables de la operación en el pozo siempre deben estar conscientes de la presión y de volumen máximos de cierre de la tubería de revestimiento. El volumen del fluido intrusivo esta relacionado con las presiones estáticas del pozo cerrado y debería ser minimizado. Si se debe cerrar un pozo, será necesario usar los procedimientos apropiados para matar el pozo, de manera que se pueda mantener la presión de fondo constante correcta, requerida para matar el pozo.

i. Controlar las propiedades del lodo dentro de los rangos apropiados.

í. La viscosidad alta y los esfuerzos de gel altos aumentan las presiones de surgencia cada vez que se interrumpe y se restablece la circulación (ver figura 111.6). También aumentan la ECD durante la perforación. Estos valores deberían ser optimizados para asegurar una buena limpieza del pozo y una buena suspensión de los sólidos, y para minimizar la ECD y las presiones de surgencia y pistoneo. Muchas veces, las propiedades del lodo no se pueden

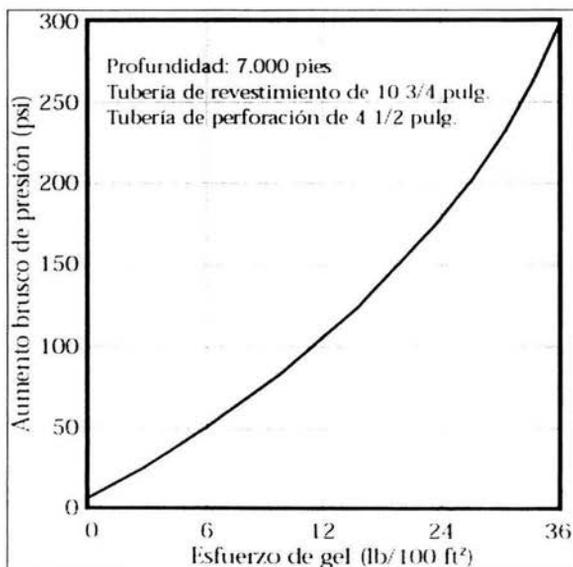


Figura 111.6: Efecto del esfuerzo gel sobre el aumento Brusco de presión.

mantener a un nivel que permita obtener una limpieza adecuada del pozo, debido a otras consideraciones de operación. La mejor manera de mejorar la limpieza del pozo es aumentando los caudales y ejecutando una rotación agresiva de la tubería de perforación. Se recomienda realizar barridos de alta viscosidad cuando la buena limpieza del pozo está en duda. Estos barridos son generalmente realizados con el lodo del sistema activo que ha sido viscosificado mediante adiciones de bentonita, polímeros o Material de Pérdida de circulación (LCM). En muchos casos se prefiere usar LCM en estos barridos, ya que este material es

filtrado en la superficie y no tiene ningún efecto permanente sobre la viscosidad del lodo. Puede que sea necesario controlar la ROP si no se puede lograr una limpieza eficaz del pozo. Aunque esto pueda prolongar el tiempo de rotación, en general su costo será inferior al costo generado por la pérdida de retornos.

ii. Controlar los sólidos perforados al nivel más bajo posible y añadir el tratamiento apropiado para minimizar la acumulación del enjarre. Todo lo que puede reducir el espacio anular causa un aumento de la presión. El embolamiento de la barrena, los portamechas, los estabilizadores o las juntas de tubería de perforación reduce el espacio anular. En caso de embolamiento extremo de la barrena y/o estabilizador, la formación será sometida a una presión considerable. El aumento del arrastre o pistoneo en las conexiones puede indicar el embolamiento. A veces la bola puede ser bombeada a través de una barrena, pero si esto no da resultados, será necesario evitar la práctica normal de iniciar la perforación con la barrena. La combinación del espacio libre anular reducida y del suabeo de la tubería puede causar una presión que excede la presión de fractura.

iii. Los lodos de alto filtrado depositan un enjarre grueso que puede reducir el espacio anular. El espacio anular reducida aumenta la ECD. Por lo tanto, el filtrado y el espesor del enjarre siempre deben ser controlados dentro del rango apropiado. El lodo que desarrolla un enjarre delgado y resistente es más eficaz para impedir la pérdida de circulación hacia pequeñas fracturas o poros.

iv. Perforar con una densidad de lodo mínima. Esto no sólo mejora la ROP, también reduce otros efectos relacionados con el lodo.

v. La selección correcta del tamaño de los materiales puenteantes ayuda a reducir y eliminar las pérdidas de lodo hacia las formaciones porosas. La selección de estos agentes puenteantes depende de las características de la formación. En general, las partículas cuyo tamaño está comprendido entre un tercio y la mitad de la raíz cuadrada de la permeabilidad en milidarcy's (md) deberían ser capaces de obturar estas formaciones.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA³

Cuando se observa inicialmente la pérdida de circulación, las condiciones que existían en el momento en que la pérdida ocurrió deben ser registradas con precisión y estudiadas. Se debería tomar en cuenta el momento del incidente (durante la perforación, circulación o los viajes), el tipo de pérdida (infiltración, parcial o completa) y la severidad de la pérdida respecto a las formaciones expuestas. Esta información ayudará a determinar la causa de la pérdida, la posición en el pozo donde ocurrió la pérdida y el mejor remedio para la situación. La posición probable de la zona de pérdida puede ser determinada a partir de la información disponible en el equipo de perforación. Por ejemplo:

1. Información sobre la formación.

a. Las formaciones de carbonato contienen zonas cavernosas y fisuradas. Este tipo de pérdida sería indicado por una pérdida rápida, grande y acompañada por una caída de la columna de perforación.

b. Las formaciones de lutita tienden a fracturarse de una manera que puede constituir un tipo de pérdida más lenta. Esta pérdida debe ser controlada rápidamente, ya que si no lo es, causará la ampliación de la fractura y perjudicará la integridad de la formación.

c. Un cambio de la velocidad de perforación puede indicar un cambio de formación, posiblemente acompañado de un cambio de la integridad de la formación.

2. Información sobre las operaciones.

a. Algún tipo de pérdida de circulación inducida por la presión hidráulica sería indicado por el aumento del peso del lodo en el momento de la pérdida. Este tipo de pérdida puede sellarse

por sí misma (infiltración) o requerir un tratamiento (fractura inducida), según la severidad de la pérdida.

b. El movimiento rápido de la columna de perforación causará aumentos bruscos de la presión que pueden causar fracturas o abrir de nuevo las zonas de pérdidas previamente selladas. A menos que una zona de pérdida previamente sellada haya sido sometida a una prueba de presión, siempre se debe suponer que esta área sigue siendo una fuente potencial de pérdida. La velocidad a la cual la tubería se mueve durante los viajes y durante el ensanchamiento debería ser ajustada para compensar esta debilidad. Al contar con la información descrita anteriormente, se puede tomar una decisión mejor fundada, en lo que se refiere a las medidas apropiadas para eliminar las pérdidas.

DETECCIÓN DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN⁶

Una detección oportuna y un análisis de la información, ayudara a determinar el tipo de pérdida que se esta sufriendo; con base a ello, se podrán recomendar las acciones que se deban tomar para la solución del problema. Al presentarse un problema de pérdida de circulación, durante la perforación, se deberán tener en cuenta los siguientes factores:

- ¿Se observa una disminución en el caudal de flujo?
- ¿Se observa una disminución de volumen en las presas?
- ¿La disminución fue: lenta, rápida o total?
- ¿Se detecta una disminución en la sarta?
- ¿Hubo una disminución en la presión de la bomba?
- ¿Al parar la bomba el pozo permanece lleno de lodo o no?
- ¿Si el nivel disminuye es posible llenarlo?
- ¿Si no es posible llenar, hasta donde disminuye el nivel?
- ¿En caso de llenarlo es posible con agua?
- ¿Cuál es el grado de la pérdida de circulación?

LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE PÉRDIDA⁶

Es muy importante restablecer la circulación lo antes posible, ya que la pérdida de circulación aumenta el costo del lodo y puede causar otros problemas del pozo que resultan en costos adicionales de operación.

1. Localizar el punto exacto de la pérdida de circulación.

Contrariamente a la opinión común, la mayoría de las pérdidas no ocurren en el fondo del pozo. Se ha determinado que más de la mitad de las pérdidas ocurren justo debajo de la zapata de la última tubería de revestimiento. Varios métodos están disponibles para localizar el punto de la pérdida de circulación. Éstos incluyen:

a.- Estudio de la ubicación de la zona de pérdida. El estudio de la ubicación de la zona de pérdida se lleva a cabo introduciendo un pequeño girador en el pozo con un cable monofilar, de tal manera que el rotor de aletas girará o rodará si hay algún movimiento horizontal del lodo. La velocidad (RPM) del rotor se registra en una película mediante una serie de rayas o espacios. La velocidad será muy lenta hasta que se alcance el punto de pérdida. La velocidad del rotor aumentará claramente al punto de pérdida. Este método tiene dos inconvenientes:

- i.* Requiere la pérdida deliberada de grandes volúmenes de lodo.
- ii.* No es eficaz cuando el lodo ya contiene material puenteante.

b. Estudio de temperaturas. Este estudio depende de un termómetro subsuperficial para medir la diferencia entre la temperatura del lodo y la temperatura de la formación. Este se lleva a cabo introduciendo en el pozo un elemento sensible que cambia su resistencia a

medida que la temperatura cambia. Se realizan dos estudios. El primero tiene por objeto establecer el gradiente de temperatura del pozo una vez que el lodo está en equilibrio con la formación. El segundo estudio se realiza inmediatamente después de añadir nuevo lodo frío al pozo. Esto producirá una cierta discrepancia entre las temperaturas al punto de pérdida.

c. Estudio con trazador radioactivo. Los estudios radiactivos para localizar el punto de pérdida consisten en realizar dos estudios de rayos gamma. Se efectúa un registro de base antes de introducir el material radioactivo. Luego se bombea una píldora de lodo que contiene material radioactivo dentro del pozo y se realiza otro registro. Las altas concentraciones de material radioactivo estarán ubicadas en el punto de pérdida. Este método proporciona información precisa para localizar el punto de pérdida, pero requiere equipos costosos y la pérdida deliberada de lodo para obtener la información deseada.

d. Estudio de temperatura con cable. La herramienta estudio de temperatura con cable se compone esencialmente de una resistencia de alambre calibrada que es sensible a los cambios de temperatura. Se introduce la herramienta hasta el punto deseado en el pozo y se registra la resistencia. Luego se bombea lodo dentro del pozo. Si la herramienta está ubicada encima del punto de pérdida, el lodo circulará a través de ésta, produciendo un cambio de la resistencia. Si la resistencia no cambia, la herramienta está ubicada debajo del punto de pérdida. La herramienta puede ser usada en cualquier tipo de lodo, pero se requiere una gran cantidad de lodo para realizar este estudio.

e. Estudio con transductor para medir presiones. Este tipo de estudio incluye el uso de un cilindro corto, abierto en su parte superior y con diámetro reducido en su parte inferior para restringir el flujo de lodo a través del tubo. Se instala una ventana provista de un diafragma de neopreno en un lado del tubo. Un electrodo realiza un movimiento de vaivén entre los dos electrodos fijos en el diafragma. La diferencia de presiones a través del diafragma produce una variación del potencial (voltaje) en el circuito eléctrico, indicando la velocidad de flujo del lodo y el punto en que el lodo se vuelve estático. Este método parece ofrecer ciertas ventajas:

- Se trata de un método de construcción y operación simples.
- No queda fácilmente obturado por material de pérdida de circulación
- Puede ser usado en prácticamente cualquier tipo de lodo.
- Puede ser usado para localizar un agujero dentro de la tubería de revestimiento.

Dos de los inconvenientes aparentes son:

- Se requiere un flujo de lodo importante.
- Puede que no sea fácil conseguir el equipo necesario.

Aunque sea generalmente aconsejable localizar la zona de pérdida, varios factores hacen que los estudios no sean realizados con más frecuencia:

i. Se pierde mucho tiempo para hacer llegar los equipos necesarios al equipo de perforación, y estos estudios requieren una pérdida deliberada de lodo.

ii. A veces los resultados de estos estudios son difíciles de interpretar.

iii. Las condiciones no son siempre propicias para la introducción de las herramientas, debido a presiones subsuperficiales anormales.

2. Determinar la severidad de la pérdida. Los mejores indicadores de la severidad de la pérdida son la cantidad de pérdida y la altura de la columna de lodo estático. Si la altura de la columna de lodo estática no es visible, puede ser determinada mediante la introducción de un pedazo de madera (4 pulg. x 4 pulg. x 4 pies) con un cable de alambre. Otra opción consiste en usar un dispositivo de medición por ecosónico.

CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN⁶

- i. Zonas de pérdida por infiltración (1 a 10 bl/hora).
- ii. Zonas de pérdida parcial (10 a 500 bl/hora).
- iii. Zonas de pérdida total (pozo lleno hasta el nivel de lodo de 200 a 500 pies).
- iv. Zonas de pérdida parcial o total hacia fracturas inducidas profundas.
- v. Zonas de pérdida total grave (pozo lleno hasta el nivel de lodo de 500 a 1.000+ pies).

3. Determinar el tipo de pérdida. Éste será determinado mejor por la litología. La pérdida de circulación, en lo que se refiere a la litología, se describió anteriormente en la sección sobre "Causas de la Pérdida de Circulación". Estas clasificaciones pueden ser relacionadas con los cuatro tipos de formación donde se producen las pérdidas de lodo (ver Figura 111.1).

a.- Pérdidas en formaciones poco profundas no consolidadas donde la permeabilidad de la roca puede exceder 14 darcys (ver "a" en la Figura 111.1).

Características de identificación.

- i. Registros de pozos vecinos que identifican la zona y sus características.
- ii. Reducción gradual del nivel del lodo en los tanques.
- iii. La pérdida puede ser total si se sigue perforando.

b.- Pérdidas en formaciones que tienen fracturas naturales como la caliza y algunas formaciones de lutita dura (ver "c" en la Figura 111.1).

Características de identificación.

- i. Registros de pozos vecinos e indicadores geológicos.
- ii. Pueden ocurrir en cualquier tipo de roca dura, quebradiza.
- iii. Pérdida marcada por la disminución gradual del nivel de lodo en los tanques.
- iv. La pérdida puede ser total si se sigue perforando y se exponen otras fracturas.

c. Pérdidas en fracturas inducidas a través de los esfuerzos mecánicos o hidráulicos ejercidos sobre la formación (ver "d" en la Figura 111.1).

Características de identificación.

- i. Registros de pozos vecinos que incluyen una hidráulica anular excesiva.
- ii. Podrían ocurrir en cualquier tipo de roca, pero serían anticipadas en las formaciones que tienen planos típicamente débiles, como las lutitas blandas.
- iii. La pérdida suele ser repentina y total.
- iv. La pérdida puede seguir cualquier aumento del peso del lodo o aumento brusco de la presión.
- v. Pueden ocurrir en formaciones competentes o incompetentes.

d. Pérdidas en zonas cavernosas normalmente limitadas a caliza (ver "b", Figura 111.1)

Características de identificación.

- i. Normalmente limitadas a caliza y dolomita.
- ii. La pérdida de retornos suele ser repentina y total.
- iii. La barrena puede caer de unas cuantas pulgadas a unos cuantos pies justo antes de la pérdida.
- iv. Se puede sufrir un torque excesivo antes de la pérdida.

Clasificación de la Pérdida Mediante la Determinación de la Presión Dentro de la Zona⁵

a.- Colocar la parte inferior de la tubería de perforación en la parte superior de la zona de pérdida anticipada.

b.- Atar un pedazo de madera de longitud apropiada de aproximadamente 4 pies al cable de registro del equipo de perforación e introducirlo a través de la tubería de perforación hasta que se encuentre el nivel de fluido estático. También se puede usar un dispositivo de medición por

ecosónico para localizar el nivel de fluido.

c.- Luego se calcula la presión dentro de la zona de pérdida de la siguiente manera:

$$P_z = (D_z - D_f)(MW_p)(0,052)$$

Donde:

P_z = Presión de la zona de pérdida (psi)

D_z = Profundidad Vertical Verdadera (TVD) de la zona de pérdida (pies)

D_f = Descenso del nivel de fluido dentro de la tubería de perforación (pies)

MW_p = Densidad del fluido dentro de la tubería de perforación (lb/gal)

d.- La densidad de lodo estático que la zona puede soportar se calcula de la siguiente manera:

$$MW_z = \frac{P_z}{(0,052 \times D_z)}$$

Donde: MW_z = Peso de lodo que la zona puede soportar (lb/gal)

CORRELACIÓN ENTRE TÉCNICA Y SEVERIDAD⁶

La mejor manera de enfocar el control de pérdida de circulación es evaluando la severidad de una zona de pérdida y estableciendo una correlación entre ésta, la técnica y el material de remediación, en lo que se refiere al tamaño del material y a su función.

1.- Las pérdidas por infiltración pueden producirse en cualquier tipo de formación cuando los agentes puenteantes no son lo suficientemente grandes para formar un sello (ver Figura VI.2a), cuando no hay partículas finas para completar el sello.

a. La técnica de sacar la tubería y esperar debería ser la primera técnica usada para tratar de restablecer retornos completos (ver la técnica de sacar la tubería y esperar, capítulo IV).

b. Si el pozo no permanece lleno durante el tiempo de espera, se debería considerar la técnica de mezclar una lechada de LCM que contiene agentes puenteantes finos a medianos o el uso de una inyección de presión de lechada de alta pérdida de filtrado, (Ver capítulo IV).

c. Reducir el peso del lodo, si es posible.

2. Pérdidas parciales ocurren en grava, pequeñas fracturas naturales y fracturas inducidas apenas abiertas (ver la Figura 111.1). Las mismas técnicas usadas en las pérdidas por infiltración deberían ser usadas en las pérdidas parciales.

a. La técnica de sacar la tubería y esperar debería ser la primera técnica usada para tratar de restablecer retornos completos (ver la técnica de sacar la tubería y esperar, capítulo IV).

b. Si el pozo no permanece lleno durante el tiempo de espera, se debería considerar la técnica de mezclar una lechada de LCM que contiene una mezcla de agentes puenteantes medianos a grandes o el uso de una inyección de presión de lechada de alta pérdida de filtrado, (ver capítulo IV).

c. Reducir el peso del lodo, si es posible.

3. Las pérdidas totales ocurren en secciones de grava largas y abiertas, intervalos largos de pequeñas fracturas naturales, grandes fracturas naturales o fracturas inducidas abiertas (ver Figura 111.1).

a. La técnica de sacar la tubería y esperar debería ser la primera técnica usada para tratar de restablecer retornos completos (ver la técnica de sacar la tubería y esperar, capítulo IV).

b. Usar la técnica de inyección de presión de lechada de alta pérdida de filtrado (ver la técnica de inyección de presión de alta pérdida de filtrado, capítulo IV).

c. Si esta técnica no restablece los retornos, se recomienda usar un tapón duro como un tapón de cemento, cemento-bentonita, cemento-gilsonita o aceite diesel-bentonita- cemento (ver las

técnicas para lechadas de cemento, capítulo IV).

d. Reducir el peso del lodo, si es posible.

4. Pérdida parcial o total a fracturas inducidas profundas.

a. La técnica de sacar la tubería y esperar (4 a 8 horas) debería ser la primera técnica usada para tratar de restablecer retornos completos, (ver capítulo IV).

b. Aplicar una inyección de presión de tapón blando. (ver capítulo IV).

c. Si el pozo no permanece lleno durante el tiempo de espera, se debería considerar la técnica de mezclar una lechada de LCM que contiene una mezcla de agentes puenteantes grandes o el uso de una inyección de presión de lechada de alta pérdida de filtrado. (Ver capítulo IV)

d. Reducir el peso del lodo, si es posible.

5. Las pérdidas totales graves ocurren en grandes fracturas naturales abiertas, cavernas y fracturas inducidas abiertas.

a. Inyectar una lechada de alta pérdida de filtrado o grandes cantidades de lechadas de aceite diesel-bentonita-cemento (ver capítulo IV).

b. Si las pérdidas totales graves siguen ocurriendo al penetrar en otras cavernas o fracturas naturales abiertas, la técnica de perforación ciega o con lodo aireado y colocación de la tubería de revestimiento debería ser considerada (ver capítulo IV).

c. Reducir el peso del lodo, si es posible.

CAUSAS QUE IMPIDEN EL RESTABLECIMIENTO DE LA CIRCULACIÓN*

Algunas de las causas más comunes que impiden, directa o indirectamente, el control de la pérdida de circulación son:

1. La ubicación de la zona de pérdida no ha sido determinada; como resultado, los materiales son colocados en la posición incorrecta. En general, las zonas de pérdida no están en el fondo, sino cerca del último asiento de la zapata o punto de pérdida de circulación.

2. Los materiales de pérdida de circulación no se ajustan sistemáticamente al tipo y a la severidad de la zona de pérdida. Debe haber una mezcla de tamaños de partículas para iniciar y propagar un sello eficaz.

3. A veces hay cierta renuencia a usar la técnica requerida para tratar la severidad de la zona de pérdida (Perforación ciega y colocación de la tubería).

4. No se tienen registros precisos que describan las pérdidas, así como los materiales y las técnicas usados contra éstas. Los registros precisos de las experiencias adquiridas en un área determinada son valiosos.

5. Durante la cementación, las columnas no están balanceadas y el lodo de perforación pasa a través del tapón antes de que éste se fragüe. Además, cuando se retira la tubería del pozo después de colocar la lechada, el nivel de lodo en el espacio anular descende y el lodo de la formación puede pasar a través de la lechada recién colocada. Las técnicas de columnas balanceadas y de bajar tapón deberían ser usadas (Ver capítulo IV).

6. La integridad de la formación es demasiado débil para soportar la presión hidrostática de la columna de fluido necesaria para controlar la presión en otras zonas expuestas.

Para ser eficaces, las técnicas y los materiales de pérdida de circulación deben estar relacionados funcionalmente con las pérdidas que deben remediar. Por ejemplo, cuando una cantidad razonable (15 a 20 lb/bl) de LCM no ha producido resultados en una lechada de alta pérdida de filtrado, será generalmente inútil usar concentraciones más altas de los mismos materiales o de materiales similares. El siguiente paso debería ser aumentar el tamaño de los materiales puenteantes.

OBSERVACIÓN: *No se puede poner demasiado énfasis en la necesidad de adaptar la técnica de pérdida de circulación a la severidad de la zona de pérdida.*

CAPITULO IV

TÉCNICAS DE SOLUCION A PROBLEMAS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN⁶

TÉCNICA DE SACAR LA TUBERÍA Y ESPERAR⁶

Esta técnica debería ser usada contra las pérdidas por infiltración y las pérdidas parciales, así como las pérdidas a fracturas inducidas. Excepto en el caso de pérdidas totales y repentinas en las formaciones de caliza que contienen grandes fracturas, fisuras o cavernas, la perforación y la circulación deberían ser interrumpidas en cuanto se observe la primera indicación de pérdida de circulación. La barrena debería ser retirada hasta un punto seguro y el pozo debería permanecer estático durante un periodo de 4 a 8 horas. Monitorear cuidadosamente el pozo para detectar cualquier señal de intrusión de fluidos y cualquier riesgo de amago. Después del periodo de espera, buenas técnicas de perforación deben ser aplicadas para regresar al fondo del pozo minimizando las presiones ejercidas sobre las formaciones. Cuando se supone que los retornos esperados no serán obtenidos, se puede mezclar una lechada de 100 bl de LCM o un volumen similar de lechada de alta pérdida de filtrado durante el periodo de espera. Si se anticipa que la pildora de LCM permanecerá almacenada por mucho tiempo, se debería añadir un biocida para impedir la degradación por actividad bacteriana de los componentes orgánicos. La mitad de las pérdidas en la región de la Costa del Golfo fueron corregidas mediante el uso de esta técnica. Las lutitas fracturadas expuestas a los lodos base agua se regenerarán generalmente y la circulación será restablecida, especialmente si las presiones pueden ser reducidas mejorando la hidráulica y las prácticas de perforación. Los fluidos base aceite no demuestran el mismo nivel de auto regeneración. Esta técnica aplica especialmente a las fracturas inducidas profundas.

OBSERVACIÓN: Las otras técnicas requieren el uso de materiales de pérdida de circulación.

MATERIALES DE PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN (LCM)²

Fibrosos

- Fibras celulósicas.
- Fibras de madera.
- Serrín de madera.
- Papel utilizado en la perforación.
- Fibra mineral.

