

Fundamentos de los fluidos de perforación

Don Williamson

Editor colaborador

Los fluidos de perforación cumplen muchas funciones: controlan las presiones de formación, remueven los recortes del pozo, sellan las formaciones permeables encontradas durante la perforación, enfrían y lubrican la barrena, transmiten la energía hidráulica a las herramientas de fondo de pozo y a la barrena y, quizás lo más importante, mantienen la estabilidad y el control del pozo. Aludido a menudo como “lodo,” el fluido de perforación fue introducido por primera vez alrededor del año 1913 para el control de la presión del subsuelo. Las décadas de 1920 y 1930 fueron testigo del surgimiento de las primeras compañías estadounidenses especializadas en la distribución, desarrollo e ingeniería de los fluidos y componentes de perforación. En las décadas siguientes, las compañías de fluidos de perforación introdujeron desarrollos en materia de química, mediciones e ingeniería de procesos, que produjeron mejoras significativas en la eficiencia de la perforación y la productividad de los pozos.

Las composiciones de los fluidos de perforación varían según las exigencias del pozo, las capacidades de los equipos de perforación y los asuntos ambientales. Los ingenieros diseñan los fluidos de perforación para controlar las presiones del subsuelo, minimizar el daño de la formación, minimizar la posibilidad de pérdida de circulación, controlar la erosión del pozo y optimizar los parámetros de perforación, tales como la velocidad de penetración y la limpieza del pozo. Además, dado que un gran porcentaje de los pozos modernos está representado por pozos altamente desviados, los sistemas de fluidos de perforación deben ayudar a manejar los problemas de limpieza y estabilidad específicos de estos pozos.

Sistemas de fluidos de perforación

Los sistemas de fluidos de perforación poseen una *fase continua*, que es líquida, y una *fase discontinua* compuesta por sólidos. En ocasiones, también exhiben una *fase gaseosa*; ya sea por diseño o como resultado del arrastre de gas de formación. La fase continua puede ser utilizada para clasificar los tipos de fluidos de perforación en gaseosos, fluidos acuosos o sistemas no acuosos. Estos fluidos son una mezcla de componentes líquidos y sólidos, cada uno de los cuales está diseñado para modificar una propiedad específica del fluido de perforación, tal como su viscosidad y su densidad.

Los fluidos de perforación acuosos, a los que se alude generalmente como lodos a base de agua, son los más comunes y los más variados de los tres tipos de fluidos de perforación (arriba, a la derecha). Su composición varía entre mezclas simples de agua y arcilla, y sistemas complejos de fluidos de perforación *inhibidores*, o estabilizadores de arcillas, que incluyen muchos componentes. En los últimos años, los ingenieros y científicos se han concentrado en el mejoramiento del rendimiento inhibitor y térmico de los sistemas a base de agua en sus esfuerzos para competir con los fluidos no acuosos utilizados habitualmente en los ambientes de perforación desafiantes.



▲ Mezcla y agitación de un fluido de perforación bentonítico.

En los fluidos de perforación no acuosos, a los que se alude generalmente como lodos a base de sintéticos, la fase continua puede consistir en aceites minerales, ésteres biodegradables, olefinas u otras variantes. Aunque por lo general más costosos que los fluidos de perforación acuosos, estos sistemas tienden a proporcionar un excelente control del pozo, estabilidad térmica, lubricidad y velocidades de penetración, lo que puede ayudar a reducir el costo total para el operador.

En rocas fracturadas o en ambientes en los que el pozo no podría sustentar una columna de agua sin una pérdida significativa de fluido en la formación, los perforadores utilizan sistemas de aire, bruma o espuma para ayudar a remover los recortes del pozo y mantener la integridad del mismo.

Funciones básicas

Los fluidos de perforación son formulados para llevar a cabo una amplia variedad de funciones. Si bien la lista es extensa y variada, las características de rendimiento clave son las siguientes:

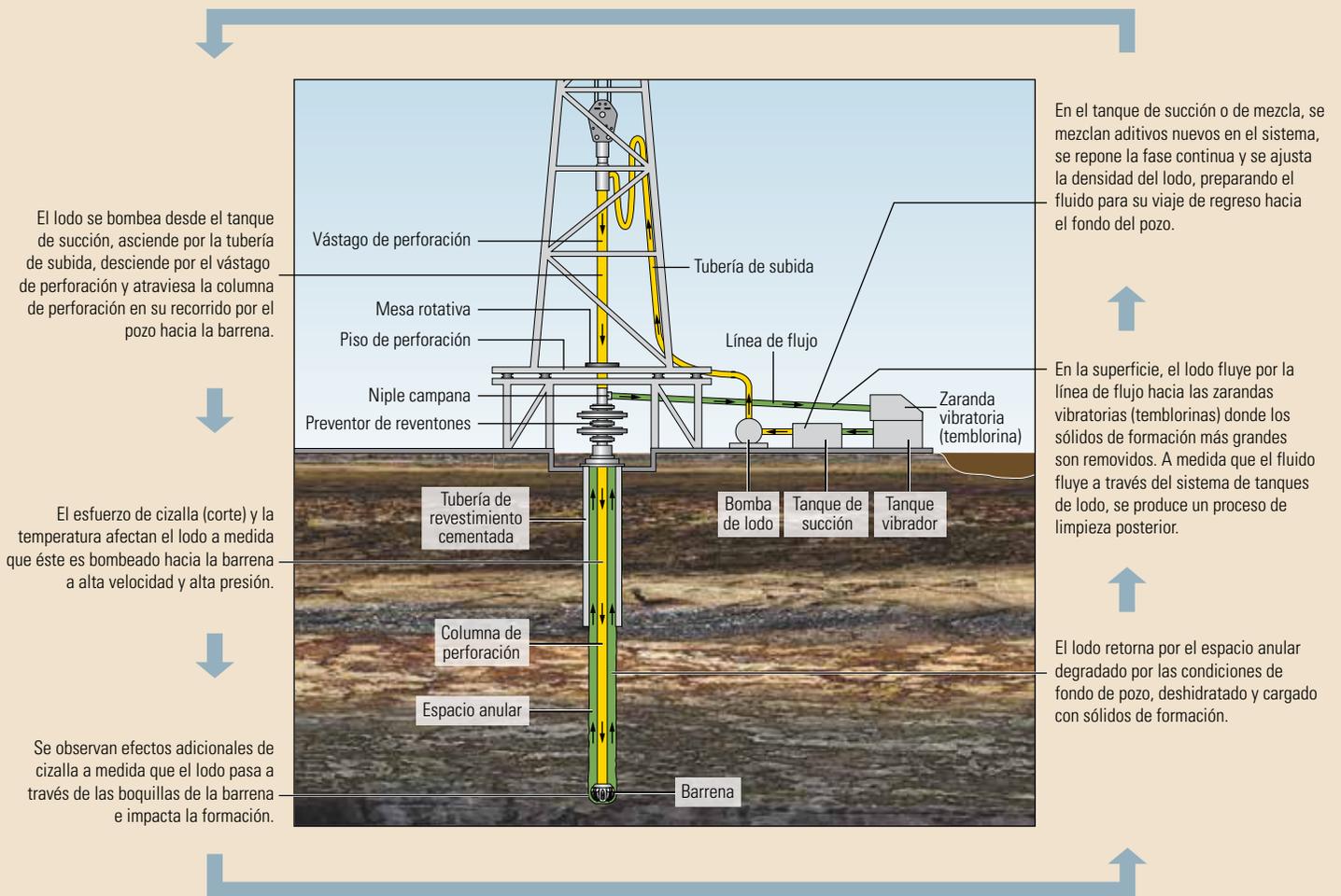
Control de las presiones de formación: El fluido de perforación es vital para mantener el control de un pozo. El lodo es bombeado a través de la sarta de perforación, a través de la barrena y de regreso por el espacio anular. En agujero descubierto, la presión hidrostática ejercida por la columna de lodo se utiliza para compensar los incrementos de la presión de formación que, de lo contrario, producirían el ingreso de los fluidos de formación en el pozo, causando posiblemente la pérdida de control del pozo. Sin embargo, la presión ejercida por el fluido de perforación no debe exceder la presión de fractura de la roca propiamente dicha; de lo contrario, el lodo fluiría hacia la formación; situación que se conoce como *pérdida de circulación*.

Remoción de los recortes del pozo: La circulación del fluido de perforación permite llevar los *recortes* —fragmentos de rocas generados por la barrena— a la superficie. La conservación de la capacidad del fluido para transportar estos trozos sólidos por el pozo hacia la superficie —su *capacidad de transporte*— es clave para la eficiencia de la perforación y la minimización del potencial para el atascamiento de la tubería. A fin de lograr

Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review* Primavera de 2013: 25, no. 1.

Copyright © 2013 Schlumberger.

Por su colaboración en la preparación de este artículo, se agradece a Daryl Cullum y Sonny Espey, Houston; y a Ole Iacob Prebensen, Sandnes, Noruega.



^ Ciclo de vida de los fluidos de perforación. A lo largo de todo el ciclo de circulación, el lodo es sometido a una serie de procesos que alteran sus parámetros físicos. El plan de tratamiento del fluido de perforación debe revisarse para que siga el ritmo de estos cambios.

este objetivo, los especialistas en fluidos de perforación trabajan con el perforador para balancear cuidadosamente la reología del lodo y la tasa de flujo a los efectos de ajustar la capacidad de transporte y a la vez evitar un valor elevado de *densidad de circulación equivalente* (ECD); la densidad real del lodo más la caída de presión producida en el espacio anular por encima de un punto dado del pozo. Una ECD alta, no controlada, puede producir incidentes de pérdidas de circulación.

Enfriamiento y lubricación de la barrena: A medida que el fluido de perforación pasa a través y alrededor del arreglo de perforación rotativo, ayuda a enfriar y lubricar la barrena. La energía térmica es transferida al

fluido de perforación, que lleva el calor a la superficie. En ambientes de perforación extremadamente calientes, pueden utilizarse intercambiadores de calor en la superficie para enfriar el lodo.