Granulares

- Cáscaras de nuez (finas, medianas y gruesas).
- Semilla de algodón
- Grafito grueso.
- Carbonato de calcio (fino, mediano y grueso), y sal de granulometría determinada (cloruro de sodio). Otras salmueras usadas: cloruro de calcio, bromuro de sodio, bromuro de calcio, y a veces bromuro de cinc (corrosivo)

Mezclas

- Mezcla de materiales fibrosos, granulares y en escamas.

Escamas

- Escamas de celofán.
- Micas (fina y gruesa).

TAPONES DE REFUERZO⁶

Inyecciones base agua

- Inyección de presión de alta pérdida de filtrado (gel salado – tierra diatomácea)
- Aceite diesel / bentonita (DOB) (tapón blando).
- Bentonita - bengum (tapón blando).
- Polímero entrecruzado (tapón blando).
- Aceite diesel/bentonita/cemento (tapón duro).
- Lechada de cemento (tapón duro).

Inyecciones base aceite

- Tierra diatomácea.
 - Carbonato de calcio –fibra celulósica.
 - Inyección de presión de arcilla organofílica para lodos base aceite.

TÉCNICA DE USAR DE AGENTES OBTURANTES O PUENTEANTES⁶

Esta técnica debería usarse contra las pérdidas por infiltración, parciales y las pérdidas totales menos graves. Se mezcla un tapón de agentes puenteantes en el lodo, aplicándolo de la siguiente manera:

1. Establecer el punto aproximado de la pérdida, el tipo de formación que está tomando el lodo, la altura del lodo dentro del pozo y la velocidad de pérdida. Lo más probable es que el punto de pérdida esté ubicado justo por debajo de la zapata de cementación de la tubería de revestimiento, cuando se anticipa una fractura de la formación causada por un aumento brusco de la presión.
2. Usar la tubería de perforación abierta para colocar el tapón, si es práctico. Si no, usar barrenas de conducto abierto o barrenas con chorro, después de haber quitado las toberas. Si los materiales deben ser colocados a través de una barrena con chorro o herramientas de MWD/LWD, usar agentes puenteantes de tamaño mediano a fino para evitar taponar la barrena.
3. Mezclar una lechada de 100 a 250 bl de LCM. Las mezclas de agentes puenteantes granulares, fibrosos y en escamas de tamaño grueso, mediano y fino están comercialmente disponibles y podrían sustituir las mezclas que son agregadas separadamente. Usar lodo del sistema de circulación o mezclar LCM en una lechada de bentonita viscosa recién preparada. Añadir 15 lb/bbl de Cáscaras de nuez grueso. Añadir 5 lb/bl de fibras gruesas a Medianas. Añadir 5 lb/bl de fibras medianas a finas. Añadir 5 lb/bl de escamas de celofán de 1/2 pulgada.

OBSERVACIÓN: Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento. El tamaño del material puenteante debe ser adaptado a la severidad de la pérdida, ya que no se conoce casi nunca el tamaño de las aberturas a través de las cuales se está perdiendo el lodo. Esta lógica se basa en el conocimiento de que las bajas velocidades de pérdida ocurren a través de pequeñas aberturas y las grandes velocidades de pérdida ocurren a través de aberturas más grandes. La Figura 1V.1 ilustra la manera en que los materiales que son demasiado grandes formarán un puente en la cara de la abertura, mientras que los materiales de tamaño adecuado forman un puente dentro de la abertura, donde es menos probable que se erosionen una vez que se reanuda la circulación. La Figura 1V.2 ilustra la manera en que los materiales que son demasiado pequeños pasan a través de la abertura y no forman un puente. Al seleccionar el tamaño de los materiales que deben ser usados, el tamaño de las toberas de la barrena y cualquier otra restricción posible (por Ej.: herramientas MWD, motores de fondo) siempre deberían ser considerados.

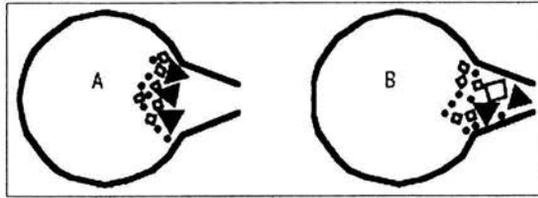


Figura 1V.1a: Sello de la fractura en la cara del pozo.
 Figura 1V.1b: Sello de la fractura dentro de la formación.

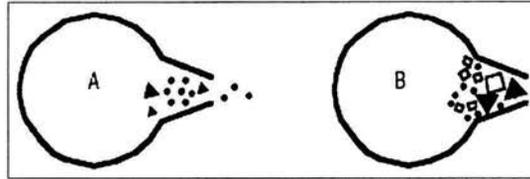


Figura 1V.2a: Pequeños materiales de pérdidas de circulación que no forman un puente.
 Figura 1V.2b: Puente inicial formado por las partículas grandes y Sello final formado por las partículas más pequeñas

4. Bombear la lechada de LCM a través de la tubería de perforación abierta frente a la zona de pérdida. Bombear a una velocidad lenta hasta que los materiales logren poner fin a la pérdida. Repetir otra vez si el pozo no se llena, y luego usar una técnica de inyección de presión de lechada de alta pérdida de filtrado si aún no se ha obtenido ninguna señal de éxito. Si el pozo se llena, cerrar los preventores de reventones (arietes) e inyectar en el espacio anular con una presión de 50 psi, durante 30 minutos. Medir la presión en el espacio anular con un manómetro de 0 a 300 psi. Las lechadas de LCM que contienen una mezcla de materiales son más eficaces. Los agentes puenteantes deben contener por lo menos agentes granulares y fibrosos para ser eficaces. Una mezcla eficaz de LCM consta de 3 a 6 partes de material granular, 2 partes de material fibroso y 1 parte de material en escamas. El tamaño de los agentes puenteantes granulares y en escamas debería adaptarse a la severidad de la pérdida. No se logra ninguna ventaja cuando la concentración de materiales de pérdida de circulación en el sistema de lodo total o la lechada de alta pérdida de filtrado excede 15 a 20 lb/bl (ver Figura 1V.3). Las concentraciones elevadas pueden causar problemas de la bomba y propiedades inferiores del lodo. Sin embargo, si agentes puenteantes deben ser aplicados en una píldora de lodo, entonces las concentraciones de hasta 30 lb/bl serán más eficaces (ver Tablas 1V.1 y 1V.2). Es importante aumentar el tamaño y la cantidad de agente granular si los materiales de tamaño convencional no son eficaces. La Figura 1V.3 ilustra la eficacia de los agentes puenteantes granulares, fibrosos y en escamas para sellar una fractura simulada. Las pérdidas de lodo cuya severidad varía de pérdidas por infiltración a pérdidas totales dentro de fracturas naturales e inducidas de 1/8 a 1/4 pulgada, pueden ser controladas mediante el uso de agentes puenteantes. Para que un agente puenteante funcione correctamente, parte del agente debe ser de tamaño suficiente para obturar la abertura que se debe taponar (ver Figura 1V.4). Por lo tanto, materiales granulares finos, fibras finas y escamas de celofán deberían ser usados contra las pérdidas por infiltración. Hay considerable evidencia de que una cantidad suficiente de material granular de tamaño apropiado puede impedir la propagación de fracturas inducidas en formaciones permeables. Esto ocurre cuando el material granular puede rellenar la punta de la fractura e impedir la transmisión del fluido y de la presión. En la industria de

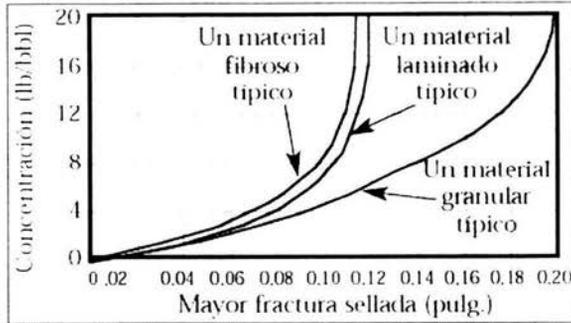


Figura IV.3: Efecto de la concentración y tipo de Material de pérdida de circulación sobre el sello de las fracturas (según Howard y Scout).

estimulación, esto se llama “rellenado” de la punta de la fractura. Los fluidos tratados con 15 a 30 lb/bl de material que tiene un tamaño de partículas similar a cáscaras de nuez mediano a grueso, grafito grueso y carbonato de calcio extra grueso, tienen potencial para limitar la fracturación hidráulica en las areniscas débiles. Para las pérdidas totales, se debería usar un material granular grueso, fibras gruesas, fibras medianas, fibras finas y escamas gruesas.

OBSERVACIÓN: A medida que la severidad de la zona de pérdida aumenta, sólo se debe aumentar el tamaño del agente puenteante – no la concentración. Las concentraciones mayores que 20 a 30 lb/bl no mejoran la eficiencia (ver Figura IV.3).

Concentración (lb/bl)	Ranura Estática		Capa de Mármol		Capa de Perdigones	
	Ranura más grande sellada (pg.)	Volumen pasante a 1,000 psi (ml)	Volumen pasante a 1,000 psi (ml)	Sello	Volumen pasante a 1,000 psi (ml)	Sello
10	0.10	500	Todo	no	1.700	si
20	0.13	250	1.900	si	2.050	si
30	0.16	400	1.700	si	800	si
40	0.20	300	1.700	si	1.800	si

Tabla IV.1: Rendimiento de varias concentraciones de materiales puenteantes mezclados (según Humus).

	Prueba	30 lb/bl de material de molienda gruesa	30 lb/bl de material de molienda mediana
1	Prueba de bombeo a través de toberas de barrena con chorro estándar de 9/32 pg.	Taponamiento inmediato	Paso del flujo a 200 psi
2	Ranura Estática:		
	Ranura más grande sellada (pg.)	0.16	0.08
3	Vol. Pasante total (ml)	400	100
	Ranura dinámica:		
4	Ranura más grande sellada (pg.)	0.13	0.06
	Vol. Pasante total (ml)	600	0.50
5	Capa de mármol estática:		
	Vol. Pasante a 100 psi (ml)	500	400
6	Vol. Pasante a 1,000 psi (ml)	1.700	1.200
	Capa de perdigones:		
7	Vol. Pasante a 100 psi (ml)	400	300
	Vol. Pasante a 1,000 psi (ml)	800	800

Tabla IV.2: Comparación de moliendas gruesas y medianas de material puenteante mezclado en el lodo (según Lummus).

Material	Tipo	Descripción	Concentración (lb/bbl)	Mayor Fractura Sellada (pulg.)					
				0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
Cáscara de nuez	Granular	50% - 7/16+ malla 10 50% - 10+ malla 100	20	[Barra negra]					
Plástico	Granular	50% - 7/16+ malla 10 50% - 10+ malla 100	20	[Barra negra]					
Calza	Granular	50% - 7/16+ malla 10 50% - 10+ malla 100	40	[Barra negra]					
Azufre	Granular	50% - 7/16+ malla 10 50% - 10+ malla 100	120	[Barra negra]					
Cáscara de nuez	Granular	50% - 10+ malla 16 50% - 30+ malla 100	20	[Barra negra]					
Perlita expandida	Granular	50% - 7/16+ malla 10 50% - 10+ malla 100	60	[Barra negra]					
Celofán	Laminado	Escamas de 3/4 pulg.	8	[Barra negra]					
Aserrín	Fibroso	Partículas de 1/4 pulg.	10	[Barra negra]					
Heno	Fibroso	Fibras de 1/2 pulg.	10	[Barra negra]					
Corteza	Fibroso	3/8 pulg.	10	[Barra negra]					
Cáscaras de semillas de algodón	Granular	Finas	10	[Barra negra]					
Heno	Fibroso	Partículas de 3/8 pulg.	12	[Barra negra]					
Celofán	Laminado	Escamas de 1/2 pulg.	8	[Barra negra]					
Madera en tiras	Fibroso	Fibras de 1/4 pulg.	8	[Barra negra]					
Aserrín	Fibroso	Partículas de 1/16 pulg.	20	[Barra negra]					

Figura IV.4: Resumen de las pruebas de material de pérdida de circulación (según Howard y Scott)

INYECCIONES BASE AGUA

TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE LECHADA DE ALTA PÉRDIDA DE FILTRADO⁶

Casi todos los lodos pueden ser usados como fluidos de transporte para la colocación de materiales de pérdida de circulación, pero los fluidos que tienen tasas de filtración extremadamente altas son mejores. La filtración es el proceso que deja los materiales de pérdida de circulación y los sólidos del lodo como tapón firme en la abertura a través de la cual el lodo está pasando. El principio de esta técnica está ilustrado en la Figura 1V.5. Una

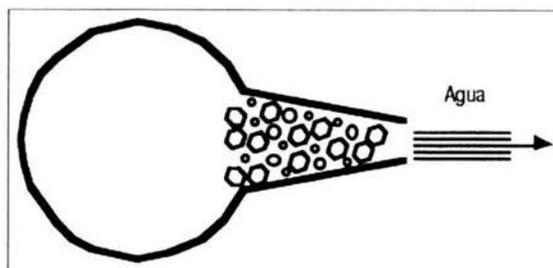


Figura IV.5: Técnica de inyección de presión de alta pérdida de filtrado para la pérdida de circulación, indicando la pérdida de agua mediante la filtración que está depositando sólidos dentro de la fractura.

vez que el puente inicial se ha formado, la filtración permite que el filtrado se separe de la lechada, depositando un enjarre firme dentro de la fractura propiamente dicha. Esto es muy similar a la introducción de una cuña dentro de la fractura, la cual además de ser difícil de

mover, pone fin a la fracturación del pozo. Esta técnica debería usarse contra las pérdidas por infiltración y las pérdidas parciales, así como las pérdidas totales menos graves. La preparación de las lechadas de alta pérdida de filtrado, y su aplicación a las zonas de pérdida cuya severidad varía de pérdida por infiltración a pérdida parcial y a pérdida total, se describen más adelante. Las aplicaciones a estas zonas están caracterizadas por pequeñas diferencias, la más importante siendo el aumento del tamaño del agente puenteante a medida que la zona de pérdida se hace más grave. En primer lugar, la severidad de la pérdida debería ser determinada a partir del nivel de fluido y de la velocidad de pérdida. Luego se debe determinar el punto aproximado de la pérdida y definir el tipo de formación que está tomando el lodo. Si se sospecha que la formación está sometida a la fracturación hidráulica, el punto de pérdida más probable estará ubicado justo por debajo de la última zapata de cementación de la tubería de revestimiento.

TÉCNICA PARA PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN⁶

1. Mezclar 100 bl de lechada:

a. Añadir de 10 a 20 lb/bl de arcilla de atapulguita o sepiolita a 80 bl de agua (las arcillas de atapulguita y sepiolita actúan de la misma manera en el agua salada). Si éstas arcillas no están disponibles, usar 5 a 20 lb/bl de bentonita y pretratar el agua con 1/4 lb/bl de soda cáustica para eliminar los iones calcio y magnesio. Dejar que la arcilla aumente la viscosidad. Si se usa bentonita, añadir 1/2 lb/bl de cal para flocular la bentonita y aumentar el filtrado. o:

b. Añadir 50 lb/bl de materiales de tierra diatomácea (o una mezcla de tierra diatomácea, cal y papel. Si se usa esta mezcla, no se requiere la atapulguita); o un sustituto apropiado como carbonato de calcio. Añadir diferentes tamaños y formas de LCM hasta obtener una concentración total de LCM de 10 a 20 lb/bl.

2. Colocar la barrena en la parte superior o frente a la zona de pérdida. Desplazar la lechada de LCM hasta el final de la tubería de perforación.

3. Cerrar los arietes. Inyectar el material lentamente (presión máxima de 50 psi) dentro de la zona de pérdida, a una velocidad de 1 bl/min. Mantener la presión de inyección durante 4 a 8 horas, o hasta que se disipe. Medir la presión de inyección sobre el espacio anular, usando un manómetro de 0 a 300 psi. Para evitar la fracturación de otras zonas, presiones de inyecciones seguras más altas que la presión hidrostática del lodo deberían ser usadas. Por ejemplo (ver tabla IV.3)

Profundidad (pies)	Presión de Inyección (psi)
0 - 1.000	0 - 200
1.000 - 5.000	100 - 500
5.000 y más profundo	500

tabla IV.3

OBSERVACIÓN: La presión superficial más la presión de la columna de lodo nunca debería exceder la presión de sobrecarga (1 psi/pie).

TÉCNICA PARA LA PÉRDIDA PARCIAL⁶

1. Mezclar 100 bl de lechada: Añadir 10 a 20 lb/bl de arcilla de atapulguita o sepiolita a 80 bl de agua. Si estas arcillas no están disponibles y se usa bentonita como viscosificador, añadir 1/2 lb/bl de cal para flocular las arcillas y aumentar el filtrado. o:

Añadir 50 lb/bl de materiales de tierra diatomácea (como antes). Usar solamente barita si el peso del lodo es de 12 lb/gal o más, o si se trata del único material en polvo inerte disponible.

Añadir una combinación de diferentes tamaños y formas de LCM para obtener una concentración total de LCM de 15 lb/bl.

2. Colocar la tubería de perforación con el extremo abierto en la parte superior o frente a la zona de pérdida.

3. Desplazar 25 bl de lechada dentro de la zona, a una velocidad de 2 a 4 bl/min.

4. Interrumpir las operaciones durante 20 a 30 minutos

5. Desplazar otros 25 bl de lechada a la misma velocidad

6. Seguir este procedimiento, alternando periodos de espera y desplazamientos hasta que el pozo se llene. A veces dos cargas de 100 bl serán necesarias. Durante estas operaciones, la tubería de perforación debería ser recíprocada para impedir que se pegue.

7. Cuando el pozo se llena, cerrar los arietes e inyectar dentro del espacio anular con una presión de 50 a 100 psi, desplazando la lechada muy lentamente (1 bl/min) dentro de la tubería de perforación. Conectar un manómetro de 0 a 300 psi en el espacio anular para facilitar la lectura de los valores de presión baja. Mantener la inyección de presión durante 30 a 60 minutos.

8. Salir del pozo, levantar la barrena y seguir perforando.

TÉCNICA PARA LA PÉRDIDA TOTAL⁶

El procedimiento para la pérdida total es el mismo que para la “pérdida parcial”, excepto en lo que se refiere a la composición de los agentes puenteantes. La composición de estos materiales debería ser la siguiente:

1. Añadir 10 a 15 lb/bl de arcilla de atapulguita o sepiolita a 80 bl de agua. Si estas arcillas no están disponibles, tratar el agua de la manera descrita anteriormente. Añadir 1/2 lb/bl de cal. o: Añadir 50 lb/bl de materiales de tierra diatomácea (como antes). Usar solamente barita si el peso del lodo es de 12 lb/gal o más, o si se trata del único material en polvo inerte disponible. Añadir una combinación de diferentes tamaños y formas de LCM para obtener una concentración total de LCM de 20 a 30 lb/bl. Para el desplazamiento, referirse a los Pasos 2 a 8 en la sección titulada “Para la pérdida parcial”.

2. Cuando ocurren pérdidas totales graves de retornos en formaciones con grandes fracturas, fisuras, canales o cavernas de origen natural, se debería colocar por lo menos una de las píldoras convencionales de pérdida de circulación descritas anteriormente. Si este procedimiento no mejora el problema de pérdida de circulación, se debería considerar el uso de tratamientos para cavernas con materiales de relleno a granel como trapos, sacos de lodo, heno, papel, madera, etc., antes de bombear los taponos de cemento.

TÉCNICAS DE TAPONES DUROS⁶

Varios taponos duros de cemento suelen ser eficaces contra las pérdidas totales. La composición y la técnica de aplicación de la lechada de cemento usada para combatir la pérdida de circulación deberían ser funcionalmente adecuadas para que la cementación sea exitosa.

TAPONES DE CEMENTO⁹

Descripción: Los taponos de cemento para las pérdidas de circulación, es la técnica balanceada de colocación de un volumen relativamente pequeño de cemento a través de una tubería de perforación, o con auxilio de herramientas especiales, en una zona determinada, en agujero descubierto. Su finalidad es proveer un sello en las zonas permeables de pérdidas de circulación. Para lograrlo es indispensable mejorar el desplazamiento del lodo de perforación del tramo de espacio anular que se va a cementar consiguiendo así una buena adherencia

sobre las caras de la formación, sin canalizaciones en la capa de cemento y con un llenado completo.

Objetivos: Sellar zonas de pérdida de circulación.

Datos necesarios para el diseño de un tapón son los siguientes:

- Geometría del agujero abierto.
- Diámetro de la barrena.
- Registro de calibración del agujero.
- Porcentaje de exceso considerado.
- Profundidad.
- Datos del agujero.
- Presión de poro.
- Presión de fractura.
- Litología
- Temperatura de fondo estática.
- Temperatura de fondo circulante.
- Zonas problema.
- Pérdida de circulación.
- Deslavadas.
- Flujo de agua.
- Alta presión de gas.
- Datos de la tubería de revestimiento.
- Diámetro.
- Peso.
- Profundidad.
- Tubería anterior.
- Datos de desviación.
- Profundidad vertical.
- Profundidad media.
- Puntos de desvío.
- Orientación.
- Fluidos.
- Tipo de lodo.
- Densidad.
- Reología.

La pérdida de fluido de perforación puede ser detenida si se coloca correctamente un tapón de cemento frente a la zona de pérdida. Aunque la lechada se puede perder, También puede endurecer y consolidar la formación, (ver figura 1V.6). Las lechadas de cemento puro son

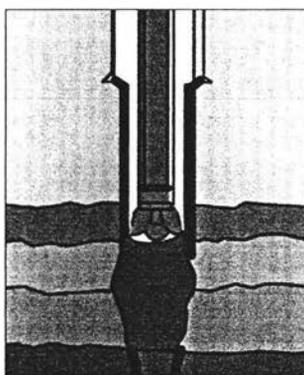


Figura 1V.6: Tapón para pérdida de circulación.

efectivas para solucionar pérdidas menores y brindan esfuerzos compresivos muy altos. Para cementos mas ligeros con mejores propiedades mecánicas se utilizan cementos espumados o microsferas. Estos tienen la ventaja natural de la tixotropía por lo que es menos probable que se pierdan. Las lechadas tixotrópicas son ampliamente utilizadas. Su habilidad para desarrollar geles, conforme el movimiento disminuye, es ventajosa pues ayuda a prevenir pérdidas a la formación y libera de presiones hidrostáticas a las zonas débiles. La adición de

materiales para pérdida de circulación también ayuda en el éxito de los trabajos. Los materiales granulares son más efectivos para fracturas más grandes; los fibrosos o en escamas son mejores para pérdidas en formaciones porosas o de alta permeabilidad. Es muy importante utilizar una temperatura de formación circulante real. Las pérdidas enfrían el agujero por lo que la temperatura de fondo circulante puede ser mucho menor que la utilizada por los gradientes térmicos.

PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LAS CEMENTACIONES⁹

- * Baja eficiencia en el desplazamiento, que conduce a una pobre calidad de la cementación.
- * Diseño de lechadas demasiados complejos, altamente costosos y poco eficientes.
- * Bajo porcentaje de éxito en la colocación de los taponos balanceados.
- * Diversificación de los cementos empleados, con pobre control de calidad.
- * Pérdida de circulación.
- * Migración de gas.

COMPOSICIÓN DE LAS LECHADA DE CEMENTO⁶

El cemento, o el cemento más bentonita, constituye un remedio importante para pérdida de circulación, ya que estas lechadas suelen sellar las zonas de pérdida fisuradas. Se recomiendan tres lechadas de cemento: puro, bentonita y gilsonita. Estos cementos han sido seleccionados en base a la gran variedad de propiedades que pueden ser obtenidas y debido a que están generalmente disponibles.

CEMENTO PURO⁶

Mezclar hasta obtener una concentración de 15,6 lb/gal, usando 46% de agua y cemento. Esta lechada forma un fluido denso y desarrolla una alta resistencia a la compresión al fraguar.

CEMENTO DE BENTONITA O GEL⁶

El cemento de bentonita, formado mediante la adición de cemento al agua que contiene bentonita prehidratada, ofrece propiedades óptimas. La lechada formada tiene una densidad más baja y un esfuerzo de gel más alto. También tiene una resistencia de fraguado más alta que una lechada formada mediante la adición de agua a una mezcla seca de bentonita y cemento. Al mezclar la lechada, tratar el agua dulce por usar con 1/4 lb/bl de carbonato de sodio y 1/4 lb/bl de soda cáustica para eliminar los iones calcio y magnesio. Añadir 10 lb/bl de bentonita y dejar que aumente la viscosidad. Usar esta lechada de bentonita para mezclar una lechada de cemento-bentonita de 14,5 a 15,0 lb/gal. Usar 100 sacos o más de cemento para los pozos más grandes.

CEMENTO DE GILSONITA⁶

La gilsonita puede ser añadida a las lechadas de cemento que son usadas para tratar de restablecer los retornos. La gilsonita reduce la densidad de la lechada y actúa como agente puenteante, funciones que ayudan a mantener la lechada en las inmediaciones del pozo. Debería ser aplicada exactamente como las lechadas de cemento bentonita, y debería ser inyectada si el pozo se llena durante su aplicación. Se recomienda entre 25 y 100 lb de gilsonita por saco. Estos tres cementos son recomendados porque proporcionan lechadas con propiedades que varían de lechadas pesadas, poco viscosas, de fraguado duro, a lechadas ligeras, densas, que tienen propiedades puenteantes. Además, estos cementos están

disponibles en todas partes. Sin embargo, no están destinados a ser usados con exclusión de todas las demás formulaciones de cemento.

TÉCNICAS PARA APLICAR EL CEMENTO⁶

Las lechadas de cemento deberían ser usadas para combatir las pérdidas a fracturas naturales que tienen un diámetro de 1/3 pulgada a 1 pie, y a calizas y cantos rodados quebrados.

OBSERVACIÓN: Muchas veces la cementación de las zonas de pérdida no es eficaz porque el lodo atraviesa la lechada no fraguada. Las "columnas balanceadas" suelen impedir esto, especialmente si los pesos de las columnas son calculados minuciosamente.

METODO DE COLUMNA HIDROSTÁTICA BALANCEADA⁶

1. Si es posible, perforar sin retornos a través de toda la zona de pérdida de circulación.
2. Salir del pozo. Medir el nivel de lodo estático usando un pedazo de madera (4 pulg. x 4 pulg. x 4 pies) suspendido de un cable de alambre o un medidor de nivel de fluido por eco sónico.
3. Seleccionar una lechada de cemento. Según la severidad de la zona de pérdida, mezclar y aplicar 100 a 300 sacos.
4. Localizar la zona de pérdida, usando una de las técnicas apropiadas descritas anteriormente.
5. Meter la tubería de perforación y la unión substituta de cementación más allá de la zona de pérdida, para asegurar que esté expuesta. Si es necesario, limpiar el pozo más allá de la zona. Subir la unión substituta de cementación hasta un punto ubicado 50 pies por encima de la parte superior de la zona de pérdida.
6. Calcular el volumen de lechada de cemento que se debe colocar. Mezclar y bombear el cemento hasta que se haya bombeado el volumen deseado. Desplazar la tubería de perforación a ± 10 bl/min. Dejar suficiente cemento dentro de la columna de perforación para balancear el tapón en el espacio anular. Esto eliminará el efecto de tubo en U y minimizará la contaminación del cemento.
7. Salir lentamente del pozo. A medida que se retira la tubería, el nivel de lodo en el espacio anular caerá y causará un desbalance de presión entre la formación y el pozo. Esto puede causar la penetración del lodo o de los fluidos de la formación a través de la lechada de cemento. Para evitar este problema, añadir lodo con mucho cuidado al espacio anular, a través de la línea (tubería) de relleno. La adición de una cantidad de lodo excesiva al espacio anular causará la expulsión del lodo desde el espacio anular hacia la formación, pasando a través de la lechada de cemento antes de que ésta pueda fraguar. La cantidad de lodo bombeada debe corresponder al desplazamiento de volumen (no la capacidad) de la tubería. Esta operación puede hacer más daño que bien si se realiza sin la debida atención. Bombear la cantidad de lodo requerida cada 10 haces de tubería en pie. Esperar el fraguado del cemento durante por lo menos 8 horas.
8. Medir el nivel de fluido. Si es más bajo o más alto que el nivel estático original, no tratar de ajustarlo. Si es más alto y se introduce otro tapón, ajustarlo añadiendo proporcionalmente menos lodo a medida que se retira la tubería.

ESTABILIDAD EN LA INTERFASE⁹

Se agrava cuando la tubería no esta bien centrada, porque el efecto U no puede ser controlado y usualmente el sistema se perturba durante la operación (por ejemplo: al levantar la tubería o bombear muy rápido, la presencia de gas, etc.). Por eso, aun antes de que el cemento este colocado, puede estar canalizado (figura 1V.8). Esta inestabilidad puede ser mejorada reduciendo la diferencia de densidad entre el lodo y el cemento, perturbando el sistema lo

menos posible y/o utilizando un frente viscoso de lodo debajo del tapón, que servirá de apoyo y evitara la interdigitación entre el lodo y el cemento de la parte inferior del tapón; también se debe instalar un difusor de fuljo axial (figura IV.9) en el extremo inferior de la tubería de trabajo.

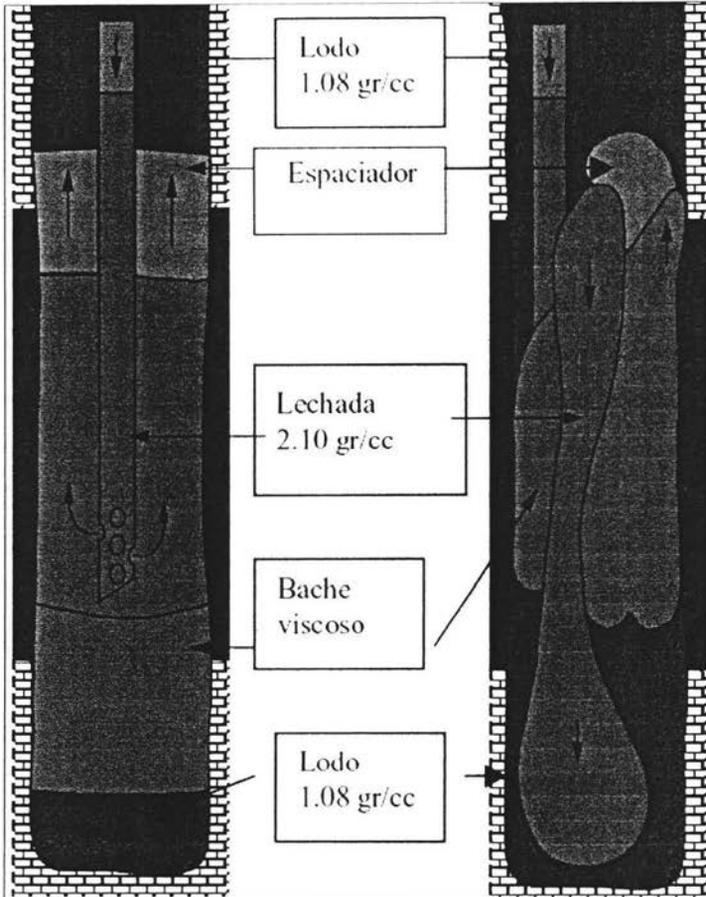


Figura IV.8 Inestabilidad de interfase.

MEJORAS EN LA COLOCACIÓN⁹

Se pueden utilizar dos métodos para ayudar a crear una interfase cemento/lodo más estable durante la colocación del tapón. El primero considera tubería franca colocando un frente viscoso con la misma densidad del lodo para crear un soporte debajo de la lechada. De cualquier manera, para que los sistemas sean estables, es necesario bombearlos (frente viscoso y cemento) lo más lentamente posible mientras que la tubería debe ser rotada para ser levantada, también despacio, al final del desplazamiento. El segundo método utiliza un difusor de flujo que se coloca en la punta de la tubería que hace un cambio de flujo vertical a lateral y hacia arriba, (figura IV.9). Los agujeros a los lados de la herramienta deben tener, por lo menos, la misma área de flujo que el área interna de la tubería. Se han visto mejoras al

incrementar la distancia entre los agujeros laterales con la salida inferior de la tubería tapada. Estos dos métodos, utilizados en conjunto con las prácticas definidas para cada aplicación del tapón, incrementan su probabilidad de éxito. Como sea, al igual que con todos los trabajos de cementación: una buena colocación es básica para obtener una cementación exitosa.



Figura IV.9: Difusor.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO⁹

Factores de éxito del tapón. Los factores básicos para el éxito de un tapón son los mismos que para lograr una cementación primaria optima. Las posibilidades de éxito del tapón mejoran con el uso de buenas técnicas de desplazamiento, así como de la selección de la lechada correcta; la planeación y obtención de datos correctos del pozo son esenciales.

- **Profundidad y longitud del tapón.** La posición de un tapón de cemento es de primordial importancia. Los registros de calibración del agujero sirven para determinar en donde colocar el tapón y cuanto cemento utilizar. Los registros de perforación y los registros de velocidad de perforación deben ser consultados para determinar en donde colocar el tapón.
- La aplicación del tapón dependerá del tipo de formación frente a la cual se colocara, a menos que se desee desviar el pozo, lo mejor es colocar los tapones en formaciones consolidadas. Las lutitas deben evitarse pues usualmente están deslavadas y fuera de calibre.
- Si es posible, se deben seleccionar agujeros con mínima alteración en su calibre. Si los volúmenes de cemento son calculados con mayor exactitud, el desplazamiento será mejorado y el balanceo mas fácil.
- El registro de calibración de agujero es útil para el cálculo de la cantidad de cemento requerido y para ubicar la sección del agujero en calibre para que este sea colocado. Si el tapón se va a colocar en un agujero fuera de calibre o una sección deslavada, entonces se debe utilizar un porcentaje en exceso que podría ser del doble o mayor que

el volumen normal considerado. Esto más bien se basa en la experiencia en tapones similares usados con éxito, de acuerdo con estadísticas.

- **Desplazamiento y colocación.** El desplazamiento se puede mejorar con lodos fluidos de bajo valor de filtrado. El agujero debe ser circulado, por lo menos, con el equivalente a un volumen del pozo y antes de colocar el tapón para alcanzar las condiciones reológicas necesarias para el cemento que se va a manejar. Preferentemente, el cemento debe tener mayor densidad y propiedades reológicas que los baches separadores, y más que el lodo. Queda excluido de este orden el frente lavador, pues la mayoría de estos, por ser newtonianos, tienen una densidad que fluctúa entre 1.0 gr/cm^3 o menor. El pozo debe estar estable para evitar la contaminación del cemento. La pérdida de filtrado tan bajo como se pueda. Estos valores pueden ser difíciles de conseguir en la práctica.
- La contaminación de las lechadas de cemento es la principal causa de falla de los tapones. Puede aumentar el tiempo de fraguado y reducir el esfuerzo compresivo; el 10 % de la contaminación por lodo puede reducir el esfuerzo compresivo hasta de un 50 %.
- Se requiere el uso de lavadores y espaciadores para evitar problemas de compatibilidad. Los espaciadores deben ser utilizados cuando el control del pozo sea un problema, la densidad del espaciador debe ser 0.12 a 0.24 gr/cm^3 mayor que la del lodo para ganar el efecto de flotación para mejor desplazamiento del lodo. Los lavadores químicos deben utilizarse en lugar de agua especialmente cuando se utiliza lodo a base de aceite. Los lavadores usualmente fluyen en flujo turbulento, el desplazamiento en flujo turbulento es el más recomendado. Se recomienda una altura anular de 150 a 250 m para lavadores y espaciadores.
- La centralización de la tubería mejora la remoción del lodo. (Este aspecto es normalmente olvidado aun cuando la tubería sea levantada después de la colocación del tapón). Si la tubería no está centralizada correctamente, puede ocurrir canalización del cemento y así el balanceo del tapón será más difícil; ambos efectos contribuyen a la contaminación de la lechada, aunque esto es teórico pues no se debe olvidar que al levantar un tubo con centradores podría provocarse la contaminación. De esta manera, es preferible utilizar tubería lo más liza posible y con rotación. Se recomienda la rotación de la tubería en lugar de la reciprocación. Esto puede ser útil puesto que la tubería se levantara fuera del cemento antes de circular en inverso cuando el tapón haya sido balanceado. La rotación reduce la gelificación del cemento y le permite caer más fácilmente de la tubería conforme se levanta.
- **Fallas Más Comunes.** Una vez que el tiempo de fraguado ha pasado, se toca la cima del tapón y se aplica peso de aproximadamente 5 toneladas sobre él. Este es el principal criterio para medir el éxito de un tapón. Las causas más comunes de fallo son:
 - Contaminación con lodo. Se debe a una deficiente remoción de lodo, a espaciadores/lavadores no efectivos, a falta de centralización, tiempos de espesamiento y fraguado muy largos, y a técnicas de colocación incorrectas.
 - Lechadas sobre-retardadas o tiempo de espera de fraguado insuficiente. Suceden cuando el desarrollo de esfuerzo compresivo es inadecuado y el tapón será perforado sin alcanzar el tiempo de perforabilidad requerida. Es necesario conocer el dato exacto de temperatura de fondo estática y cuidar que el tapón sea diseñado precisamente para las aplicaciones en las cuales será utilizado.

- Información errónea de la litología y geometría del pozo (especialmente la temperatura de fondo estática) ocasiona la utilización de parámetros de diseño incorrectos: cálculo erróneo en la cantidad de cemento, propiedades erróneas de la lechada, contaminación o colocación del tapón en un lugar incorrecto.
- Un volumen de cemento insuficiente debido a datos del registro de calibración incorrectos o desconocidos. Proporciona un tapón de altura menor que la requerida. Se recomienda una altura de 100-150 m y hasta el doble de exceso de cemento en secciones de agujero descubierto de diámetro desconocido.
- Los tapones pueden descolgarse o moverse cuando se utilizan lechadas de cemento de alta densidad en pozos con fluidos de control de baja densidad. Como resultado de la interfase inestable formada, el cemento se canalizará y se diluirá con el lodo. Esto puede ser evitado con la colocación de un volumen viscoso u otra técnica de punteo y con el uso de un difusor.

TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE LECHADA DE ACEITE DIESEL/BENTONITA/CEMENTO⁶

Usar esta técnica contra las pérdidas totales y las pérdidas totales graves.

Usar los siguientes pasos para aplicar esta técnica:

1. Si es posible, perforar sin retornos a través de toda la zona de pérdida de circulación.
2. Salir del pozo. Medir el nivel de lodo estático de la manera descrita anteriormente.
3. Localizar la zona de pérdida de la manera indicada en el Paso 4 del método de columna balanceada.
4. Después de haber localizado el intervalo de pérdida, colocar la parte inferior de la unión substituta mezcladora a 50 pies encima de dicho intervalo. Aplicar una presión de inyección máxima.
5. Bombear un volumen amortiguador de 10 bl de aceite diesel sin agua delante de la lechada.
6. Mezclar 100 sacos de cemento normal y 100 sacos de bentonita con 50 bl de aceite diesel. Para volúmenes que no son de 50 bl, mezclar dos sacos de cemento de 96 lb y dos sacos de bentonita de 100 lb con cada barril de aceite diesel. Para fracturas grandes o secciones largas de fisuras reticuladas, usar 300 sacos de cada material. Para cargas grandes, usar un cementador y mezclar continuamente los materiales secos con el aceite diesel. Para cargas pequeñas, usar un tanque adecuado. Esta mezcla producirá 1,39 bl de lechada por cada barril de aceite diesel. Esta lechada tendrá un peso de 11,5 lb/gal.
7. Desplazar la lechada dentro de la tubería de perforación y seguir con 5 bl de aceite diesel.
8. Comenzar a bombear lodo de perforación dentro del espacio anular cuando el volumen amortiguador de 10 bl de aceite diesel llega a la unión substituta mezcladora. Cerrar los arietes. Controlar las velocidades de bombeo de manera que la relación de volumen de lechada a volumen de lodo sea 2:1. En general, las velocidades de bombeo de 4 bl/min en la tubería de perforación y 2 bl/min en el espacio anular serán satisfactorias con una tubería de perforación de 4 1/2 pulg. en pozos de 7 7/8 pulg. y pozos más grandes.
9. Desplazar la mitad de la lechada dentro de la formación a esta rápida velocidad de bombeo. Ocasionalmente se puede reciprocarse lentamente la tubería de perforación para determinar si la lechada está subiendo por el espacio anular. Si el indicador de peso indica cualquier aumento del arrastre, desconectar y levantar la tubería hasta que quede libre. Realizar las conexiones y seguir desplazando. No hay ninguna necesidad de preocuparse por los cortos periodos de parada, ya que no se impone ningún límite sobre el tiempo de bombeo de la lechada dentro de la tubería.
10. Desplazar la siguiente cuarta parte del volumen de lechada y lodo a la mitad de la velocidad usada en el Paso 9.

11. Desplazar la cuarta parte restante del volumen de lechada a la mitad de las velocidades usadas en el Paso 10. Si el pozo se llena, lo cual será indicado por la presión en el espacio anular, tratar (mediante una inyección de presión intermitente) de aumentar la presión usando velocidades de 1 bl/min dentro de la tubería de perforación, y 0,5 bl/min dentro del espacio anular.

12. Después de la inyección de presión de cemento, salir del pozo y esperar como mínimo 8 horas para que el cemento fragüe antes de perforar la zapata. Si el primer intento es infructuoso, repetir el procedimiento después de esperar el fraguado del cemento durante 8 horas.

OBSERVACIÓN: Un barril de lechada debería quedar dentro de la tubería de perforación al terminar la inyección de presión, si se desarrolla alguna presión. Balancear las columnas si no se desarrolla ninguna presión. No realizar la circulación inversa porque el lodo hará contacto con la lechada y se gelificará dentro de la tubería de perforación.

PRECAUCIONES.

Evitar la contaminación de la lechada con lodo o agua en las líneas de succión y las bombas. Los siguientes pasos minimizarán la posibilidad de contaminación.

1. Realizar pruebas de campo para determinar la apropiabilidad del aceite diesel.

a.- Llenar un tubo de contenido de arena hasta la línea de 20% con aceite diesel.

b. Añadir agua hasta la línea marcada "lodo hasta aquí".

c. Agitar enérgicamente durante 10 segundos y dejar reposar por 10 minutos.

d. Si el aceite y el agua se separan en dos capas distintas, el aceite diesel es apropiado para ser usado. Sin embargo, si el fluido se separa en tres capas con el aceite encima, el agua abajo y una emulsión blanca en el medio, el aceite diesel no es apropiado y no debe ser usado.

2. Drenar todo el agua y lodo de todas las bombas, líneas y tanques antes de realizar la mezcla.

3. Usar aceite diesel para limpiar completamente las bombas, líneas e instalaciones de mezcla antes de realizar la mezcla.

TÉCNICA DE TAPONES BLANDOS⁶

Tapones blandos mezclados en el fondo (aceite diesel/bentonita, Bengum). Usar esta técnica contra fracturas inducidas y para mantener las lechadas de cemento en o cerca del pozo hasta que fragüen. Para que los tapones blandos mezclados en el fondo sean eficaces, será necesario que las cantidades correctas de componentes se reúnan y se mezclen cerca de la zona de pérdida. Esto debe recibir una atención especial. Por ejemplo, cuando se usa aceite diesel/bentonita, el lodo puede ser bombeado dentro del espacio anular para establecer un caudal constante óptimo de lodo antes que la lechada de aceite diesel/bentonita salga de la tubería de perforación.

TÉCNICA PARA MEZCLAR Y APLICAR LA LECHADA DE ACEITE DIESEL/BENTONITA⁶

1. Si es posible, perforar sin retornos a través de toda la zona de pérdida de circulación.

2. Salir del pozo. Medir el nivel de lodo estático de la manera descrita anteriormente.

3. Localizar la zona de pérdida de la manera descrita anteriormente.

4. Después de haber localizado el intervalo de pérdida, introducir la unión substituta de colocación más allá de la zona de pérdida para asegurar que esté expuesta. Colocar la parte inferior de la unión substituta mezcladora a 50 pies encima de dicho intervalo. Aplicar una presión de inyección máxima.

5. Bombear un volumen amortiguador de 10 bl de aceite diesel sin agua delante de la lechada.
6. Mezclar 200 sacos de bentonita de 100 lb con 50 bl de aceite diesel. Para volúmenes distintos, mezclar 4 sacos de bentonita con cada barril de aceite diesel. La mezcla puede ser realizada continuamente mediante el uso de un camión cementador. Esta mezcla producirá 1,39 bl de lechada por cada barril de aceite diesel. Para las zonas de pérdida grave, usar 600 sacos de bentonita en 150 bl de aceite diesel, mezclando continuamente.
7. Desplazar la lechada dentro de la tubería de perforación y seguir con 5 bl de aceite diesel. Cuando el frente del volumen amortiguador de 10 bl llega al final de la tubería de perforación, comenzar a bombear lodo de perforación dentro del espacio anular a una velocidad de 4 bl/min con otra bomba. Cerrar los arietes.
8. Controlar las velocidades de bombeo de manera que la relación de volumen de lechada a volumen de lodo sea 1:1. En general, las velocidades de bombeo de 4 bl/min en la tubería de perforación y 4 bl/min en el espacio anular serán satisfactorias con una tubería de perforación de 4 1/2 pulg. en pozos de 7 7/8 pulg. y pozos más grandes.
9. Desplazar la mitad de la lechada dentro de la formación a esta rápida velocidad de bombeo o hasta que la presión comience a aumentar en el espacio anular. Cuando se obtiene la presión, reducir la velocidad de bombeo en la tubería de perforación y el espacio anular, para que la lechada entre en la zona de pérdida sin exceder la presión máxima establecida (100 a 500 psi). Conectar un manómetro de 0 a 300 psi en el espacio anular para facilitar la lectura de los valores de presión baja. Ocasionalmente se puede reciprocarse lentamente la tubería de perforación para determinar si la lechada está subiendo por el espacio anular. Si el indicador de peso indica cualquier aumento del arrastre, desconectar y levantar la tubería hasta que quede libre. Realizar las conexiones y seguir desplazando. No hay ninguna necesidad de preocuparse por los cortos periodos de parada, ya que no se impone ningún límite sobre el tiempo de bombeo de la lechada dentro de la tubería.
10. Desplazar la siguiente cuarta parte del volumen de lechada y lodo a la mitad de la velocidad usada en el Paso 9.
11. Desplazar la totalidad menos 1 bl de la cuarta parte restante del volumen de lechada a la mitad de la velocidad usada en el Paso 10. Tratar de aumentar la presión mediante una inyección de presión intermitente.
12. Cuando el pozo no puede llenarse, un empaque debería ser colocado al fondo de la tubería de revestimiento. El desplazamiento del lodo y de las lechadas dentro de la tubería de perforación debería ser realizado alternando cargas de 20 bl de lechada con cargas de 5 bl de lodo, usando un espaciador de 1 ó 2 bl de aceite entre las lechadas.
13. Después de la inyección de presión de cemento, salir del pozo para la barrena, perforar el tapón y continuar la perforación. Repetir el procedimiento si no se desarrolla ninguna presión de inyección.

OBSERVACIÓN: Un barril de lechada debería quedar dentro de la tubería de perforación al terminar la inyección de presión. No realizar la circulación inversa porque el lodo hará contacto con la lechada y se gelificará dentro de la tubería de perforación.

PRECAUCIONES: Observar las mismas precauciones que fueron mencionadas anteriormente para la inyección de presión de lechada de aceite diesel bentonita cemento.

TÉCNICA PARA MEZCLAR Y APLICAR UNA INYECCIÓN DE PRESIÓN DE BENGUM⁶

Halliburton Bengum No. 1 es una goma guar natural a la cual se ha agregado un preservativo y un agente completador. La mezcla de Bengum consta de 10% en peso de Bengum No. 1 y 90% en peso de bentonita, premezclados juntos.

La lechada de Bengum se prepara añadiendo 100 lb de mezcla Bengum bentonita de 13 a 15 galones de aceite diesel. Esta lechada tiene un fraguado más duro que la lechada de aceite diesel/bentonita debido a sus componentes orgánicos, especialmente cuando se mezcla en aguas y lodos salinos. Su resistencia de fraguado están comprendida entre la lechada de aceite diesel/bentonita y la lechada de aceite diesel/bentonita/cemento, pero está más cerca de la resistencia de fraguado de la lechada de aceite diesel/bentonita. Debería usarse:

- Cuando se requiere una resistencia más alta que la resistencia proporcionada por la lechada de aceite diesel/bentonita.
- Cuando las aguas salinas usadas para la mezcla están reduciendo considerablemente la resistencia de la lechada de aceite diesel/bentonita.