Transmisión de la energía hidráulica a la barrena y las herramientas de fondo de pozo: El fluido de perforación es descargado a través de las boquillas de la cara de la barrena. La energía hidráulica liberada contra la formación ablanda y eleva los recortes lejos de la formación. Además, esta energía acciona los motores de fondo y otros equipos que direccionan la barrena y obtienen datos de perforación o de la formación en tiempo real.

Con frecuencia, los datos recolectados en el fondo del pozo son transmitidos a la superficie mediante el método de *transmisión de pulsos a través del lodo*, que se basa en los pulsos de presión transmitidos a través de la columna de lodo para enviar los datos a la superficie.

Mantenimiento de la estabilidad del pozo: Los componentes básicos de la estabilidad del pozo implican la regulación de la densidad, la minimización de la erosión hidráulica y el control de las arcillas. La densidad se mantiene mediante el leve sobrealance del peso ejercido por la columna de lodo contra la presión de poro de la formación. Los ingenieros minimizan la erosión hidráulica mediante el balance de la geometría del pozo en función de los requerimientos de limpieza, la capacidad de transporte de fluidos y la velocidad de flujo anular. El proceso de control de arcillas es complejo. Las arcillas presentes en algunas formaciones se expanden en presencia de agua, mientras que otras se dispersan. En cierta medida, estos efectos pueden ser controlados mediante la modificación de las propiedades del fluido de perforación. Sin importar el enfoque utilizado, el control del efecto del fluido en la formación ayuda a controlar el pozo y la integridad de los recorres y se traduce en un fluido de perforación más fácil de mantener.

El ciclo de vida de los fluidos de perforación

El diseño y mantenimiento de los fluidos de perforación son procesos iterativos afectados por las condiciones de superficie y de fondo de pozo. Estas condiciones cambian a medida que el pozo se perfora a través de formaciones más profundas y encuentra incrementos graduales de temperatura y presión, y el lodo experimenta alteraciones en la química generadas por los diferentes tipos de rocas y fluidos de formación ([página anterior](#)). Los especialistas en fluidos que trabajan en sitio y los ingenieros de planta utilizan la ingeniería de procesos continuos para ajustar el fluido de perforación en respuesta a las condiciones variables de pozo y luego evalúan el rendimiento de los fluidos y modifican sus propiedades en un ciclo continuo.

Diseño inicial: En la fase de planeación, los especialistas en fluidos seleccionan diferentes tipos y diseños de sistemas de lodo para cada sección del pozo. Los sistemas están diseñados para cumplir con diversas especificaciones, incluidos los requerimientos de densidad, la estabilidad del pozo, los gradientes térmicos, los aspectos logísticos y los asuntos ambientales. La perforación puede comenzar con un sistema de fluidos simples. A menudo, el agua es el primer fluido utilizado para perforar hasta la profundidad de entubación inicial. A medida que el pozo se profundiza, el incremento de la presión de formación, el aumento de la temperatura y la presencia de formaciones más complejas requieren niveles más altos de control mecánico y capacidad de limpieza del pozo. Los sistemas de fluidos simples pueden ser desplazados o convertidos en un lodo inhibidor espesado, a base de agua, seguido por fluidos de perforación no acuosos a mayores profundidades.

Circulación: El carácter del fluido de perforación evoluciona constantemente. En un ciclo de circulación, el fluido consume energía, levanta los recorres, enfría la barrena y el pozo, y luego descarga los residuos en la superficie. Esto exige que los ingenieros y especialistas en fluidos evalúen y recarguen continuamente el sistema con fluidos nuevos y otros aditivos.

Medición y rediseño: El especialista en fluidos de perforación mide ciertas propiedades del lodo de retorno. Por lo general, las propiedades específicas medidas son una función del tipo de fluido que se utiliza, pero habitualmente incluyen la densidad, la reología, la tasa de filtración, las relaciones y el contenido de la fase continua, y el contenido y la clasificación de sólidos. El fluido es analizado posteriormente para la estimación del pH, la dureza, la alcalinidad, los cloruros, el contenido de gas ácido y otros parámetros específicos de ciertos tipos de fluidos. Luego, el especialista diseña un programa de tratamiento para las 12-24 horas siguientes. El perforador, el enganchador y el especialista en fluidos monitorean constantemente las condiciones del pozo y las características del fluido de retorno y luego efectúan en el lodo los ajustes que imponen las condiciones de pozo y de perforación.

Un siglo de desarrollo continuo

Desde sus humildes comienzos hace unos 100 años, los fluidos de perforación han evolucionado como una ciencia, una disciplina técnica y un arte. Los científicos y desarrolladores de productos crean nuevos diseños de fluidos que abordan los diversos requerimientos impuestos sobre los fluidos de perforación modernos, en tanto que los ingenieros y especialistas en fluidos que trabajan en el campo continúan descubriendo nuevas formas de monitorear, medir, simular y manejar el ciclo de vida de los fluidos de perforación.