Para la aplicación, seguir las instrucciones proporcionadas anteriormente para la lechada de aceite diesel/bentonita. La relación recomendada de lodo a Bengum varía de 4:1 a 1:1, según la resistencia requerida.

TÉCNICA DE INYECCIONES DE POLÍMERO ENTRECRUZADO O RETICULADO⁶

Varias compañías ofrecen píldoras de inyección de presión de polímero entrecruzado además de las inyecciones de arcilla organofílica y las inyecciones de alto filtrado diseñadas para las aplicaciones de pérdida de circulación. Mezclas de polímero entrecruzado y LCM son píldoras que se componen generalmente de una mezcla de polímeros y materiales de pérdida de circulación que se entrecruzan con la temperatura y el tiempo para formar una consistencia maleable gomosa y esponjosa, la cual elimina eficazmente el filtrado al sellar las fracturas y las formaciones fisuradas. Estas píldoras también pueden ser usadas para impedir el flujo de agua y consolidar las gravas sueltas. Según el fabricante, el producto puede ser suministrado en un saco de aditivo que contiene los polímeros y los materiales de pérdida de circulación o en sacos individuales para cada componente. La mayoría ofrecen un retardador y un acelerador. En la mayoría de los casos, el retardador será necesario para demorar el entrecruzamiento prematuro hasta que la lechada pueda ser colocada frente a la zona de pérdida. Las píldoras pueden ser densificadas con barita (Sulfato de bario) o hematita (Fe_2O_3), si es necesario para el control del pozo. Según el fabricante y el producto específico, los materiales pueden generalmente ser mezclados en agua salada hasta el punto de saturación, pero no pueden ser usados con salmueras a base de calcio. La sal actúa generalmente como retardador para el mecanismo de entrecruzamiento. Pueden usarse con sistemas no acuosos (base aceite), mediante la incorporación de espaciadores mientras que las lechadas son mezcladas en agua. Las recomendaciones de los fabricantes deberían ser estrictamente observadas, debido a las diferencias que existen en los mecanismos de entrecruzamiento y las limitaciones de los productos. Después de mezclar de conformidad con las recomendaciones de los fabricantes individuales, la píldora será colocada de manera similar a las otras píldoras de pérdida de circulación. Bombear la lechada hasta la tubería de perforación y desplazar la lechada a partir de la barrena, sacar la tubería e inyectar la píldora. Se recomienda realizar pruebas piloto para determinar la concentración correcta de retardador o acelerador que debe ser usada. Típicamente, las píldoras alcanzarán su consistencia a $115^{\circ}F$ ($46^{\circ}C$) en aproximadamente 60 minutos, sin usar ningún retardador o acelerador. El entrecruzamiento es más rápido a temperaturas mayores. Por lo tanto, en la mayoría de las situaciones, será necesario usar un retardador. Reiteramos que las recomendaciones de los fabricantes deben ser consultadas para evitar el endurecimiento prematuro de la píldora.

TÉCNICA DE PERFORACIÓN CIEGA/CON LODO AIREADO⁶

Realizar la perforación ciega o con lodo aireado y colocar la tubería. Usar esta técnica contra pérdidas totales graves. En el caso de zonas de pérdida muy graves, como las grandes

cavernas (con o sin movimiento de agua) o las zonas largas de fisuras o fracturas reticuladas (500 a 1.000 pies), la perforación ciega o con lodo aireado a través de todas las zonas de pérdida, seguida por la colocación de la tubería, constituye muchas veces la única técnica eficaz.

TÉCNICAS PARA PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN EN LODOS BASE ACEITE⁶

Aunque la presión necesaria para iniciar una fracturación hidráulica de la formación no debería diferir entre los lodos base agua y los lodos base aceite, la diferencia es considerable una vez que las fracturas se han formado. Los fluidos base agua tienen típicamente una pérdida "instantánea" de fluidos más alta, causando la formación casi instantánea de un enjarre que contribuye a la obturación de la formación en las formaciones permeables.

Los fluidos base aceite no demuestran las mismas características. Una vez que una fractura ha sido iniciada por un fluido base aceite, la presión necesaria para propagar la fractura es mucho más baja en comparación. Esto es acrecentado por la falta de pérdida de presión importante a través del revoque de la mayoría de los fluidos base aceite. Esto facilita la transmisión de los cambios de presión del pozo a la formación, propagando aún más la fractura. Los estudios han demostrado que la presión requerida para volver a abrir una fractura también es más baja cuando se usa un fluido base aceite. Otra complicación aparece cuando el material de pérdida de circulación usado contribuye a la apertura de la fractura. Como se mencionó anteriormente, será necesario tomar en cuenta las propiedades que se dan exclusivamente en los lodos base aceite para impedir la pérdida de circulación. Las propiedades más importantes y sus efectos son los siguientes:

- Diferencias de las propiedades de flujo causadas por la temperatura. Después de un viaje de la barrena, puede que sea necesario operar con un caudal reducido hasta que se termine un ciclo completo en el pozo. Esto permite que el lodo se caliente hasta alcanzar la temperatura y la viscosidad normal de circulación, evitando densidades equivalentes de circulación innecesariamente altas. Diferencias de presión de bombeo mayores que 100 psi suelen ocurrir en los fluidos más pesados a medida que el fluido se calienta.
- Debido a la mayor expansión del fluido en comparación con los fluidos base agua, el peso de lodo medido aumentará frecuentemente cuando el fluido se enfria en la superficie, como suele ocurrir durante un viaje. Nuevamente, estas diferencias son ampliadas cuando el peso del lodo aumenta. Por este motivo, la temperatura a la cual se pesa el lodo siempre debe ser registrada. Se debe resistir la tentación de reducir el peso del lodo en los tanques durante un viaje, a menos que los pesos fueran tomados a la misma temperatura.

TÉCNICA DE INCORPORACIÓN DE MATERIAL DE PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN EN EL SISTEMA⁶

No se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema entero ya que estos materiales aumentan la densidad equivalente de circulación. Esto suele agravar el problema de pérdida de circulación, en vez de resolverlo. Sin embargo, en algunos casos, las pérdidas por infiltración pueden ser eliminadas temporalmente o minimizadas cuando el sistema contiene pequeñas concentraciones de materiales de pérdida de circulación. Los materiales y las concentraciones que se recomiendan son los siguientes:

Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl) también pueden ser usadas. Otros materiales de pérdida de circulación tienden a causar la humectación por agua y la pérdida de la estabilidad eléctrica. Si las circunstancias requieren el uso de estos otros materiales, el sistema debería ser monitoreado para determinar los efectos de estos materiales y realizar el

tratamiento correspondiente. El pretratamiento con un agente humectante puede minimizar estos efectos en algunos casos.

TÉCNICA DE INYECCIONES DE LODO BASE ACEITE⁶

Estas inyecciones han resultado ser el método más eficaz para sellar una zona de pérdida. Estas inyecciones deberían constar de un volumen suficiente para llenar como mínimo el pozo a 50 pies por encima y por debajo de la zona de pérdida. Las siguientes inyecciones han sido las más eficaces para sellar las zonas de pérdida cuando se usan lodos base aceite.

TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE TIERRA DIATOMÁCEA (MEZCLA DE TIERRA DIATOMÁCEA, CAL Y PAPEL)/ACEITE DIESEL⁶

1.- La tabla IV.4 debería ser usada para mezclar una lechada de tierra diatomácea (Mezcla de tierra diatomácea, cal y papel). Después de mezclar la lechada, añadir 5 lb/bl de mica fina, 5 lb/bl de Cáscaras de nuez mediano, 5 lb/bl de fibras de celulosa y 5 lb/bl de carbonato de calcio. Estas concentraciones pueden ser modificadas según la geometría de la columna de perforación.

2.- Colocar la barrena en la parte superior o frente a la zona de pérdida. Desplazar la lechada hasta el final de la tubería de perforación.

3.- Cerrar los arietes. Inyectar lentamente (presión máxima de 50 psi) el material dentro de la zona de pérdida a una velocidad de 1 bl/min. Mantener la presión de inyección durante 4 a 8 horas, o hasta que se disipe. Medir la presión de inyección sobre el espacio anular, usando un manómetro de 0 a 300 psi. Para evitar la fracturación de otras zonas, deberían usarse presiones seguras de inyección más altas que la presión hidrostática del lodo. Por ejemplo (ver tabla IV.3)

Densidad (lb/gal)	Diaseal M		M-1 BAR		Aceite diesel		VERSAWET	
	lb	sacos	lb	sacos	gal	bbl	gal	lb
8	44.0	1.100	20	0.20	38.92	0.926	0.140	1.00
9	41.2	1.030	73	0.73	37.58	0.895	0.210	1.50
10	38.5	0.963	128	1.28	36.18	0.861	0.250	1.75
11	35.7	0.893	181	1.81	34.85	0.829	0.250	1.75
12	32.9	0.823	237	2.37	33.43	0.796	0.250	1.75
13	30.0	0.750	291	2.91	32.06	0.763	0.250	1.75
14	27.2	0.680	346	3.46	30.67	0.730	0.250	1.75
15	24.5	0.613	400	4.00	29.30	0.698	0.285	2.00
16	21.8	0.545	454	4.54	27.93	0.665	0.285	2.00
17	18.9	0.473	509	5.09	26.55	0.632	0.357	2.50
18	17.0	0.425	563	5.63	25.13	0.598	0.428	3.00

Tabla IV.4 Formulaciones para preparar un barril de lechada Mezcla de tierra diatomácea, cal y papel densificada en aceite diesel.

TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE CARBONATO DE CALCIO/FIBRA CELULÓSICA⁶

1.- El lodo del sistema activo puede ser usado como base para esta lechada. Añadir 5 a 25 lb/bl de mica fina, 5 a 25 lb/bl de cáscaras de nuez mediano, 10 lb/bl de carbonato de calcio y 10 lb/bl de fibras de celulosa al lodo base. La cantidad de material mezclado en el tanque dependerá de varias condiciones.

- a. El peso actual del lodo. Cuando la densidad del fluido aumenta, la cantidad de material de pérdida de circulación que se puede añadir y que puede mantener un fluido bombeable disminuye.
 - b. Restricciones en la columna de perforación. El tamaño de las toberas de la barrena, las restricciones internas de la herramienta de MWD, los motores y otras herramientas afectan las concentraciones admisibles de material de pérdida de circulación.
 - c. Averiguar siempre si las bombas o las unidades de bombeo están equipadas con mallas en la succión. Si es así, puede que sea necesario retirar las mallas antes de bombear la pildora.
2. Colocar la barrena en la parte superior o frente a la zona de pérdida. Desplazar la lechada hasta el final de la tubería de perforación.
 3. Cerrar los arietes. Inyectar lentamente (presión máxima de 50 psi) el material dentro de la zona de pérdida a una velocidad de 1 bl/min. Mantener la presión de inyección durante 4 a 8 horas, o hasta que se disipe. Medir la presión de inyección sobre el espacio anular, usando un manómetro de 0 a 300 psi. Para evitar la fracturación de otras zonas, deberían usarse presiones seguras de inyección más altas que la presión hidrostática del lodo. Por ejemplo (ver tabla IV.3).

TÉCNICA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN DE ARCILLA ORGANOFÍLICA⁶

1. Si es posible, perforar sin retornos a través de toda la zona de pérdida de circulación.
2. Salir del pozo. Medir el nivel de lodo estático de la manera descrita anteriormente.
3. Localizar la zona de pérdida, usando una de las técnicas apropiadas descritas anteriormente.
4. Después de haber localizado el intervalo de pérdida, colocar la parte inferior de la unión substituta mezcladora a 50 pies encima de dicho intervalo. Aplicar una presión de inyección máxima.
5. Bombear un volumen amortiguador de 10 bl de agua delante de la lechada.
6. Mezclar 1/2 lb/bl de polisacáridos (polimero de alto peso molecular) y 250 lb/bl de arcilla organofílica en agua hasta obtener el volumen deseado de lechada.
7. Desplazar la lechada dentro de la tubería de perforación y seguir con 10 bl de agua.
8. Comenzar a bombear lodo base aceite dentro del espacio anular cuando el volumen amortiguador de 10 bl de agua llega a la unión substituta mezcladora. Cerrar los arietes. Controlar las velocidades de bombeo de manera que la relación de volumen de lechada a volumen de lodo base aceite sea 2:1. En general, las velocidades de bombeo de 4 bl/min en la tubería de perforación y 2 bl/min en el espacio anular serán satisfactorias con una tubería de perforación de 4 1/2 pulg. en pozos de 7 7/8 pulg. Y pozos más grandes.
9. Desplazar la mitad de la lechada dentro de la formación a esta rápida velocidad de bombeo. Ocasionalmente se puede reciprocarse lentamente la tubería de perforación para determinar si la lechada está subiendo por el espacio anular. Si el indicador de peso indica cualquier aumento del arrastre, desconectar y levantar la tubería hasta que quede libre. Realizar las conexiones y seguir desplazando. No hay ninguna necesidad de preocuparse por los cortos periodos de parada, ya que no se impone ningún límite sobre el tiempo de bombeo de la lechada dentro de la tubería.
10. Desplazar la siguiente cuarta parte del volumen de lechada y lodo a la mitad de la velocidad usada en el Paso 9.
11. Desplazar la cuarta parte restante del volumen de lechada a la mitad de las velocidades usadas en el Paso 10. Si el pozo se llena, lo cual será indicado por la presión en el espacio anular, tratar (mediante una inyección de presión intermitente) de aumentar la presión usando velocidades de 1 bl/min dentro de la tubería de perforación, y 0.5 bl/min dentro del espacio anular.
12. Cuando el pozo no puede llenarse, un empaque debería ser colocado al fondo de la tubería de revestimiento. El desplazamiento del lodo base aceite y de las lechadas dentro de la tubería

de perforación debería ser realizado alternando cargas de 20 bl de lechada con cargas de 5 bl de lodo base aceite, usando un espaciador de 1 o 2 bl de aceite entre las lechadas.

13. Después de la inyección de presión de cemento, salir del pozo y esperar como mínimo 8 horas para que el cemento fragüe antes de perforar la zapata. Si el primer intento es infructuoso, repetir el procedimiento después de esperar el fraguado del cemento durante 8 horas.

OBSERVACIÓN: Un barril de lechada debería quedar dentro de la tubería de perforación al terminar la inyección de presión. No realizar la circulación inversa porque el lodo hará contacto con la lechada y se gelificará dentro de la tubería de perforación.

PRECAUCIONES.

Evitar la contaminación de la lechada con lodo base aceite o agua en las líneas de succión y las bombas. Los siguientes pasos minimizarán la posibilidad de contaminación.

1. Purgar todo el lodo base aceite de todas las bombas, líneas y tanques antes de realizar la mezcla.
2. Usar agua para limpiar completamente las bombas, líneas e instalaciones de mezcla antes de realizar la mezcla.

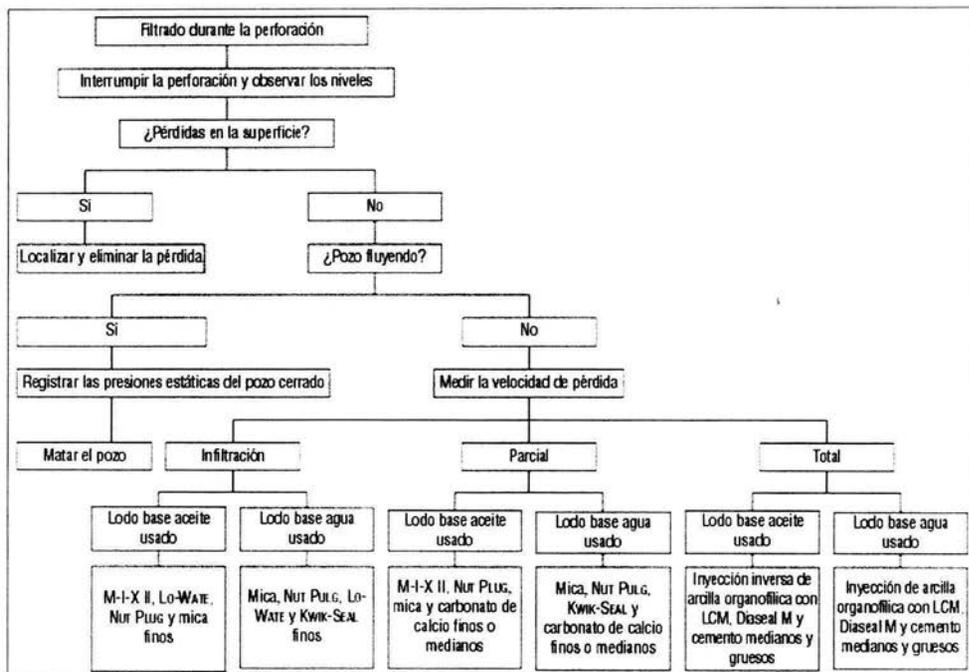


Diagrama de flujo IV.1: Filtrado durante la perforación.

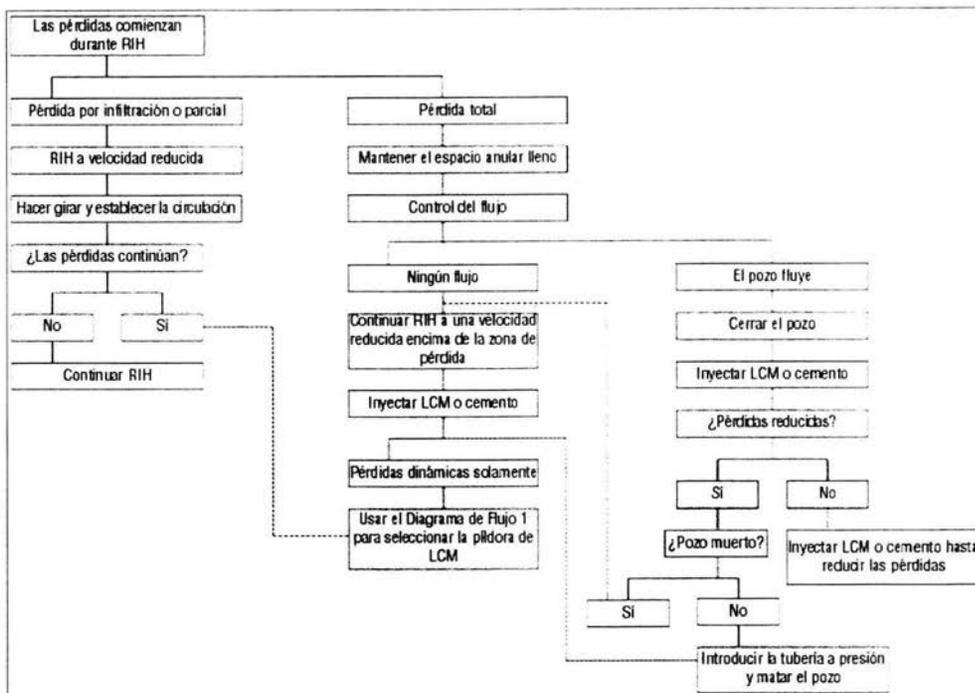


Diagrama IV.2: Las pérdidas comienzan durante RIH.

TÉCNICAS DE FLUIDOS NEUMÁTICOS¹⁰

El uso de fluidos neumáticos en la perforación de pozos petroleros resulta ser una buena alternativa de solución en formaciones con problemas de pérdidas de circulación. “La perforación con aire o gas” es un término general que abarca cuatro sistemas distintos pero relacionados, que usan volúmenes de aire (o gas) comprimido para constituir la totalidad o parte del medio de circulación. Los cuatro sistemas – aire seco (polvo), niebla, espuma y lodo aireado – ofrecen individualmente soluciones a problemas en formaciones con pérdidas de circulación, además de una eficiencia excepcional en la perforación y ventajas para la producción, en comparación con los fluidos tradicionales, pero en aplicaciones considerablemente más restringidas. Es fácil identificar la producción potencial durante la perforación con aire (polvo) y niebla, y es común que se perfora con gas y aceite producido fluyendo en el pozo. Como lo ilustra la Figura IV.10, el aire tiene claramente la densidad más baja de todos los posibles fluidos de circulación, lo cual permite lograr la mayor reducción de presión diferencial. La alta presión diferencial negativa que se obtiene con los sistemas de aire (polvo) produce velocidades de penetración considerablemente más altas y una mayor profundidad en pies por barrena. La circulación con variaciones de aire comprimido impone menos presión sobre las formaciones de fondo que los sistemas de lodo convencionales, haciendo que la técnica sea especialmente aplicable en la perforación de zonas de pérdida de circulación. Debido a la capacidad de lograr una densidad más baja que la del aceite, además de mayores velocidades de perforación, una vida útil más larga de la barrena, menores requisitos de productos químicos, y la expansión de la perforación con desbalance de presión, los sistemas a base de aire tienen claras ventajas económicas en comparación con los sistemas líquidos. Por otro lado, las aplicaciones viables para cualquiera de los sistemas a base de aire

permite la realización de pruebas continuas de la formación y minimiza dramáticamente los daños a las zonas productivas sensibles al agua. Además, la perforación con aire (polvo) reduce el consumo de agua, los costos de lodo y/o productos químicos y el impacto sobre el medio ambiente. Sin embargo, la perforación con aire (polvo) tiene ciertos inconvenientes que limitan considerablemente su campo de aplicación. Como se mencionó anteriormente, la perforación con aire (polvo) produce recortes muy pequeños, no tolera el agua, y al encontrar formaciones húmedas, puede causar una acumulación comúnmente llamada "anillo de lodo". Cuando esto ocurre, la acumulación de recortes pegajosos en el espacio anular continúa, lo cual termina restringiendo el flujo de aire. Esto puede causar la pega de la tubería o un incendio en el fondo (combustión). El riesgo de erosión del pozo hace que la perforación con aire (polvo) no sea adecuada para las formaciones no consolidadas, frágiles o de alto buzamiento. Este procedimiento no debería usarse en formaciones igualmente inestables, ya que no genera ninguna presión hidrostática ni contiene aditivos para estabilizar el pozo o desarrollar un revoque. Además, el alto caudal de aire y la baja densidad requieren el uso de tuberías de perforación y equipos de perforación más resistentes. Por otra parte, la perforación con aire (polvo) está generalmente reservada para formaciones de presión baja o presurizadas normalmente donde las presiones hidrostáticas mínimas no tienen consecuencias negativas.

TÉCNICA DE PERFORACIÓN CON NIEBLA¹⁰

En algunas aplicaciones de perforación con aire, el pozo produce demasiada agua y/o otros líquidos, haciendo que sea imposible perforar exclusivamente con aire. En estas situaciones se usa la perforación con niebla para prevenir la formación de anillos de lodo y evitar la acumulación de agua en el pozo. El agua, conteniendo un agente espumante (jabón), es inyectada dentro de la corriente de aire en la superficie y descargada en forma de niebla húmeda. Como regla general, la perforación con niebla utiliza 96 a 99% de aire con 1 a 10 galones por minuto (gpm) de agua que contiene 0,25 a 1% de agente espumante. La perforación con niebla se usa principalmente cuando la probabilidad de que se produzca un incendio o una explosión en el fondo es demasiado alta para la perforación con aire (polvo), además donde los problemas de pérdida de circulación están presentes, y el agua y las lutitas sensibles (salmuera) están expuestas. La perforación con niebla es de uso extendido en la perforación de pozos profundos de gas o geotérmicos, o cuando se requiere una protección adicional contra la corrosión y la erosión. Esta técnica crea recortes ligeramente más grandes y produce las mismas altas velocidades de penetración y larga vida útil de la barrena que la perforación con aire (polvo) convencional. Además, las pequeñas gotas de agua/recortes producidas están dispersas en forma de niebla fina en la corriente de aire ascendente, lo cual permite eliminarlas eficazmente del pozo sin correr el riesgo de embolamiento de la barrena o formación de anillos de lodo. Esta técnica puede usar productos químicos inhibidores (como KCl y polímeros) para ayudar a proteger las lutitas sensibles, es menos erosiva y permite la adición de productos químicos para controlar la corrosión. Como la perforación con aire (polvo), la perforación con niebla tiene claros inconvenientes. Como humecta el pozo, la perforación con niebla aumenta la posibilidad de derrumbe, hinchamiento y erosión. Además, los caudales de aire requeridos con la niebla son generalmente $\pm 30\%$ más altos que para la perforación con aire (polvo), con presiones correspondientes más altas comprendidas entre 400 y 1.200 psi, comparado con 200 a 800 psi para la perforación con aire seco (polvo). El agente espumante y los productos químicos de control de corrosión requeridos para manejar el influjo de agua, el cual está limitado a aproximadamente 100 gpm, resulta en mayores costos de productos químicos.

TÉCNICA DE PERFORACIÓN CON ESPUMA¹⁰

La perforación con espuma se suele dividir en perforación con espuma estable y perforación con espuma rígida. En general, la perforación con espuma estable utiliza 55 a 96% de aire, con una mezcla de agua dulce, 0,5 a 1% de agente espumante y aditivos químicos que forman una emulsión de aire en agua o espuma estable. La espuma estable es lo que la mayoría de la gente suele llamar simplemente "espuma". En cambio, con la espuma rígida, se incorpora bentonita y polímeros para formar una espuma con mejores propiedades de limpieza del pozo y una estructura de espuma "más rígida" que es más duradera. La espuma rígida es especialmente beneficiosa en la perforación de pozos de gran diámetro donde la capacidad de volumen de aire es insuficiente para que se pueda obtener una limpieza adecuada con una espuma normal. La perforación con espuma es especialmente eficaz en las zonas de baja presión con un mayor influjo de agua o en las zonas donde la pérdida de circulación es grave. La perforación con espuma también es aplicable cuando se necesita una Densidad Equivalente de Circulación (ECD) de 2 a 4 lb/gal para controlar el pozo o limpiar los pozos productivos que se han llenado de arena. La perforación con espuma aumenta la presión hidrostática, presenta excelentes capacidades de limpieza del pozo y tiene la capacidad de suspender los recortes cuando se interrumpe la circulación. Además, el requisito de volumen de aire es más bajo y la estabilidad del pozo es más alta. La perforación con espuma permite la aplicación de productos químicos y produce recortes más grandes que son más representativos de la formación, simplificando el análisis geológico. Como el líquido generalmente no puede ser reutilizado, los costos de productos químicos son altos, así como el consumo de agua. La perforación con espuma requiere una dosificación exacta del volumen de la mezcla de aire y espuma, y también requiere otros equipos especializados, tal como una bomba de espumante de tamaño mediano con una capacidad de 25 a 100 gpm.

TÉCNICA DE PERFORACIÓN CON LODO AIREADO¹⁰

En el proceso de aireación, se hace circular simultáneamente aire y lodo dentro del espacio anular, en forma de burbujas de aire dispersas en un líquido, para reducir la densidad equivalente de circulación (ECD) por debajo de la del agua. En general, el uso de lodo aireado es aplicable cuando se perforan formaciones con presiones por debajo de lo normal o cuando se producen flujos de agua de alta velocidad durante la perforación con aire o espuma, tal como en la perforación de un pozo geotérmico o artesiano. El lodo aireado se usa frecuentemente con éxito cuando la pérdida de circulación predominante hace que sea demasiado costoso perforar con lodo tradicional. El lodo aireado se usa en aplicaciones que requieren una densidad de 4 a 8 lb/gal para controlar el pozo, y cuando se desea obtener mayores velocidades de penetración. Los lodos aireados deberían tener bajos esfuerzos de gel para facilitar la separación del aire y obtener una baja viscosidad y buenas características de control de la corrosión. Igual que la perforación con espuma, el lodo aireado aumenta las presiones hidrostáticas por encima de las presiones obtenidas con la perforación con aire o niebla, y facilita la buena limpieza del pozo, resultando en velocidades de penetración que pueden ser 2 a 3 veces más altas que las que se obtienen con los sistemas de lodo convencional. La inyección de aire dentro de un lodo completamente formulado permite un buen control de enjarre y de filtrado, y produce recortes de tamaño normal. Se trata de un proceso que combina lo mejor de la perforación con aire (polvo) con un sistema de lodo convencional y es ideal para perforar formaciones inestables donde la pérdida de circulación constituye un problema importante. La perforación con lodo aireado requiere equipos adicionales, tiene mayores velocidades de corrosión (a veces graves), puede sufrir problemas de fluctuación y surgencias intermitentes en secciones de gran diámetro, y expone el pozo a

un flujo turbulento. Existen varios métodos diferentes para obtener lodo aireado dentro del espacio anular:

- Inyección directa de aire dentro del lodo en el tubo vertical.
- Inyección de aire dentro de la tubería parásita, cerca de la última zapata de cementación de la tubería de revestimiento.
- Inyección de aire en el microespacio anular, entre la última tubería de revestimiento y otra tubería de revestimiento no cementada, suspendida temporalmente en el pozo.

La inyección directa de aire y lodo en el tubo vertical es el método que se usa más frecuentemente.

Con la tubería parásita, la cual se introduce con la última tubería de revestimiento, se hace circular el aire a través de la tubería, dentro del flujo de lodo anular, cerca de la zapata de cementación de la tubería de revestimiento. En cambio, el lodo circula bajando por la tubería de perforación, de la manera normal. Esto resulta en un flujo de lodo aireado en el espacio anular, desde la zapata de cementación de la tubería de revestimiento hasta la superficie. Como el flujo de lodo es independiente del aire y viceversa, la aireación "parásita" es más fácil de controlar y requiere una presión de aire inferior. La aireación parásita tiene marcadas desventajas. Éstas se centran generalmente en el tiempo adicional y los mayores costos relacionados con la introducción de la tubería, la necesidad de perforar un pozo de mayor tamaño en el intervalo anterior, y el equipo mecánico adicional requerido para lograr el control adecuado de la presión. Además, la ECD más baja que se puede lograr es más alta que la que se puede obtener con la aireación estándar, debido a la capacidad limitada de volumen de aire de la tubería y a la menor profundidad de inyección.

Con la inyección en el microespacio anular, se introduce otra tubería de revestimiento temporal dentro de la última tubería de revestimiento, y se inyecta gas dentro del espacio anular entre las dos tuberías, mientras que se hace circular el lodo dentro de la tubería de perforación. En algunos casos, el sistema de inyección de gas microanular puede utilizar instalaciones de cabezal de pozo convencionales, lo cual permite evitar las complejidades del cabezal del pozo relacionadas con la tubería parásita. Por otra parte, puede que sea necesario aumentar el tamaño de la tubería de revestimiento intermedia para permitir la instalación de una tubería temporal con un diámetro de paso adecuado para la sección del pozo considerada. A este fin, podría ser necesario perforar la sección anterior del pozo con un diámetro más grande del previsto y reducir la sección aireada.

INCENDIOS DE FONDO¹⁰

El riesgo de incendios y explosiones en el fondo del pozo es un fuerte motivo de preocupación durante la perforación con aire (polvo). Durante la perforación con aire (polvo), los incendios de fondo pueden ocurrir cuando una mezcla combustible de gas o aceite encuentra una temperatura y presión suficiente para causar la ignición. Las presiones anulares aumentan cuando se forma un anillo de lodo, y cualesquier chispas o temperaturas elevadas en el fondo del pozo pueden causar la ignición. La perforación con niebla reduce las posibilidades de que se forme un anillo de lodo, y por lo tanto las combustiones en el fondo del pozo. La ignición suele ocurrir cuando la relación de gas a aire excede 5 a 15% de metano con un contenido de oxígeno mayor que 5%, como lo muestra la Figura 1V.11. Chispas pueden formarse cuando los insertos de barrena de carburo de tungsteno, los portamechas y las juntas de tubería chocan contra las paredes del pozo durante la perforación de arenas cuarcíticas duras. Incluso la fricción o el flujo de aire a través de un pequeño agujero (200 a 400 psi) en la tubería de perforación puede generar suficiente calor para causar un punto caliente. Tal como las chispas en el fondo del pozo, este punto caliente puede causar la ignición si hay presente una mezcla carburante (combustible/aire) apropiada.

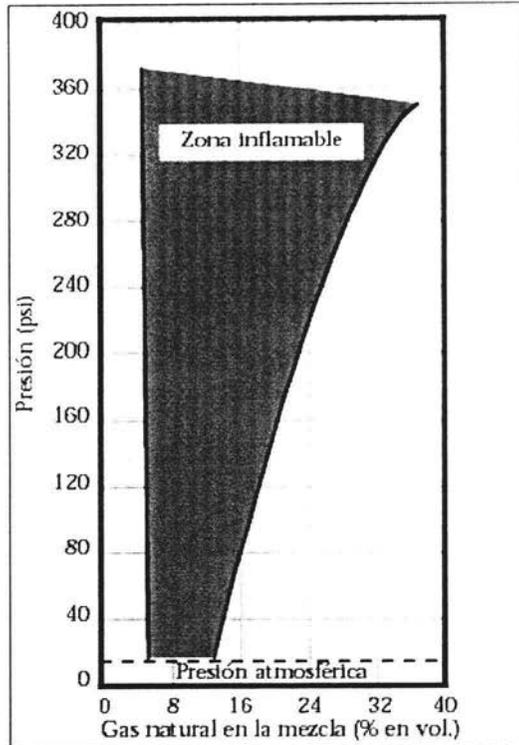


Figura IV.11: Rango de inflamabilidad, efecto de la concentración y presión de gas.

TÉCNICA DE PERFORACIÓN BAJO BALANCE¹²

Perforar con tecnología bajo balance proporciona buenas alternativas de solución a zonas con problemas de pérdidas de circulación. La perforación en yacimientos depresionados con técnicas convencionales representa un gran reto en tanto enfrenta diferentes problemas tales como: las pérdidas totales de circulación, además de esto, brotes, pegaduras por presión diferencial, atrapamiento de sartas de perforación por empacamiento, descontrol subterráneo, etc., lo que provoca diversas consecuencias, como que los pozos solo se puedan perforar pocos metros dentro del horizonte productor, o bien que se tenga que invertir más para controlar pérdidas o para operaciones riesgosas, todo lo cual tiende a incrementar el costo de la perforación. Lo anterior obedece a que la densidad equivalente necesaria para perforar cierta sección del pozo, contrasta con la que requiere otra sección en tanto se trata de formaciones de diferente presión que requieren tuberías de revestimiento adicionales, lo que no siempre es técnica y económicamente factible; sin embargo con la técnica de perforación bajo balance es posible resolver tales problemas.

INGENIERIA DE DISEÑO DE LA PERFORACIÓN BAJO BALANCE¹²

Se define como operación bajo balance cuando la densidad equivalente del fluido de control se diseña intencionalmente para que sea menor que las presiones de las formaciones que se están perforando, el fluido puede tener densidad natural o inducida, en cuyo caso se agrega

gas, aire o nitrógeno a su fase líquida, permitiendo la entrada de fluidos de la formación al pozo, que deben circularse y controlarse en la superficie. El uso de esta técnica no se limita a formaciones de baja presión, pues también se aplica en pozos de alta presión, con los mismos objetivos, reducir riesgos de pérdidas de circulación, evitar el atrapamiento por presión diferencial y hacer factible la perforación.

Convencional	Bajo Balance
- Se evitan brotes manteniendo la $P_h > P_y$	- Se causa flujo intencional haciendo $P_h < P_y$
- Se detiene la perforación al haber flujo	- Se continúa perforando aun con flujo
- Se detiene la perforación al haber pérdida de circulación	- Se continúa perforando aun con pérdida de circulación
- No se realizan viajes con presión	- Se realizan viajes con presión controlada

La figura 1V.12 compara algunos criterios de perforación convencional con perforación bajo balance.

APLICACIÓN Y CASOS GENERALES DE LA PERFORACIÓN BAJO BALANCE¹²

La perforación bajo balance es aplicable en formaciones con pérdidas de circulación, mecánicamente estables, aun cuando se manejen presiones hidrostáticas menores que la presión de los fluidos de la roca, como se ilustra en la figura 1V.13. Por su parte, la figura 1V.14 ilustra una formación en la que no es posible utilizar la perforación bajo balance pues la densidad equivalente a su estabilidad mecánica no permite usar densidades menores a su presión de poro, por lo que la zona de bajo balance no está definida para esta formación, pues provocaría un colapso o derrumbe del pozo. Así se tienen dos ejemplos generales de aplicación cuyas diferencias en costo y operación obligan a mencionarlos por separado:

- a).- Cuando la densidad requerida puede alcanzarse con fluidos líquidos.
- b).- Cuando la densidad equivalente es tan baja que no puede lograrse con líquidos y es necesario aligerar un fluido base.

Por lo anterior, y ante los retos planteados, en México se han aplicado las siguientes modalidades de perforación bajo balance:

- 1).- Fluidos aligerados con nitrógeno y recuperación a presión atmosférica.
- 2).- Fluidos aligerados con nitrógeno y recuperación con separador de vacío.
- 3).- Fluidos líquidos aplicando menor densidad que la requerida y recuperación a presión atmosférica.



Figura 1V.13. Definición de la estabilidad mecánica de la formación en términos de densidad equivalente.

DENSIDAD EQUIVALENTE DE LOS DIFERENTES
ESFUERZOS EN EL POZO (rocas mecánicamente inestables)

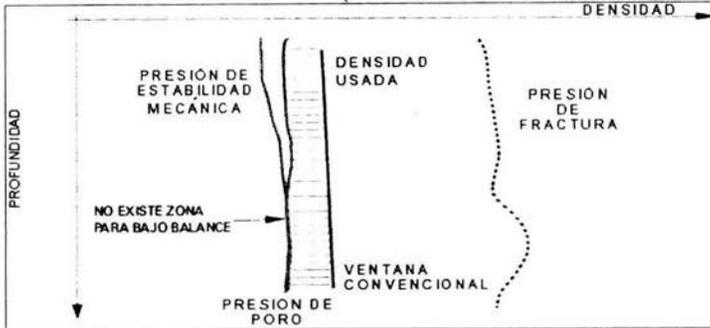


Figura 1V.14. Ejemplo de rocas en donde no es aplicable la perforación Bajo Balance porque el pozo se colapsara. Obsérvese que no existe área de bajo Balance entre la presión de poro y la estabilidad mecánica.

CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR EL FLUIDO CIRCULANTE A EMPLEAR¹²

Como el fluido circulante debe realizar las funciones normales de un fluido de perforación y resolver los problemas planteados por la condición bajo balance, esta debe reunir características de densidad, lubricación y acarreo de recortes, además de:

- a).- Evitar que se presente corrección en los elementos tubulares dentro del pozo.
- b).- Evitar que se genere combustión espontánea.
- c).- Evitar inestabilidad química.
- d).- Tener el menor costo posible.

Cuando se requiere una densidad equivalente menor que la que se logra con fluidos líquidos, se puede optar por sistemas de fluidos ultraligeros con esferas de vidrios de baja densidad,

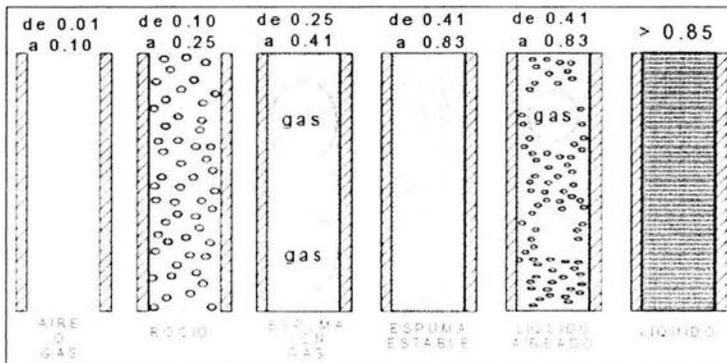


Figura 1V.15. Diagrama de Lorenz para ilustrar las densidades equivalentes que pueden lograrse con diferentes fluidos, o mezclas de ellos.

tecnología reciente que tiene limitantes en profundidad debido a la resistencia compresiva de estas. Como solución al tema y mas generalizada se emplea un liquido mezclado con gas en tal proporción que se obtenga la densidad equivalente necesaria, con las propiedades de

lubricación y acarreo de recortes. Según el estado mecánico y la posición direccional del pozo, se realiza el siguiente análisis:

FASE GASEOSA¹²

Como en todas las operaciones que se realizan en un pozo, se trata de perforar con seguridad, al mismo costo y con el menor tiempo posible. El gas más barato es el aire, pero utilizarlo implica riesgos de corrosión y combustión espontánea. Es común tener en los pozos las condiciones de presión, temperatura y presencia de fluidos para caer en ambas situaciones, por lo que el gas más utilizado es el nitrógeno, ya sea abastecido en carro tanques provenientes de planta o producirlo in situ, por medio de membranas. La decisión de usar uno u otro depende de la facilidad para controlar la calidad y pureza del gas y la rápida capacidad de respuesta del proveedor. Existen diversos métodos para calcular el volumen de gas requerido y obtener una columna estable con la densidad necesaria, pero todos están fundamentados en el comportamiento fisicoquímico y termodinámico de los gases. Las diferencias las constituyen consideraciones particulares como tipo de gas y fase líquida que se use; además, la relación con los factores geométricos del pozo, la estabilidad del surfactante empleado, a las diversas condiciones encontradas en el pozo, las variaciones en la densidad del gas por efecto de cambios en la temperatura y presión; así como la incorporación de gases y líquidos del yacimiento, todos estos elementos hacen variar la composición y el comportamiento del fluido, lo que pone de manifiesto lo complejo de su análisis.

FASE LÍQUIDA¹²

La fase líquida que se usa normalmente, es la misma que para el fluido de perforación normal para el campo. En función de las condiciones de los pozos se emplea:

Diesel: sobre todo porque es el líquido comercialmente viable de menor densidad (0.87 gr/cm^3) y porque evita totalmente el desarrollo de problemas fisicoquímicos por la presencia de arcillas en la formación, lo que ocurre a menudo.

Agua: En yacimientos calcáreos depresionados, profundos ($> 5 \text{ mil m}$), con mínimo contenido de arcillas y con gradientes de presión menores a 0.7 gr/cm^3 , el uso de agua es la opción económicamente más factible, dado que el uso de diesel no garantiza conseguir circulación, lo que puede implicar la pérdida de grandes volúmenes de fluido.

Salmuera: Puede contrarrestar el efecto de la hidratación de arcillas, pero presenta complicaciones operativas con el control de su densidad, además de su mayor costo.

Fluidos de baja densidad: Son emulsiones directas (base agua) o inversas (base aceite) que dan como resultado fluidos de densidad entre 0.87 a 0.95 gr/cm^3 , según su formulación y uso. Tienen la ventaja de ser sistemas completos resistentes a contaminaciones.

Espumas: Recientemente se han logrado avances significativos con el empleo de sistemas de espumas, en donde la fase continua es el líquido y la fase dispersa es el gas. Permiten alcanzar densidades de hasta 0.6 gr/cm^3 , y su mayor complicación es su manejo en superficie.

Fluidos especiales para yacimientos (TIPO DRILLIN).- Son limpios y libres de sólidos inertes, cuyo costo es significativo, su uso debe justificarse económicamente en función de los beneficios de evitar daño al yacimiento

ADITIVOS¹²

Se debe usar un agente surfactante que ayude a alcanzar el patrón de flujo necesario para el buen desarrollo de la perforación. Puede seleccionarse de un espumante de tipo aniónico para generar suficiente tensión interfacial lodo-nitrógeno, y que la energía cinética del gas arrastre al lodo, a los líquidos producidos por el pozo y mantengan el patrón de flujo en los límites

deseados, aun cuando haya menor control sobre la proporción de las fases por la producción de las formaciones. Por otro lado, el surfactante permite lograr suficiente capacidad de acarreo para limpiar el fondo del pozo y llevar los recortes hasta la superficie. Esto es básico debido a que comúnmente no se logra tener retorno completo durante la perforación bajo balance, o se pierde control sobre la columna de fluido en el espacio anular en intervalos que generan mayores caídas de presión tales como: cambios de gradientes de fractura de la roca, yacimientos con fracturas naturales, con alta permeabilidad o cambios de geometría, todo lo cual obliga a hacer una rápida adecuación de la condiciones de operación para evitar puentes de recortes que atrapen la tubería. Los aditivos pueden agregarse en dosis constantes a la succión de la bomba, en baches directamente en la tubería de perforación al hacer la conexión o de ambas maneras, ya que, debido a sus propiedades lubricantes, reduce la torsión y arrastre de la sarta de trabajo. Es necesario aplicar diversos modelos para simular los cambios en las condiciones de operación por efecto del uso de gas, para hacerlas optimas y prever los casos criticos que deban evitarse. Asimismo, se requiere efectuar simulaciones del comportamiento de otras variables importantes, que se mencionan a continuación:

TORSIÓN Y ARRASTRE¹²

El factor de fricción de una tubería de perforación en agujero entubado o abierto, puede variar entre 0.15 a 0.35 según los componentes de la fase líquida, así como del tipo y cantidad de sólidos acarreados; pero, cuando se perfora con aire o gas, puede ser tan alto como 0.8 porque no hay lubricación. Ya sea que se use diesel o fluidos de emulsión inversa o que se tenga incorporación de hidrocarburos líquidos en el fluido de perforación, se reduce la fricción. De lo contrario, pueden agregarse materiales sólidos, como grafito, o aditivos como los antes detallados para incrementar la lubricación.

BARRENAS E HIDRÁULICA¹²

Las barrenas deben ser adecuadas de acuerdo con el fabricante, debido a sus mejoras sustanciales en estructura de corte y sistema de rodamiento respecto a las convencionales. La condición es respetar los parámetros óptimos de gasto, peso, torsión y velocidad de rotación, considerando que se usa un fluido en dos fases cuya densidad puede variar y provocar cambios en la flotación, en el peso sobre la barrena y en la torsión de la sarta de perforación. La condición de bajo balance genera incrementos sustanciales en la velocidad de penetración, pero debe aplicarse el gasto óptimo para garantizar limpieza adecuada del fondo del pozo y la velocidad anular requerida para el acarreo de los recortes.

PROYECTO DIRECCIONAL¹²

Es conveniente analizar las severidades esperadas o las máximas permisibles en todos los pozos, aunque este factor es mas critico en pozos con ángulo superior a 30° u horizontales. Dos son los fines específicos:

- a).- asegurarse que la presión hidrostática esta bien calculada, sobre todo en pozos propensos a perdidas de circulación
 - b).- cuidar que la geometría del pozo no genere grandes caidas de presión por fricción
- Normalmente, en la etapa de bajo balance de nuestros pozos, el objetivo es mantener el ángulo; pero es posible controlar la desviación con toma sencilla, múltiple, giroscópico o unidad de memoria, incluso con la presencia de un fluido compresible en el pozo (gas, nitrógeno, aire), que afecta significativamente el funcionamiento de las herramientas de transmisión de datos a superficie por medio de pulsos ya sea negativos o positivos.

Si es necesario usar válvulas de contrapresión en la sarta, es preferible usar las de tipo charmela, que permiten el paso de ciertas herramientas. El uso de MWD electromagnético es viable también con fluidos compresibles, pero depende para su funcionamiento de la resistividad de las formaciones desde la profundidad de perforación hasta la superficie.

Otra opción es el MWD con almacenamiento de datos en el fondo del pozo, pero no se dispone de la información en tiempo real. Si se considera que la trayectoria de los pozos está definida, además de que en pozos profundos y complicados es probable no poder dar a los motores de fondo las condiciones hidráulicas necesarias para un buen desempeño, la premisa de la densidad equivalente de circulación hace preferible el uso de sarta rotatoria.

SARTA DE PERFORACIÓN¹²

En la sarta de trabajo se ajusta el diseño a la tensión debido a los cambios en la flotación, tanto en condiciones de pérdida de circulación como con el fluido aireado en el pozo. Para el bombeo de gas se utilizan válvulas de contrapresión con el siguiente propósito: sobre la barrena para evitar entrada de fluidos de la formación al interior de la sarta, y sobre el primer tubo que se conecta antes de iniciar la perforación con cada nueva barrena para evitar pérdidas de nitrógeno y tiempo en estabilizar presión al realizar la conexión de cada tubo.

CAPITULO V.
CASO DE ESTUDIO: “POZO SARAMAKO-1 DEL ACTIVO
REFORMA-COMALCALCO”

HISTORIA DE LA PERFORACIÓN DEL POZO SARAMACO-1

FECHA	HISTORIA DE PERFORACIÓN
NOVIEMBRE DEL 2001	Con barrena REED, No. de serie B-09425, de 26”, tipo-111, con 3 toberas de 18/32” (usada), perforó a 50 m, en 03 h promedio 3.6’, 3 últimos metros 2’ 2’ y 2’ metió y cementó tubo conductor de 20” BCN 29 las/pie K-55 a 50 m, con 17 toneladas de cemento con densidad de lechada de 1.90 gr/cm ³ , desplazó mismo con 45 barriles, equivalentes a (7.15 m ³ ó 1137.51 litros), de lodo inhibido de 1.10 x 45, salió cemento a superficie, instaló y probó conexiones superficiales de control.
Del 08 al 09	
Del 09 al 13	Con barrena REED, No. de serie Q-12050, de 17 1/2”, tipo-111, con 4 toberas 3 de 18/32” y 1 de 16/32”, perforó de 50 a 500 m, record 450m en 24:46 hrs. promedio 3.3’, 3 últimos metros 3’ 3’ y 3’ <i>circuló tiempo de atraso</i> , levanto a 440 m con fricción de 20 a 25 toneladas aumentó densidad al lodo de 1.25 a 1.28 gr./cm ³ , sacó T x T a superficie, acondicionó agujero a fondo y sacó para registros geofísicos.
Del 13 al 14	Efectuó registros geofísicos RI-SP-RG, DSI-RG y DR-CAL de 50 a 500m
Del 14 al 18	Metió y cementó la T.R. de 13 3/8” BCN J-55, K-55, 61 y 54.5 lbs/pie. a 500 m, con 55 toneladas de cemento apasco tipo “H” de 1.87 gr. /cm ³ , desplazó con 240 barriles, equivalentes a 38.15 m ³ ó 6066.77 litros, de lodo de emulsión inversa. de 1.25 gr. /cm ³ , salió cemento a superficie, presión final 70 Kg. /cm ² , esperó 16 hrs. de fraguado e instaló conexiones superficiales de control.
Del 18 al 22	Con barrena Hycallog, No. de serie-18073, de 12 1/4”, tipo DS34H, con 7 toberas de 14/32” metió a 473.19 m resistencia (<i>cople flotador</i>), rebajó cemento y accesorios a 500 m, probó la T.R. de 13 3/8” a 495 m, con 70 kg/cm ² , durante 15’ bien, perforó a 510 m, efectuó prueba de densidad equivalente a 1.60 gr/cm ² , perforó de 510 a 1348 m, suspendió para tomar desviación: a 700, 1000 y 1343m, 0°31’, 0°15’ y 0°38’ respectivamente, perforó de 1348 a 1850 m, suspendió para cortar Núcleo No.1; <i>por observar fricciones de 20 a 10 toneladas a 1220, 1414, 1540 y 1841 m, incrementó la densidad al lodo de 1.25 a 1.40 gr/cm³</i> , record 1350 m en 34:35 horas promedio 1.54’, 3 últimos metros 8’ 8’ y 9’ x metro, tomó desviación a 1836 m, 0°54’, sacó barrena a superficie.
Del 22 al 23	Armaron corona Christensen de 8 3/4” x 4” y barril muestrero de 6 3/4” x 4” x 30 pies, metió a 1850 m y cortó Núcleo No. 1 de 1850 a 1859m (9m), recuperó 8.34 m, equivalente al (92.66%)
Del 23 al 25	Con misma barrena anterior Hycallog, No. de serie-18073, de 12 1/4”, tipo DS34H, con 7 toberas de 14/32” perforó de 1859 a 2500 m, suspendió por programa, circuló y <i>acondicionó para registros, con lodo de 1.45 gr/cm³ x 80 seg.</i> Sacó barrena a superficie con desgaste de 30 %, record 2000 m en 57:50 hrs. Promedio 1’74”; 3 últimos metros 2.5’, 2.5’ y 2.5’
Del 25 al 27	Efectuó registros geofísicos AIT-RG de 500 a 2495m, DSI-RG de 500 a 2495 m, SHDT-NGT-DR-CAL de 500 a 2500m, CNL-LDL-RG

Del 27 al 29	Con misma barrena anterior Hycallog, No. de serie-18073, de 12 1/4", tipo DS34H, con 7 toberas de 14 3/2", metió a 2261m, resistencia, conformó agujero a 2355 m, observó sarta atrapada, liberó misma, aumentando la densidad de 1.45 a 1.50 gr/cm ³ , conformó agujero T x T a 2470 m, suspendió por falta de avance y por resistencia franca: observo ligera perdida de 7m³ de lodo en 2 horas . Aumentó la densidad a 1.52 gr/cm ³ y sacó barrena a superficie.
DEL 29 DE NOVIEMBRE AL 03 DE DICIEMBRE	Etapa de 9 3/8" Metió y cementó la T, R de 9 3/8" N-80, 47 lbs/pie, VAM, FJL y T.R. de 9 5/8" P-110, VAM SLIJ2 a 2464m, con 60 toneladas de cemento de 1.95 gr/cm ³ , desplazó con 585 barriles, equivalente a: (93.004 m ³) ó (14787.75 lbs), de lodo de emulsión inversa de 1.55 gr/cm ³ , presión final 70 kg/cm ² , se observo perdida de 25 m³ de lodo de emulsión inversa , salió cemento a superficie, esperó 20 horas de fraguado, instaló y probó conexiones superficiales de control 100 % bien.
Del 03 al 05	Con barrena REED, serie BO9107, tipo-136, con 3 toberas de 18/32", metió a 2435 m (cople flotador), probó con 70 kg/cm ² , bien, rebajó cemento y accesorio a 2464 m, zapata de 9 3/8", repasó y estabilizó agujero de 2464 a 2500m, <i>por observar resistencia franca a 2472 m y empacarse la sarta, aumentó la densidad al lodo de 1.65 a 1.78 gr/cm³</i> , levantó, barrena a 2464m, libre, bajó a 2490 m, resistencia franca, repasó y estabilizó a 2500 m, perforó a 2504 m, suspendió por falta de avance, sacó barrena a superficie, desgaste T-4, B-4
Del 05 al 06	Con barrena Hycallog, No. de serie-HR0110, de 8 1/2", tipo DS49H, con 3 toberas de 18/32" y sarta navegable, metió a 2485m, resistencia, repasó a 2504 m (fondo) e intentó perforar sin éxito, por observar <i>empacamiento de la sarta</i> , aumento la densidad de 1.78 a 1.80 gr/cm ³ , sacó barrena a superficie para eliminar motor de fondo y cambiar sarta, observó fricción de 30 toneladas sobre su peso de 2504 a 2485 m
Del 06 al 07	Con misma barrena anterior metió a 2464 m (zapata), aumentó la densidad al lodo de 1.80 a 1.85 gr/cm ³ , metió barrena a 2486 m, resistencia, conformó agujero a 2504 m fondo, perforó a 2550 m; por observar fricción de 20 a 30 toneladas y resistencia franca en varias ocasiones, aumentó la densidad paulatinamente de 1.85 a 1.95 gr/cm ³ , sacó barrena a superficie; record 46m en 02:08 horas, promedio 2.78' últimos 3' 3" y 3"
Del 07 al 14	Inicia desviación Con misma barrena anterior y sarta navegable (equipo MWD y motor de fondo), metió a 2550 m y perforó desviando pozo, rotando y deslizando sarta, construyendo ángulo y rumbo a 2951m, circuló tiempo de atraso, levantó barrena a la zapata 2464 m, circuló bajando la densidad al lodo a 1.92 gr/cm ³ , metió libre a 2690 m, circuló bajando la densidad a 1.89 gr/cm ³ , metió a fondo y perforó desviado, manteniendo ángulo y rumbo a 3444 m, suspendió por camino de acceso cerrado por afectación a partir de las 17:00 del día viernes 14-12-01, circuló emparejando columnas por observar lecturas máximas de gas 260 U.R durante 30'
Del 14 al 17	Levantó barrena a la zapata y con barrena de 12" a 2464 m y preventor cerrado, esperó solución al conflicto campesino, total (45:00 de espera), soluciono conflicto a las 15:00 del día domingo 16/12/01,
Del 17 al 18	Con corona Christensen de 8 3/8" x 4" y barril muestrero de 6 3/4" x 4" x 30 pies, cortó Núcleo No. 2; de 3444 a 3453m, (9m), recuperó 7.72 m, equivalente a (85.77 %)
Del 18 al 22	Con barrena Hycallog, No. de serie-HR0101, de 8 1/2", tipo DS49H, con 3 toberas de 18/32" y sarta navegable, perforó desviado de 3453 a 3528 m

	<p>Suspendió por observar perdida total de circulación de 9 m³. Levanto barrena a la zapata, bombeo 47 m³ de lodo de 1.83, 1.47 y 1.77 gr/cm³, sin llenar pozo; bombeo 8 m³ de lodo de 0.98 gr/cm³. Lleno pozo con 7.5 m³ de lodo sin peso de 0.98 gr/cm³; observo espejo calculando densidad de control de 1.67 gr/cm³. Sacó barrena a superficie. Volumen de lodo perdido 82 m³ eliminó equipo MWD, metió misma barrena a 1000 m; acondiciono 90 m³ de lodo de 1.75 gr/cm³, saturado con 40 kg/m³ de obturante (bicarbonato de calcio) Bombeo y observo perdida total de circulación (volumen perdido 16 m³); metió barrena a 3528 m, Bombeó bache viscoso de 20 m³ de lodo de 1.75 gr/cm³, saturado con 100 kg/m³ de obturante (carbonato de calcio); observo perdida total de circulación; levanto barrena a 1000 m; acondiciono 90 m³ de lodo de 1.60 gr/cm³, con 40 kg de obturante (carbonato de calcio de cuarzo celulósico). Emparejo columnas a 1.70 gr/cm³; metió barrena a 1500 m, emparejo columnas a 1.69 gr/cm³; metió barrena a 2464 m. Emparejo columnas a 1.68 gr/cm³, con una concentración de 40 m³ de obturante (carbonato de calcio cuarzo celulósico); metió a 3000 m. Volumen acumulado 192 m³.</p>
23	<p>Con barrena a 3000 m circulo a bajo gasto homogenizando y emparejando columnas a 1.68 x 85 gr/cm3/seg; metió barrena a 3518 m, levanto misma a 3200 m, en ambos casos se observo abatimiento de espejo, bajo densidad al lodo de 1.68 a 1.65 gr/cm³. Con barrena a 3200 y 3350 m circuló, bien.</p>
24	<p>Metió barrena 3528 m, observo resistencia circuló, observo pérdida parcial de circulación de 7 m³; suspendió bombeo y observo abatimiento de espejo; levanto barrena a superficie, efectuó registro DIL/RG de 2464 a 3527 m. Metió barrena y sarta empacada a 850 m</p>
25	<p>Metió barrena de 8 ½ a 2464 m; emparejó columnas de 1.65 a 1.62 gr/cm³; con lodo saturado con 70 kg/m³ de obturante granular medio. Metió barrena a 2680 m, resistencia, circuló.</p>
26	<p>Conformó agujero a 2680 a 2700 m, metió barrena 3528 m, circuló. Perforó a 3561 m</p>
27	<p>Perforó a 3608 m, pérdida parcial de 74 m³.</p>
28	<p>Perforó a 3609 m, donde se observó pérdida de lodo 15 m³, circuló, perforó a 3620 m, con pérdida de lodo de 23 m³, observó incremento en presas de 5 m³ cerró pozo, registró presiones de 3.5 kg/cm². Abrió pozo abatiéndose la presión a 0 (cero). Perforó a 3643 m con pérdida de lodo de 99 m³. Volumen total de lodo perdido 470 m³.</p>
29	<p>Perforó a 3673 m, observó incremento en presas de 5 m³, cerró pozo, registró presiones de 15 kg/cm² durante 10 minutos, abatiéndose la presión (no se cuantifico). Se observo perdida de lodo de 6.25 m³ por hora aumento densidad al lodo de 1.60 a 1.63 gr/cm³. Perforo a 3704 m. Volumen total de lodo perdido 605 m³</p>
30	<p>Perforó a 3734 m. Suspendió por bloqueo; circulo tiempo de atraso. Perforo a 3753 m, con perdida de lodo de 41 m³. Volumen total de lodo perdido 643.13 m³</p>
31	<p>Etapa de pérdidas de lodo y de último metro perforado. En la etapa 9 5/8" Perforo a 3773 m, circulo tiempo de atraso; bombeo bache con obturante de 1.63 X 80 gr/cm³ x seg., con barrena en la zapata, observo escurrimiento de 12 lts/seg. Incremento densidad de 1.63 a 1.70 gr/cm³. Al bombear, se abatió el espejo. Levanto barrena a 1500 m. Observo abatimiento de espejo, volumen de lodo perdido 80 m³. Volumen de lodo acumulado total 726 m³</p>

ENERO DEL 2002	Estacionados a 1500 m bajo densidad al lodo de 1.70 a 1.35 gr/cm ³ . Emparejo columnas a 1.70 gr/cm ³ . Sacó barrena a superficie. Tomó registros: AIT-CNT-LDT- DE 3755-2464 m escala 1/500. Conecto misma barrena.
1	
2	Conecto barrena. PDC. 8 1/2" tipo DS49H # RH-101 S/T. metió a 1500 m, donde circuló emparejando columnas a 1.60 gr/cm ³ . observó escurrimiento de 10 lts/seg. Ganancia de lodo de 3 m ³ . Cerró pozo. registró presiones en T.R. de 10 kg/cm ² . Con barrena a 2450 m emparejo columnas a 1.60 gr/cm ³ . <u>observó escurrimiento de 20 l/min</u>
3	Densificó lodo de 1.60 a 1.63 gr/cm ³ . Con barrena en la zapata circuló ciclo completo. densidad de entrada 1.63 gr/cm ³ y de salida 1.57 gr/cm ³ . <u>Observó escurrimiento de 20 lts/seg.</u> Ganancia de lodo de 3 m ³ . Cerró pozo. registro presiones en T.R. de 12 kg/cm ² Metió barrena a 3300 m con pozo estrangulado por 1 1/2" y franco. circuló. observó aportación de 10 m ³ . Densidad de entrada de 1.63 x 80 y de salida de 1.62 x 100 gr/cm ³ . <u>Observo escurrimiento de 20 lts/seg. Volumen perdido en 24 horas 34 m³; Volumen acumulado de 760 m³.</u>
4	Aumento densidad al lodo a 1.65 gr/cm ³ . Con barrena a 3670 m. Con pozo estrangulado por 1 1/2" y franco, circulo, con perdida de 2.2 m ³ /hr. Quedando densidad de entrada de 1.65 x 85 gr/cm ³ x seg y de salida de 1.62 x 100. gr/cm ³ x seg. Conforme agujero de 3670 a 3773 m. <u>observo perdida de 2.5 m³/hr. Volumen perdido 3 m³</u> Suspendió bombeo, <u>observo escurrimiento de 128 lts/seg.</u> abatiéndose a 10 lts/min. Ganancia de lodo de 4 m ³ Levanto barrena 3516 m, <u>observo perdida de 7 m³</u> . Suspendió bombeo <u>observo escurrimiento de 110 lts/seg.</u> abatiéndose a 8 lts/min. Volumen recuperado 9 m ³ Volumen perdido en 24 horas 50 m ³ ; <u>Volumen acumulado de 810 m³.</u>
5	Con barrena a 3516 m, observo pozo abatiéndose espejo, escurrimiento de 8 a 4 lts/min. Levanto barrena a 3464 m, circulo emparejando a 1.67 x 95 gr/cm ³ x seg, con <u>perdida de 13 m³</u> . Suspendió bombeo <u>observo escurrimiento de 125 lts/min.</u> abatiéndose a 4 lts/min. Ganancia de lodo de 9 m ³ de 13 m ³ de lodo perdido. Saco barrena a superficie.
6	Registros y perdidas Tomo registros: sónico dipolar y espectroscopia con rayos gamma a de 3752 a 2464 m. Conecto barrena 8 1/2 " PDC hycallog t-ds49h sin toberas
7	Metió barrena 2464 m (zapata). Intento circular, sin éxito. Saco barrena a superficie. Metió T.P. franca a 500 m
8	Con T.P. franca, estacionada a 500 m; instalaron equipo superficial de control del fluido; Levantaron barrena a 280 m
9	Sacaron barrena a superficie, metió T.P. franca a 2464 (zapata) m. Circulo emparejando columnas a 1.67 x 95, observo flujo de lodo de 90 lts/min abatiéndose a 3 lts/min. Levanto T.P. franca a 390 m
10	Saco T.P. franca a superficie; conecto barrena. de 8 1/2 " PDC ds49h. sin toberas y metió a 2464 m, bajo la densidad al lodo de 1.64 a 1.60 gr/cm ³ , respectivamente. Bombeo por espacio anular lodo de 1.60 gr/cm ³ y lodo sin peso. Observo abatimiento de espejo. Bombeo directo, donde observo perdida de 18 m ³ . Observo pozo regresando 18 m ³ Levanto barrena a 2000 m; circulo tiempo de atraso, <u>perdida de 21 m³. Volumen acumulado de 876 m³.</u>
11	Suspendió bombeo. Observo pozo, <u>regreso 21 m³ de lodo</u> de 1.57 x 70 gr/cm ³ x seg. Metió barrena a 2464 m, circulo tiempo de atraso. <u>perdió 5 m³</u> de lodo de 1.57 gr/cm ³ . Observo pozo, <u>regreso 5 m³ de 1.57 gr/cm³.</u> Metió barrena a 3267 m.

12	Metió barrena a 3635 m, donde observo empacamiento, levanto barrena a 3579 m, densifico lodo de 1.57 a 1.60 x 70 gr/cm ³ . Conforme agujero de 3750 a 3763 m, observo empacamiento: levanto barrena a 3570 m. Volumen total Acumulado 940.14 m³.
13	Programa de T.R. de 9 7/8" y perdidas. Con barrena a 3773 m. circulo tiempo de atraso, suspendió bombeo, regresando 13 m ³ . de lodo de 1.62 x 75 gr/cm ³ x seg. Metió T.R. P-110, 35 LBS/PIE. VAM-FJL.
14	Mete T.R. 9 7/8" a 3766.52 m, encontró resistencia. Circulo, con perdida de 19 m³, de lodo de 1.62 gr/cm³. Observo regresar 19 m³. Cemento a 3766 m.
15	Termino de Cementar T.R. con cemento de densidad de 1.70 y de 1.95 gr/cm ³ . Bien, Instalo líneas superficiales de control.
16, 17	Realizo líneas superficiales de control.
18	Etapa de perforación 5 7/8" Termino de Realizar líneas superficiales de control. Conecto barrena 5 7/8" REED tipo 517 s/tob. No.jr-7675 hycalog; metió misma a 400 m.
19	Metió barrena a 2700 m
20	Metió barrena a 3672 m; donde checo resistencia; metió barrena a 3733 m. venciendo resistencia punteada y donde checo cople de retención, rebajo sus coples, cemento y zapata de 7" a 3763 m. Metió barrena a fondo perforado 3773 m, donde observo perdida de lodo de (no tiene cuantificación). Lleno pozo con 1.2 m ³ de lodo de densidad de 1.17 gr/cm ³ . Levanto barrena a 2700 m, densificando lodo a 1.55 x 85 gr/cm ³ . (Volumen de lodo perdido a las 24:00 hrs. 7 m³)
21	Levanto barrena a 2250 m, densifico lodo a 1.55 x 85 gr/cm ³ x seg. Saco barrena a superficie. Metió misma barrena y escareador para T.R a 3756 m donde emparejo columnas a 1.50 x 85 gr/cm ³ x seg
22	Con barrena a 3756 m, observo pozo. Bien, levanto barrena y escareador a superficie; tomo registro VDL/RG Y CCL, de 3366 a 2450 m. Realizo preparativos para tomar registro VSP
23	<i>Registro vsp.</i> Bajo herramienta a 1500 m y realizo estación tomando registro perfil sísmico vertical. Tomo registro VSP por estaciones de 15 metros a 3505 m., observo fricción y atrapamiento de sonda, saco sonda a superficie; cambio cabeza y bajo sonda a 3505 m; registro VSP a 2800 m.
24	Continua tomando registro VSP a 1195 m, por estaciones de 15 m. Tomo registro VSP: 1045-895, 745-595, 445-295, 145-26. Metió barrena 5 7/8" y motor de fondo.
25	Levanto barrena a 23 m, metió barrena a 3766 m (zapata), donde circulo emparejando columnas de 1.50 a 1.35 gr/cm ³ . Perforo a 3799 m, levanto barrena a 3766 m (zapata).
26	Con barrena a 3766 m, levanto barrena a 23 m recupero herramienta del equipo de teleorientación. Armo barrena PDC Hycalog 5 7/8" T-DS68F y metió misma, y sarta navegable a 600 m
27	<i>Etapa de verticalización del pozo</i> Continua metiendo barrena a 3779 m. Perforo verticalizando pozo a 3882 m
28	Perforo a 3963 m verticalizando pozo, suspendió por falta de avance. Volumen de lodo perdido 11 m³.
29	Con barrena a 3963 m, suspendió por incremento en la velocidad de perforación circulo tiempo de atraso. Levanto barrena a superficie. Conecto barrena 5 7/8"

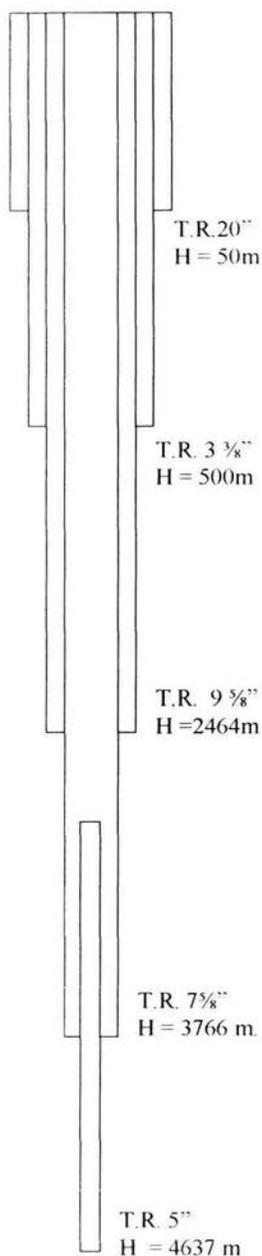
	tipo 517, s/tob. REED, No.jr-7675 y sarta navegable y metió a 3400 m
30	Metieron barrena a 3963 m fondo perforado, <i>lecturas de gas de fondo máximas 400 unidades rotenco</i> . Durante 30 minutos, bajo densidad del lodo de 1.31 a 1.30 gr/cm ³ . Perforaron verticalizando pozo a 3983 m. <i>Volumen de lodo perdido 13 m³</i> . Nota el reporte de perforación contiene un error, ya que, mencionan que tocaron resistencia a 3955 m. Perforación reporto como repasando el tramo de 3955 a 3963 m
31	Perforo verticalizando a 4004 m suspendió por falta de avance, circulo tiempo de atraso.
FEBRERO	Levanto barrena a superficie, dejando 3 conos en el fondo. Armo molino 5 7/8" y canasta colectora y metió mismas a 3500 m
1	
2	Metió molino 5 7/8", a fondo perforado 4004 m, se <i>observo gas de fondo 350 u. durante 30 minutos</i> , bajo la densidad de 1.30 a 1.17 gr/cm ³ . Opero molino de 4004 a 4004.70 m; saco molino y canasta colectora, recuperaron escasos fragmentos esquirlas de formación y ± 1/2 kilo de fierro. <i>Volumen total de lodo perdido 16 m³</i> .
3	Conecto barrena REED 5 7/8" T537 No. Ka 4870 y, circulo tiempo de atraso, lecturas máximas de <i>gas de fondo 550 u.</i> , durante 15 minutos. Con densidad de 1.30 gr/cm ³ , entrada y salida. Perforo a 4008 m
4	Perforó a 4019 m, suspendió por falta de avance, circulo tiempo de atraso. Inicio a sacar barrena a superficie.
5	Saco barrena a superficie desgastada, cambio barrena nueva REED 5 7/8" T53 7 No. Ka 4870, metieron misma a fondo 4019 m, iniciaron a perforar, durante la circulación se manifestaron lecturas de <i>gas de fondo de: 1030 u.</i> , durante 14 minutos, bajando la densidad del lodo de 1.30 a 1.17 gr/cm ³ durante 14 minutos, lecturas de gas succión de 10 u.
6	Perforo a 4032 m
7	Perforo a 4037 m, suspendió por terminar vida de barrena, saco misma a superficie.
8	Armaron barrena nueva Haycalog PDC ³ tipo sp 263, serie h39924, repasaron a partir del metro 4009 m, con <i>lecturas de gas de fondo máximas de 1000 u.</i> , densidad de entrada y salida de 1.30-1.10 gr/cm ³ , respectivamente durante 20 minutos. Perforaron a 4039 m
9	Perforaron a 4052 m
10	Suspendieron perforación por terminar vida útil de la barrena, circularon tiempo de atraso, e inician a sacar barrena a superficie, cambiaron barrena nueva Reed 5 7/8" t537 No. Mb5697 s/t, bajo misma a fondo, donde circulo, se <i>observo gas de fondo de 1009 u.</i> , durante 10 minutos densidad de entrada 1.30 y de salida de 1.09, gr/cm ³ , respectivamente, durante 10 minutos. Perforó a 4053 m.
11	Perforo a 4059 m, se observó <i>gas conexión de 81 u.</i> , perforó a 4068 m, observó <i>gas conexión de 41 u.</i>
12	Perforo a 4077 m, se <i>observo gas conexión de 76 u.</i> , perforo a 4086 m, se <i>observo gas de conexión de 252 u</i> durante 15 minutos, densidad de entrada, de 1.30 y de salida de 1.27 gr/cm ³ , respectivamente. Perforo a 4088 m, suspendió por termino de vida de la barrena, iniciaron a sacar barrena a superficie.

13	Sacaron barrena, conectaron barrena nueva Reed haycalog 537 serie k4877 s/t, metieron misma a 4086 m donde circularon, se observo <i>gas de fondo de 850 u</i> , durante 15 minutos, bajo la densidad de 1.30 a 1.09, gr/cm ³ . Perforaron a 4093 m, suspendieron para corte de núcleo No.3. Iniciaron a sacar barrena a superficie.
14	Sacaron barrena a superficie, armaron barril muestrero de 4 3/4" x 2 5/8" No. 40B, con corona de 5 7/8" x 2 5/8", tipo PDC cmm-34f, serie 1964258 con 6 aletas y 6 puertos de 12/32"; metieron corona y barril muestrero a fondo, donde circularon tiempo de atraso. Se observo el lodo en presas con densidad minima de entrada 1.16 gr/cm ³ durante 5 minutos (lodo en presas descompensado), <i>gas succión = 5 u</i> . Se observo <i>gas de fondo de 400 u</i> , durante 30 minutos, densidad minima de entrada de 1.04, salida 1.30, gr/cm ³ , respectivamente durante 4 minutos; gas succión 4 u.
15-18	Cortó núcleo No.3 de 4093 a 4099 m, (6 m) 5.30 m, equivalente a (88 %). Metieron barrena Reed 537 serie KA 4877 S/T a fondo, se observó <i>gas de fondo de 750 U</i> , durante 5 minutos, bajo la densidad de 1.30 a 1.16 gr/cm ³ perforó a 4136, donde suspendió por termino de vida de la barrena, iniciaron a sacar barrena a superficie.
18-20	Metió barrena Reed- Hycalog 5 7/8" PDC s/t tipo DSX71 con cortadores de 5/16" No. 102950, a fondo (4136 m) se observó <i>gas de fondo de 850 U</i> , durante 5 minutos, bajo la densidad de 1.30 a 1.10 gr/cm ³ . Perforó a 4158 m observó gasificación en fondo con densidad mínima de 1.17 gr/cm ³ y 550 U. de gas. Perforó a 4178 m suspendió por corte de núcleo No. 4, observó pozo y preparó bache de 30 m ³ de 1.35 x 75 gr/cm ³ x seg, colocando bache de 3000-4178 m. A 2300 m observó escurrimiento en línea de flote de 25 litros por minuto, densificó lodo en presa a 1.40 gr/cm ³ , sin emparejar columnas. Metió barrena, a 3766 m circulando a través del árbol de estrangulación con densidad de entrada de 1.40 x 70 gr/cm ³ x seg y salida de 1.34 x 85 gr/cm ³ x seg Metió a fondo, circuló a gasto reducido a través del ensamble de estrangulación <i>con 600 U. de gas</i> , emparejó columnas a 1.40 x 80 gr/cm ³ x seg. Sacó barrena a superficie.
21-22	Mete corona 5 7/8" PDC, barril muestrero de 4 3/4" X 5 7/8" X 2 5/8" No. 408. Cortó núcleo No.4 de 4178-4185 m (6 m), recuperó 6.40 m, equivalente a (91.4%), suspendió por falta de avance. Levanto corona y barril muestrero, saco a superficie.
DEL 22 FEBRERO AL 05 DE MARZO	Metió barrena Reed-hycalog-PDC 5 7/8" SERIE 102950 s/t (usada) a fondo y perforó a 4178 m. Circuló a través del ensamble de estrangulación, saliendo densidad mínima de 1.28 gr/cm ³ , conformó agujero. Perforo a 4487 m
06	Saco barrena a la superficie, reviso misma saliendo con desgaste de 40 %, cambio barrena (nueva) Hycalog PDC tipo-dc.71 HGJN2 con toberas 3 de 18/32" y 3 de 10/32".
07-08	Perforo a 4537 m. Suspendió para cortar núcleo 5. Circulo tiempo de atraso, recupero muestra de fondo y saco barrena a superficie.
09	Armo corona de 5 7/8" por 2 5/8" y barril muestrero de 4 3/4" x 5 7/8". Corto núcleo 5 de 4537 – 4544 m. (5.10 m), equivalente a 72.86 %
10	Recupero núcleo 5, probó líneas superficiales de control. Metió barrena a fondo y circulo tiempo de atraso y perforo a 4654 m
11	Perforo a 4594 m

12	Perforo a 4600 m, circulo tiempo de atraso, saco barrena a superficie. desmantelo charola y linea de flote.
13	Tomo registro AIT/RG, 3766-4600 m (con atrapamiento a 3877 m. libero sonda, observo resistencia a 3783 y 3902 m), con sonda en la zapata reparo cadena del malacate, saco sonda y elimino accesorios. Suspendieron por conflicto campesino.
14	Con barrena en la zapata, suspendió operación por afectación. (inicio 14/03/2002, 21 horas acumuladas)
15	Perforo a 4604 m
16	Perforo a 4637 m. Suspendió por programa. Circulo tiempo de atraso. Coloco bache de 1.45 x 80 gr/cm ³ x seg de 4637 a 3000 m.
17	Saco barrena a superficie, observo pozo, bien. Verificaron prueba de herramienta; para tomar registros con TLC. y Metieron herramientas para tomar registro, arreglo inductivo "AIT"
18	Continuaron metiendo herramienta, para tomar registro "AIT" a 3100 m.
19	Continuaron metiendo herramientas de registro a 3667 m: conectaron ventana de TLC y metieron cabeza mojada a 3662 m, donde se conectaron a herramienta de tomar registro y probó, bien. Con Cia. schlumberger, tomo registro en primara corrida de AIT, LDT, CNT Y NGT; de 4632 a 3766 m (zapata).
20	Saco cabeza mojada a la superficie, con herramientas de registro, circulo T. A. en la zapata; Metió herramienta para tomar registros Sónico dipolar
21	Levanto herramienta registrando de 4632 a 4416 m; (registro sónico dipolar).
22	Tomo registro sónico dipolar de 4632 a 3766 m. Inicio a meter herramienta para tomar registro FMI.
23	Levanto herramienta tomando registro FMI de 4632 a 4010 m
24	Tomo registro FMI, de 4010 a 3766 m, con herramienta a 3685 m, circulo T.A. saco herramienta; conecto barrena hycallog 5 7/8" y metió misma a 2365 m
25	Levanto herramienta, tomando registro FMI de 4010-3766 m, con herramienta de registro FMI a 3685 m, circulo tiempo de atraso, saco herramienta; conecto barrena hycallog 5 7/8" y metió misma a 2365 m
26	Desconecto TP 3 1/2, sentó block en rotatorio, anclo mismo y metió barren a 3766 m (Zapata)
27	Circulo tiempo de atraso, en la zapata, densidad de salida de 1.40 a 1.25 gr/cm ³ ; gas lodo 400 U; emparejo columna a 1.40 x 80. gr/cm ³ x seg. Metió barrena a fondo, 4637 m, circulo tiempo de atraso a través del ensamble y separador gas-lodo, saliendo densidad de 1.40 a 1.39 gr/cm ³ , con gas lodo de 160 U, durante 5 minutos. Saco barrena a superficie, recupero buje de desgaste, efectuó preparativos para introducir TR de 5".
28	Etapa de liner de 5" Metieron T.R. de 5" a 4632 m

29	Reviso e instalo cabeza de cementar 3 1/2", efectuó ajuste y checo fondo a 4637 m, soltó canica 1 3/8", y espero viaje en caída libre; probó L.S.C. con 5000 psi. (352.36 kg/cm ²). bien. Con T.R. a 4637 m, círculo CHA. saliendo densidad de: 1.40 a 1.25 gr/cm ³ , y con lecturas de gas lodo de 475 U., durante <i>la circulación se perdieron 6.5 m³ de lodo</i> . Soltó liner de 5", con 25 vueltas a la derecha y 450 ampers, verifico levantando 1 m, observo 74 toneladas. Con liner anclado y suelto, cemento mismo, con cemento de densidad de 1.95 gr/cm ³ . previos baches lavador y espaciador de 1.05 y 1.45 gr/cm ³ respectivamente. Durante la cementación se <i>observo perdida de 3.9 m³ de lodo</i> . Quedando cima de cemento a 4313 m dentro d e T.R. de 5". Entre espacio anular y TR de 5" a 3687 m. Esperaron 24 horas de fraguado. Saco soltador a superficie. Metió molino 5 7/8" a 1520 m
30	Con liner de 5", cementado, esperaron 24 horas programadas de fraguado. Metieron molino a 3940 m, donde checo resistencia, rebajaron cemento de 3490 a 3550 m. Circularon desalojando cemento sin consistencia y contaminado con 2 % de formación, levantaron molino a 3400 m, donde se estacionaron y esperaron 16:00 hrs. más de fraguado, total 41 hrs, en espera de fraguado. Metieron molino a 3550 m, y rebajaron cemento sin consistencia y con 4 % de formación a 3562 m, donde checaron B.L. probaron misma con 140 kg/cm ² , bien, sacaron molino a superficie.
31	Conecto molino 4 1/8" y metió a 4300 m donde checo cima de cemento, círculo y a preventor cerrado, probó T.R. con 140 kg/cm ² ; durante 30 minutos bien; rebajo cemento y tapón de desplazamiento a 4302 m.
ABRIL	Rebajo tapón de cemento, con consistencia a 4448 m.
1	
2	Rebajo tapón de cemento a 4621 m, círculo tiempo de atraso, a preventor cerrado, probó TR con 140 kg/cm ² , durante 30 minutos, bien, saco molino a 3520 m. TERMINA ETAPA DE PERFORACIÓN

ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN DEL POZO SARAMAKO-I



Profundidad H(m)	Problemática	Alternativa de solución
P.I. 2500.0 Z 500.0	Pérdida Parcial 7 m ³ (21.451bl) en 2 hrs. Densidad del lodo 1.50 gr/cm ³ .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer el punto aproximado de la pérdida, el tipo de formación que está tomando el lodo, la altura del lodo dentro del pozo y la velocidad de pérdida. <i>(NOTA. Muchas veces estos estudios no son realizados como es el caso de este ejemplo).</i> 2. Usar la técnica de sacar la tubería y esperar 3. Si el pozo no permanece lleno durante el tiempo de espera, considerar la técnica de mezclar una lechada de LCM que contiene una mezcla de agentes puenteantes medianos a grandes o el uso de una inyección de presión de lechada de alta pérdida de filtrado: Mezclar 100 bl de lechada: <ol style="list-style-type: none"> a. Añadir de 10 a 20 lb/bl de atapulguita o sepiolita a 80 bl de agua Si estas arcillas no están disponibles, usar 5 a 20 lb/bl de bentonita y pretratar el agua con 1/4 lb/bl de soda cáustica. Dejar que la arcilla aumente la viscosidad. Si se usa bentonita, añadir 1/2 lb/bl de cal para flocular la bentonita y aumentar el filtrado. o: b. Añadir 50 lb/bl de materiales de tierra diatomácea (Mezcla de tierra diatomácea, cal y papel o un sustituto apropiado como carbonato de calcio). Usar solamente barita si el peso del lodo es de 12 lb/gal o más. o si se trata del único material

Profundidad H (m)	Problemática	Alternativa de Solución
Zapata:500m H.=2500m	Pérdida Parcial 7m ³ (21.451bl) en 2 hrs. Densidad del lodo 1.50 gr/cm ³ .	<p>en polvo inerte disponible. <i>Si se usa Mezcla de tierra diatomácea, cal y papel entonces, no se requiere la atapulguita.</i></p> <p>Añadir diferentes tamaños y formas de LCM hasta obtener una concentración total de LCM de 15 lb/bl.</p> <p>c. Colocar la tubería de perforación con el extremo abierto en la parte superior o frente a la zona de pérdida. Si el punto de pérdida no está determinado, considerar la probabilidad de que esté ubicado por debajo de la zapata de la última tubería de revestimiento, sobretodo cuando se anticipa una fractura de la formación causada por un aumento brusco de presión.</p> <p>d. Desplazar 25 bl de lechada dentro de la zona, a una velocidad de 2 a 4 bl/min.</p> <p>e. Interrumpir las operaciones durante 20 a 30 minutos</p> <p>f. Desplazar otros 25 bl de lechada a la misma velocidad</p> <p>g. Seguir este procedimiento, alternando periodos de espera y desplazamientos hasta que el pozo se llene. A veces dos cargas de 100 bl serán necesarias. Durante estas operaciones, la tubería de perforación debería ser recíprocada para impedir que se pegue.</p> <p>h. Cuando el pozo se llena, cerrar los arietes e inyectar dentro del espacio anular con una presión de 50 a 100 psi, desplazando la lechada muy lentamente (1 bl/min) dentro de la tubería de perforación. Conectar un manómetro de 0 a 300 psi en el espacio anular para facilitar la lectura de los valores de presión baja. Mantener la inyección de presión durante 30 a 60 minutos.</p> <p>i. Salir del pozo, levantar la barrena y seguir perforando.</p> <p><i>OBSERVACIÓN: La presión superficial más la presión de la columna de lodo nunca debería exceder la presión de sobrecarga (1 psi/pie).</i></p> <p>j. Si la pérdida persiste reducir el peso del lodo: (1.45 a 1.49) gr/cm³.</p>
PI=2500.0m Z. 2464m	Pérdida de 25m ³ F. de emulsión inversa (1.55 gr/cm ³) Cementación de T.R. de 9 3/8" Cemento de 1.95gr/cm ³	<p>1.- Para evitar la pérdida del fluido desplazante, reducir la carga hidrostática sobre la formación de la siguiente manera:</p> <p>2.- Inyectar un frente lavador en flujo turbulento para asegurar una buena adherencia de cemento sobre la cara de la formación.</p> <p>3.- Inyectar la lechada de cemento seleccionada (espumados, microesferas o c/ gilsonita) con densidad de 1.65 gr/cm³. Aunque la lechada se puede perder, también puede endurecer y consolidar la formación.</p> <p>4.- Usar fluido desplazante con bajo valor de filtrado, densidad de 1.45 gr/cm³. El pozo debe estar estable para evitar la contaminación del cemento</p> <p>NOTA. La densidad del cemento debe ser mayor que la de los baches separadores y mas que el lodo, la densidad del espaciador debe ser 0.12 a 0.24 gr/cm³ mayor que la del lodo para ganar el efecto de flotación y mejor desplazamiento del lodo</p>
Zapata: 2464m	Gas 260 UR durante 30'	Reducir la velocidad de deslizamiento de sarta. Densidad del fluido de control apropiado.

PI: 3444m	Lodo de 1.89 gr/cm ³	
Z=2464.0 H=3528.0	Pérdida total 9 m ³ (27.6 bl) Densidad de control calculada 1.67gr/cm ³ Volumen acumulado perdido 192 m³ (588.4bl)	<p>El procedimiento para la pérdida total es el mismo que para la "pérdida parcial", excepto en lo que se refiere a la composición de los agentes puenteantes.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer el punto aproximado de la pérdida, el tipo de formación que está tomando el lodo, la altura del lodo dentro del pozo y la velocidad de pérdida. 2. Usar la técnica de sacar la tubería y esperar 3. Si el pozo no permanece lleno durante el tiempo de espera, usar la técnica de inyección de presión de lechada de alta pérdida de filtrado, de la siguiente manera: usar fluidos que tienen tasas de filtración extremadamente altas, densidad de 1.68 gr/cm³. <ol style="list-style-type: none"> a. Añadir 10 a 15 lb/bl de atapulguita o sepiolita a 80 bl de agua. Si estas arcillas no están disponibles, usar 5 a 20 lb/bl de bentonita y pretratar el agua con 1/4 lb/bl de soda cáustica. Dejar que la arcilla aumente la viscosidad. Si se usa bentonita, añadir 1/2 lb/bl de cal para flocular la bentonita y aumentar el filtrado. o: b. Añadir 50 lb/bl de materiales de tierra diatomácea (Mezcla de tierra diatomácea, cal y papel o un sustituto apropiado como carbonato de calcio). Usar solamente barita si el peso del lodo es de 12 lb/gal o más, o si se trata del único material en polvo inerte disponible. Si se usa mezcla de tierra diatomácea, cal y papel entonces no usar la atapulguita. Añadir diferentes tamaños y formas de LCM hasta obtener una concentración total de LCM de 20 a 30 lb/bl. Para el desplazamiento, referirse a los Pasos c a j en la sección "Para pérdida parcial". 4. Cuando ocurren pérdidas totales graves en formaciones con grandes fracturas, fisuras, canales o cavernas de origen natural, se debería colocar por lo menos una de las píldoras convencionales de pérdida de circulación descritas en el capítulo IV. Si este procedimiento no mejora el problema de pérdida de circulación, se debería considerar el uso de tratamientos para cavernas con materiales de relleno a granel como trapos, sacos de lodo, heno, papel, madera, etc., antes de bombear un tapón duro tales como cemento, cemento-bentonita, cemento-gilsonita o aceite diesel-bentonita- cemento (ver capítulo IV). 5.- Si la pérdida persiste reducir el peso del lodo a (1.67) gr/cm³. NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento. Salmuera de densidad 1.67 gr/cm³ sin ningún contenido de sólido insoluble en ácido (arcillas, arena, barita, etc.), para evitar daños a la formación, usar cloruro de sodio, cloruro de calcio, bromuro de sodio, bromuro de calcio de granulometría determinada para impedir pérdidas de circulación (grueso (104 micrones), mediano (43 micrones) y fino (13micrones)). Se recomienda una combinación de tamaños para asegurar la buena obturación de las zonas permeables, usar carbonato de calcio (mármol o caliza) como agentes

<p>H=3528.0 Z=2464.0</p>	<p>pérdida parcial de circulación de 7 m³ 1.65 gr/cm³</p>	<p>punteantes, usar polimeros de Hidroximetilcelulosa (HEC) para la viscosidad y el control de pérdida de filtrado. 1.- Seguir los pasos explicados en el caso de pérdida parcial. <i>NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la pérdida de lodo continua, reducir la densidad (1.64 gr/cm³). 3.- Si el problema persiste adicionar al fluido de control, material de pérdida de circulación en el sistema. Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl). Usar diferentes formas y tamaños de materiales de perdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.64gr/cm³. Si la pérdida continua, usar técnica de perforación ciega y/o con lodo aireado, a través de toda la zona de pérdida, seguido de la instalación de la T.R. y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación.</p>
<p>Perforó a 3608 m, Zapata:2464m</p>	<p>Pérdida parcial de 74 m³. emparejó columnas de 1.65 a 1.62 gr/cm³</p>	<p>1.- Seguir los pasos explicados en el caso de pérdida parcial. <i>NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la pérdida de lodo continua, reducir la densidad (1.63 gr/cm³). 3.- Si el problema persiste adicionar al fluido de control material de pérdida de circulación en el sistema, Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl). Usar diferentes formas y tamaños de materiales de perdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.63gr/cm³. Si la pérdida continua, usar técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de pérdida, seguido de la instalación de la T.R. y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación.</p>
<p>Perforó a 3643 m Z=2464m</p>	<p>pérdida de 99 m³. Total perdido 470 m³ columnas de 1.65 a 1.62 gr/cm³ incremento en presas de 5 m³</p>	<p>Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Seguir los pasos explicados en el caso de pérdida total. <i>NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la pérdida de lodo continua, continuar con la densidad (1.63 gr/cm³). 3.- Si el problema persiste continuar adicionando al fluido de control material de pérdida de circulación en el sistema. Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl). Usar diferentes formas y tamaños de materiales de perdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido</p>

		en 1.63gr/cm ³ . Si la perdida continua, usar técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de perdida, seguido de la instalación de la T.R.,y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación. Reducir el peso del lodo a 1.62 gr/cm ³ si es posible
Perforo a 3704 m Z=2464m	Incremento en presas de 5 m ³ pérdida de 6.25 m ³ total perdido 605 m ³ . aumento densidad de 1.60 a 1.63 gr/cm ³	Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Seguir los pasos explicados en el caso de perdida parcial. <i>NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la perdida de lodo continua, continuar con la densidad (1.63 gr/cm ³). 3.- Si el problema persiste continuar adicionando al fluido de control material de pérdida de circulación en el sistema. Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl), Usar diferentes formas y tamaños de materiales de perdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.63gr/cm ³ . Si la perdida continua, usar técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de perdida, seguido de la instalación de la T.R.,y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación. Si la perdida continua reducir el peso del lodo a 1.62 gr/cm ³
Perforo a 3753 m Z: 2464m	Pérdida de 41 m ³ . total perdido 643.13 m ³ aumento densidad de 1.60 a 1.63 gr/cm ³	Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Seguir los pasos explicados en el caso de perdida total. <i>NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la perdida de lodo continua, reducir la densidad a (1.62 gr/cm ³). 3.- Si el problema persiste continuar adicionando al fluido de control material de pérdida de circulación en el sistema. Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl), Usar diferentes formas y tamaños de materiales de perdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.62gr/cm ³ . Si la perdida continua reducir la densidad a 1.61 gr/cm ³ , y/o usar técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de perdida, seguido de la instalación de la T.R.,y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación.
Perforo a 3773 m	Escurrimiento de 12 lts/seg Incremento densidad de 1.63 a 1.70 gr/cm ³ perdido 80 m ³ .	Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Seguir los pasos explicados en el caso de perdida total. <i>NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Aumentar la densidad a (1.65 gr/cm ³). 3.- Si el problema de perdida persiste continuar adicionando al fluido de control material de pérdida de circulación en el

	total perdido 726 m ³	sistema. Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl). Usar diferentes formas y tamaños de materiales de perdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.65gr/cm ³ . Si la perdida continua reducir la densidad a 1.64 gr/cm ³ , y/o usar técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de perdida, seguido de la instalación de la T.R.,y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación.
Profundidad 3773 m	P./infiltración estrangulado por 1 ½" y franco, aportación de 10 m ³ . Densidad de entrada: 1.63 x 80 y de salida de 1.62 x 100 gr/cm ³ . escurrimiento de 20 lts/seg. perdido en 24 hrs 34 m ³ ; total perdido 760 m ³ .	1.- Aplicar los pasos explicados en el caso de perdida por infiltración. <i>NOTA: Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la perdida de lodo continua, usar densidad (1.63 gr/cm ³). 3.- Si el problema persiste adicionar al fluido de control material de pérdida de circulación en el sistema, Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl). Usar materiales de perdidas de circulación de diferentes formas, de tamaños medianos a finos, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.63gr/cm ³ . Si la perdida continua, usar técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de perdida, seguido de la instalación de la T.R.,y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación.
Conforme de 3670 a 3773 m	P./parcial densidad de entrada: 1.65 x 85 gr/cm ³ x seg y de salida: 1.62 x 100. gr/cm ³ x seg. perdida de 7 m ³ escurrimiento de 110 lts/seg. total perdido 810 m ³ pozo estrangulado por 1 ½" y franco Volumen recuperado 9m ³	Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Aplicar los pasos explicados en el caso de perdida parcial. <i>NOTA: Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Aumentar la densidad a (1.67gr/cm ³). 3.- Adicionar al fluido de control material de pérdida de circulación en el sistema, Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl). Usar materiales de perdidas de circulación de diferentes formas, de tamaños medianos a finos, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.63gr/cm ³ . Si la perdida continua, usar técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de perdida, seguido de la instalación de la T.R.,y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación.

<p>profundidad 3773 m</p>	<p>Escurrecimiento de 8 a 4 lts/min. emparejando a $1.67 \times 95 \text{ gr/cm}^3 \times \text{seg.}$ con pérdida de 13 m^3 escurrecimiento de 125 lts/min. abatiéndose a 4 lts/min. Ganancia de lodo de 9 m^3 de 13 m^3 de lodo perdido.</p>	<p>Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Seguir los pasos para el caso de pérdida total. <i>NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- emparejar la densidad del lodo a (1.68 gr/cm^3). 3.- Si el problema persiste continuar adicionando al fluido de control material de pérdida de circulación en el sistema. Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl). Usar diferentes formas y tamaños de materiales de pérdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.68 gr/cm^3. Si la pérdida continua aplicar la técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de pérdida, seguido de la instalación de la T.R. y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación.</p>
<p>profundidad 3773 m zapata 2464 m</p>	<p>Bajo densidad de 1.64 a 1.60 gr/cm^3, Bombeo por E.A. lodo de 1.60 gr/cm^3 y lodo sin peso. Observo abatimiento de espejo. Bombeo directo, observo pérdida de 18 m^3. Observo regresando 18 m^3 acumulado 940.14 m^3.</p>	<p>Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Seguir los pasos explicados en el caso de pérdida total. <i>NOTA. Usar materiales solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la pérdida de lodo continua, mantener la densidad en (1.60 gr/cm^3). 3.- Adicionar al fluido de control material de pérdida de circulación en el sistema, Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl). Usar diferentes formas y tamaños de materiales de pérdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.60 gr/cm^3, si la pérdida continúa, usar una de las píldoras convencionales de pérdida de circulación (mezcla de polímeros y materiales de pérdida de circulación). Si este procedimiento no mejora el problema de pérdida de circulación, se debería considerar el uso de tratamientos para cavernas con materiales de relleno a granel como trapos, sacos de lodo, heno, papel, madera, etc., antes de bombear los tapones de cemento, y/o usar la técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de pérdida, seguido de la instalación de la T.R. y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar con la perforación, hasta alcanzar el objetivo programado.</p>
<p>cementación a 3766 m.</p>	<p>T.R. 7" a 3766.52 m, encontró Resistencia. Círculo con pérdida de 19 m^3, de lodo de 1.62 gr/cm^3.</p>	<p>1.- Para evitar la pérdida del fluido desplazante, reducir la carga hidrostática sobre la formación de la siguiente manera: (Primero Inyectar un frente lavador en flujo turbulento para asegurar una buena adherencia de cemento sobre la cara de la formación). 3.- Inyectar la lechada de cemento seleccionada (espumados, microesferas o c/ gilsonita) con densidad de 1.70 gr/cm^3. Aunque la lechada se puede perder, también puede endurecer y consolidar la formación.</p>

	<p>Observo regresar 19 m³ cemento de densidad de 1.70 y de 1.95 gr/cm³</p>	<p>4.- Usar fluido desplazante con bajo valor de filtrado, densidad de 1.61 gr/cm³. El pozo debe estar estable para evitar la contaminación del cemento NOTA. La densidad del cemento debe ser mayor que la de los baches separadores y mas que el lodo, la densidad del espaciador debe ser 0.12 a 0.24 gr/cm³ mayor que la del lodo para ganar el efecto de flotación y mejor desplazamiento del lodo</p>
<p>pozo a 3983 m.</p>	<p>Gas 400UR Bajo densidad 1.31 a 1.30 gr/cm³. Volumen de lodo perdido 13 m³.</p>	<p>Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Seguir los pasos explicados en el caso de perdida parcial. <i>Usar materiales de perdidas de circulacion solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la perdida de lodo continua, reducir la densidad en (1.29 gr/cm³). 3.- Adicionar materiales de pérdida de circulación en el sistema. Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl), Usar diferentes formas y tamaños de materiales de perdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.29gr/cm³, si la perdida continúa, reducir la densidad a 1.28 gr/cm³, y/o usar la técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de perdida, seguido de la instalación de la T.R.,y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar perforando.</p>
<p>perforado 4004 m.</p>	<p>Gas de fondo 350 u, durante 30 minutos, bajo densidad de 1.30 a 1.17 gr/cm³. Volumen de lodo perdido 16</p>	<p>Evitar efecto de pistoneo y sondeo 1.- Seguir los pasos explicados en el caso de perdida parcial. <i>Usar materiales de perdidas de circulacion solubles en ácido para las pérdidas en yacimiento.</i> 2.- Si la perdida de lodo continua, reducir la densidad en (1.16 gr/cm³). 3.- Adicionar materiales de pérdida de circulación en el sistema. Usar 2 a 6 lb/bl de fibra celulósica y/o 2 a 5 lb/bl de carbonato de calcio. Pequeñas concentraciones de cáscaras de nuez (1 a 10 lb/bl), Usar diferentes formas y tamaños de materiales de perdidas de circulación, no se recomienda incorporar grandes concentraciones de materiales de pérdida de circulación en el sistema para evitar sobrepeso, mantener la densidad del fluido en 1.16gr/cm³, si la perdida continúa, reducir la densidad a 1.15 gr/cm³, y/o usar la técnica de perforación ciega y/o con lodo airado, a través de toda la zona de perdida, seguido de la instalación de la T.R.,y/o la técnica de perforación bajo balance. Continuar perforando.</p>
<p>T.R. a 4637 m,</p>	<p>Pérdida parcial durante la cementacion densidad de salida: 1.40 a 1.25 gr/cm³, c/</p>	<p>1.- Para evitar la perdida de lodo, reducir la carga hidrostática sobre la formación de la siguiente manera: (Primero Inyectar un frente lavador de 1.05gr/cm³ a flujo turbulento y espaciador de 1.45 gr/cm³ para asegurar una buena adherencia de cemento sobre la cara de la formación). 3.- Inyectar la lechada de cemento seleccionada con densidad de</p>

	<p>Lecturas de gas de 475U. durante la circulación se perdieron 6.5 m³ de lodo. Densidad de cemento: 1.95 gr/cm³; lavador y espaciador 1.05 y 1.45 gr/cm³ respectivamente</p>	<p>1.94 gr/cm³. Aunque la lechada se puede perder, también puede endurecer y consolidar la formación</p> <p>4.- Usar fluido desplazante con bajo valor de filtrado, de densidad de 1.23 gr/cm³. El pozo debe estar estable para evitar la contaminación del cemento</p> <p>NOTA. La densidad del cemento debe ser mayor que la de los baches separadores y mas que el lodo, la densidad del espaciador debe ser 0.12 a 0.24 gr/cm³ mayor que la del lodo para ganar el efecto de flotación y mejor desplazamiento del lodo</p> <p>Usar centradores para mejorar la remoción del lodo, para evitar canalización del cemento y para facilitar el balanceo del tapón. Si es posible usar tubería liza y con rotación. . TERMINA ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN.</p>
--	--	--

CONCLUSIONES

La información sobre los conceptos básicos de los fluidos de control y de las diferentes técnicas de solución con tecnología de punta que existen en los tiempos modernos, para solucionar problemas de pérdidas de circulación, durante la perforación de pozos petroleros, se ven reflejados en este trabajo de tesis, cuyo objetivo es proporcionar un panorama amplio sobre las diferentes alternativas de solución que puedan aplicarse a cada caso particular, a los problemas tan variados de pérdidas de circulación, así como la selección de la mejor técnica apropiada para cada tipo de pérdida, considerando sus causas y consecuencias. Para seleccionar la técnica de solución que resolverá el problema de pérdidas, se debe llevar un orden lógico y sistemático; de no ser así, se provocaría la incertidumbre de una mala decisión que en vez de solucionar el problema, resultaría en peores consecuencias, tales como: descontrol del pozo, daños a la formación productora, los recortes se pueden acumular en la zona de baja velocidad y como consecuencia originar un atropamiento de sarta, puede bajar el nivel de lodo en el anular con la consiguiente reducción de la presión hidrostáticas en el pozo; en la sección de lutitas puede inducir a que las arcillas flojas se desmoronen haciendo que la herramienta quede atrapada; el pozo puede fluir cuando la formación es permeable convirtiéndose en un reventón subterráneo lo cual es peligroso, y peor si el flujo es gas o H₂S. El peligro se multiplica si hay solo una tubería de revestimiento instalada a poca profundidad. El fluido puede migrar hacia la superficie por alrededor de la tubería de revestimiento creando un cráter en la superficie, pudiendo provocar volcadura del equipo.

Una buena planificación y prácticas de perforación apropiadas son los factores claves para impedir la pérdida de circulación, minimizando las presiones excesivas sobre la formación.

Es muy importante restablecer la circulación lo antes posible, ya que la pérdida de circulación aumenta el costo del lodo y puede causar otros problemas del pozo que resultan en costos adicionales de operación.

La mejor manera de enfocar el control de pérdida de circulación es evaluando la severidad de la zona de pérdida y estableciendo una correlación entre ésta, la técnica y el material de remediación, en lo que se refiere al tamaño del material y a su función.

El tamaño del material puenteante debe ser adaptado a la severidad de la pérdida, ya que no se conoce casi nunca el tamaño de las aberturas a través de las cuales se está perdiendo el lodo. Esta lógica se basa en el conocimiento de que las bajas velocidades de pérdida ocurren a través de pequeñas aberturas y las grandes velocidades de pérdida ocurren a través de aberturas más grandes. A medida que la severidad de la zona de pérdida aumenta, se debe aumentar el tamaño del agente puenteante, no la concentración.

Muchas veces la cementación de las zonas de pérdida no es eficaz porque el lodo atraviesa la lechada no fraguada. Las "columnas balanceadas" suelen impedir esto, especialmente si los pesos de las columnas son calculados minuciosamente.

En muchos casos, la pérdida de circulación no se puede evitar sobretodo en formaciones cavernosas, fisuradas, fracturadas o no consolidadas, y también en formaciones agotadas de baja presión (generalmente arenas), donde la tecnología de perforación ciega con lodo airado, la tecnología de fluidos neumáticos y la tecnología de perforación bajo balance son ampliamente aplicables.

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS¹⁵

Aditivo de Lodo Cualquier material agregado a un fluido de perforación para lograr un propósito en particular.

Aditivos de Pérdida de Circulación Materiales agregados al lodo para controlar o prevenir la pérdida de circulación. Son agregados en cantidades variables y se clasifican como fibras, escamas o gránulos.

Agente Espumante Sustancia que produce burbujas relativamente estables en la superficie de contacto aire-líquido, debido a la agitación, aireación o ebullición. En la perforación con aire o gas, se agregan agentes espumantes para ayudar a eliminar los influjos de agua y prevenir la formación de anillos de lodo.

Agente Floculante Sustancias, como la mayoría de los electrolitos, algunos polisacáridos y ciertos polímeros naturales o sintéticos, que producen el espesamiento de la consistencia de un fluido de perforación. En fluidos plásticos de Bingham, el punto cedente y el esfuerzo gel aumentan.

Agente Tensoactivo Material que tiende a concentrarse en una superficie de contacto. Usado en fluidos de perforación para controlar el grado de emulsificación, agregación, dispersión, tensión interfacial, espumación, desespumación, humectación, etc.

Agentes Obturantes Cualquiera de muchos materiales que son agregados a los fluidos de perforación para restablecer la circulación.

Aireación La técnica de inyectar aire o gas en cantidades variables dentro de un fluido de perforación para reducir el cabezal hidrostático.

Antiespumante Una sustancia usada para prevenir la formación de espuma aumentando considerablemente la tensión superficial

Arcilla Una tierra plástica, blanda, de varios colores, comúnmente un silicato hidratado de alúmina, formado por la descomposición de feldespato y otros silicatos de aluminio. Los minerales arcillosos son generalmente insolubles en agua, pero se dispersan bajo hidratación, esfuerzos de corte como la molienda, los efectos de velocidad, etc., formando partículas extremadamente pequeñas con tamaños comprendidos entre tamaños submicrónicos y 100 micrones

Arena Un material suelto granuloso producido por la desintegración de rocas, generalmente sílice.

Asfalto Una mezcla natural o mecánica de bitúmenes sólidos o viscosos encontrados en capas naturales u obtenidos como residuos del petróleo. han sido agregados a ciertos fluidos de perforación a efectos muy variables, como componente de lodos base aceite, material de pérdida de circulación, emulsificante, agente de control de filtrado, agente de taponamiento de pared, etc.

ATAP Son pruebas estáticas de mediciones de filtración y enjarre a Alta Temperatura y Alta Presión del Instituto Americano del Petróleo (API) realizadas por el ingeniero del lodo.

Balanza de Lodo Una balanza de balancin usada para determinar la densidad del lodo. Se compone principalmente de una base, un balancin graduado con un vaso de volumen constante, una tapa, un caballero, un cuchillo y un contrapeso.

Barita Sulfato de bario natural usado para aumentar la densidad de los fluidos de perforación. Cuando se requiere, normalmente se mejora a una gravedad especifica de 4,20. La barita existe en minerales o masas cristalinas blancas, grisáceas, verdosas y rojizas.

Bentonita Una arcilla coloidal plástica que se compone principalmente del mineral montmorilonita de sodio, un silicato de aluminio hidratado. Para ser usada en fluidos de perforación, la bentonita tiene un rendimiento mayor que 85 bbl/tonelada. El término genérico "bentonita" no constituye un nombre mineralógico exacto, y la arcilla no tiene una composición mineralógica definida.

BHA Conjunto de Fondo

Bicarbonato de Sodio (NaHCO₃) Un material ampliamente usado para tratar la contaminación de cemento y ocasionalmente otras contaminaciones de calcio en los fluidos de perforación. Se trata de la sal de sodio semineutralizada del ácido carbónico.

Cabezal Hidrostático La presión ejercida por una columna de fluido, generalmente expresada en libras por pulgada cuadrada (lb/pulg²). Para determinar el cabezal hidrostática en psi a una profundidad determinada, multiplicar la profundidad en pies por la densidad en libras por galón por 0,052.

Carbonato de Calcio (CaCO₃) Una sal de calcio insoluble a veces usada como material densificante (caliza, concha de ostra, etc.) en fluidos de perforación especializados. También se usa como unidad y/o norma para reportar la dureza.

Carbonato de Sodio (Na₂CO₃) Un material ampliamente usado para tratar varios tipos de contaminación de calcio. Comúnmente llamado "ceniza de soda". Cuando se agrega carbonato de sodio a un fluido, el pH del fluido aumenta por hidrólisis.

Cemento Una mezcla de aluminatos y silicatos de calcio obtenida mediante la combinación de cal y arcilla durante el calentamiento. El cemento hidratado contiene aproximadamente 62,5% de hidróxido de calcio, el cual constituye la fuente principal de problemas cuando el cemento contamina el lodo.

Circulación Inversa El método que consiste en invertir el flujo normal de un fluido de perforación, circulando hacia abajo en el espacio anular y hacia arriba en la columna de perforación.

Circulación, (Pérdida) El resultado de la fuga de fluido de perforación dentro de la formación a través de fisuras, medios porosos o dentro de fracturas.

Cloruro de Calcio (CaCl₂) Una sal de calcio muy soluble a veces añadida a los fluidos de perforación para conferir propiedades especiales, pero principalmente para aumentar la densidad de la fase fluida.

Corte por Aire La incorporación mecánica y dispersión involuntaria de aire dentro de un sistema de fluido de perforación. Comparar con Aireación.

Corte por Gas Gas atrapado por un fluido de perforación.

Daños a la Formación Daños a la productividad de un pozo, causados por la invasión de partículas de lodo o filtrados de lodo dentro de la formación. El asfalto del crudo también puede causar daños a ciertas formaciones.

Densidad Materia medida como masa por volumen unitario, expresado en libras por galón (lb/gal), kilogramos por litro (kg/l) y libras por pie cúbico (lb/ft³). Muchas veces se usa "peso" para hacer referencia a la densidad.

Densidad Equivalente de Circulación (ECD) Para un fluido en circulación, la densidad equivalente de circulación en lb/gal es igual al cabezal hidrostático (psi) más la caída total de presión anular (psi) dividida por la profundidad (pies) y por 0,052.

Desespumante Cualquier sustancia usada para reducir o eliminar la espuma mediante la reducción de la tensión superficial

Desfloculación Disolución de los flóculos de las estructuras de gel mediante el uso de un diluyente.

Desviación del Pozo Perforar direccionalmente alrededor de un pescado o partiendo de un pozo existente.

Desviador Un dispositivo introducido en un pozo, usado para desviar o para la perforación direccional.

Dispersante Cualquier producto químico que estimula la dispersión de la fase dispersa.

Espaciador Un volumen de líquido, que puede o no contener sólidos, usado para separar dos fluidos. Un ejemplo es el uso de un espaciador entre un lodo base agua y un lodo base aceite durante el desplazamiento para evitar la mezcla de los dos lodos.

Espacio Anular El espacio entre la columna de perforación y la pared del pozo o de la tubería de revestimiento.

Falla Término geológico que indica una rotura de la formación, hacia arriba o hacia abajo, en los estratos subsuperficiales. Las fallas pueden afectar considerablemente los programas de lodo y de tubería de revestimiento implementados en la zona.

Fibras o Materiales Fibrosos Cualquier material filamentosos y duro, usado para prevenir la pérdida de circulación o restablecer la circulación. En el campo, el término "fibras" suele referirse a fibras que provienen de plantas.

Fracturación hidráulica Apertura de la formación producida por presiones inducidas excesivas del fluido de control sobre la formación.

Gel Un estado de una suspensión coloidal en el que los esfuerzos de corte inferiores a un

valor finito no pueden producir ninguna deformación permanente. El esfuerzo de corte mínimo que producirá una deformación permanente se conoce como resistencia al corte o esfuerzo de gel del gel considerado.

Granular o Granulo Un pequeño fragmento rugoso de una sustancia. La palabra se usa generalmente para describir el aspecto físico de los pequeños fragmentos de rocas en una matriz (véase).

Hidroximetilcelulosa (HEC) El polímero usado para la viscosidad

Junta de Tubería de Perforación Una unión de tubería de perforación que consta de conexiones macho y hembra de varios diseños y tamaños. El diseño interno de las juntas de tubería de perforación tiene un efecto importante sobre la hidrología del lodo.

Kelly o Junta Kelly Una tubería pesada cuadrada o de otra configuración que se introduce en un agujero similar en la mesa rotatoria para hacer girar la tubería de perforación.

LCM Material de Pérdida de circulación

Línea de Desalojo Línea de flujo para la perforación con aire o gas.

Línea de Matar Una línea conectada al espacio anular, por debajo de los preventores de reventones, para bombear dentro del espacio anular mientras los preventores están cerrados.

LSRV Fluidos tixotrópicos que disminuyen su viscosidad con el esfuerzo de corte y que tienen una alta Viscosidad a Muy Baja Velocidad de Corte y condiciones de flujo laminar.

LWD Registro continuo durante la perforación

MMH Hidróxido de Metales Mezclados (son lechadas de bentonitas floculadas)

MWD Medición durante la perforación

Ojo de Llave La sección de un pozo, generalmente de desviación anormal y formación relativamente blanda, que ha sido erosionada o desgastada por una tubería de perforación de tamaño más pequeño que las juntas de tubería o los **portamechas**. Esta configuración tipo ojo de llave ahora permite el paso de estos miembros cuando se saca la tubería del pozo.

Pata de Perro El “codo” causado por un cambio marcado de dirección en el pozo.

Penetración, Velocidad de (ROP) La velocidad en pies por hora, a la cual la barrena avanza para profundizar el pozo.

Pérdida de Presión La pérdida de presión en un conducto o espacio anular, debido a la velocidad del líquido en el conducto, las propiedades del fluido, la condición de la pared de la tubería y la alineación de la tubería. En ciertos sistemas de mezcla de lodo, la pérdida de cabezal hidrostático puede ser considerable.

Permeabilidad La permeabilidad normal constituye una medida de la capacidad de una roca para transmitir un fluido de una fase en condiciones de flujo laminar. La unidad de permeabilidad es el darcy.

Porosidad La cantidad de espacio vacío en una roca de formación, generalmente expresada como porcentaje de vacío por volumen total. La porosidad absoluta se refiere a la cantidad total de espacio poral en una roca, independientemente de que este espacio pueda o no ser sujeto a la penetración del fluido. La porosidad efectiva se refiere a la cantidad de espacios porales conectados, el espacio disponible para la penetración de fluido. Ver Permeabilidad.

Prueba de filtración API Son pruebas estáticas de medición de filtrado y enjarre realizadas a baja temperatura y baja presión.

Prueba de Productividad Potencial de la Formación (DST – Drill-Stem Test) Una prueba para determinar si el pozo contiene cantidades comerciales de petróleo y/o gas.

Puente Una obstrucción en un pozo formada por la intrusión de las formaciones subsuperficiales.

Resistividad La resistencia eléctrica al paso de una corriente, expresada en ohmios-metro; recíproco de la conductividad. Los lodos de agua dulce están generalmente caracterizados por una resistividad alta, mientras que los lodos de agua salada tienen una resistividad baja.

Tanque de Lodo Instalaciones de tierra o metálicas de almacenamiento para el sistema de lodo de superficie. Los tanques de lodo que varían de volumen y número son de dos tipos: circulación y reserva. Las pruebas y el acondicionamiento del lodo son generalmente realizados en el sistema de tanque de circulación.

Torque Una medida de la fuerza o esfuerzo aplicado a un eje, causando su rotación. En un equipo de perforación rotatorio, esto se aplica especialmente a la rotación de la tubería de perforación, en lo que se refiere a su acción contra el calibre del pozo. El torque puede generalmente ser reducido mediante la adición de varios aditivos del fluido de perforación.

TVD Profundidad Vertical verdadera

Zona o Formación Productiva La formación perforada que contiene cantidades comerciales de petróleo y/o gas.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Preston L. Moore, "Drilling practices Manual
- 2.- Mud Engineering, " Dresser Magcobar". Division of Dresser Industries. inc..Houston. Texas. Agosto de 1968.
- 3.- "Fluidos de control", Ing. Alejandro Barriguete Peralta, Ricardo Chico Rodríguez. Un siglo de la perforación en México. Septiembre del 2000.
- 4.- "Oil Well Drilling Technology", By Arthur W. McCray And Frank W. Cole: Copyright 1973 by the University of the Oklahoma Press. Publishing División of the University.
- 5.- Tesis: Conceptos Básicos Para la Selección de Fluidos de Control, "Hernández Nava Ignacio. Meneses Camargo Josafat". 2003
- 6.- "Lost Circulation," Joseph U. Messenger; Copyright 1985 by PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma.
- 7.- "Control de Brotes", M.I. Filemon Ríos Chávez, Ing. Sotero Islas Juárez. Septiembre del 2000; "Un Siglo de la Perforación en México".
- 8.- Cementing I, II Halliburton energier services.
- 9.- "Ingeniería de Cementaciones", M.A. Román Cámara Vázquez, Ing. Felipe Trejo Méndez, Septiembre del 2000; "Un Siglo de la Perforación en México".
- 10.-" Air and Gas Drilling manual"; William C. Lyons: Copyright 1984 by Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- 11.- Air and Gas Drilling manual", G.S.M. Robert D. Grace Co. Training Service.
- 12.- "Técnicas Especiales de Perforación", Ing. Víctor Manuel Santana Anaya, Ing. Filemon Rios Chavez. Septiembre del 2000; "Un Siglo de la Perforación en México".
- 13.- "Desarrollo de la Perforación Bajo Balance en al Campo Muspac". Miguel Ángel Aguilar de la Serna, Unidad Operativa Reforma, 1996.
- 14.- "Informe y procedimientos operativos para perforación bajo balance en los pozos Iride 1166 y Jujo 523". Valenzuela Cazares J. Martín y Solís Fuentes Epitafio. Perforación, División Sur.
- 15.- "Procedimiento Estándar para las Pruebas de Fluidos de Perforación". Instituto Americano del Petróleo, Dallas, Texas, Nov. de 1962, 1ra Ed.
- 16.- "Fluidos de Perforación", Ing. Miguel Ángel Benítez Hernández. Ing. Francisco Garaicochea Petrírena. Ciro Reyes Álvarez.