

LODOS DE PERFORACION

5/2

Tratamiento Químico

Dario Escobar Cadavid.

El tratamiento químico de los lodos de perforación ha sufrido considerable adelanto en los últimos años debido a que tanto los investigadores de la industria del petróleo como los de las Universidades y Compañías Químicas de lodo, han buscado explicaciones para muchas de las peculiaridades de su comportamiento.

La perforación a grandes profundidades donde pueden encontrarse formaciones de alta presión y a menudo flujo de agua salada a presión considerable, arcillas, Shales y otros inconvenientes, hacen imperante el control y tratamiento químico del lodo de perforación.

Comportamiento de arcillas coloidales

La arcilla, materia prima fundamental en la fabricación de la mayoría de los fluidos de perforación, presenta como característica esencial el fenómeno de hidratación.

Hidratación de arcillas: La materia coloidal puede dividirse en dos tipos generales de acuerdo con su acción cuando se suspende en el agua:

a) Los COLOIDES HIDROFOBICOS o suspensoides, tienen poca afinidad por el agua y solamente forman una suspensión estable si la carga individual de cada partícula es suficientemente alta para impedir la floculación. Estos coloides no se hinchan en el agua.

b) Los COLOIDES HIDROFILICOS o emulsoides, por el contrario tienen una gran afinidad por el agua. Cada partícula se hidrata o rodea de una película protectora de moléculas de agua resultando de esto un considerable aumento de la masa coloidal.

La arcilla bentonítica coloidal pertenece a la última clase: la mayoría de las dificultades que se presentan en los lodos son causadas por reacciones propias de estas arcillas. Las arcillas bentoníticas son de estructura micácea, es decir las partículas individuales de arcillas son laminillas delgadas dispuestas como las capas de mica. Observando en particular una de estas laminillas puede verse que hay cationes tales como Na, H, Ca, etc. adheridos a una de sus superficies planas. La superficie opuesta a causa de la estructura interna es ligeramente negativa con respecto a la cara antes mencionada. Como consecuencia de esto, hay una débil atracción electrostática entre las caras opuestas de dos partículas adyacentes, fuerza que sirve para unir las láminas entre sí.

Esta fuerza de atracción es tan débil que las moléculas de agua pueden entrar y separar las laminillas. Es por esto por lo que se hinchan las arci-

llas y el "agua interplanar" así adherida constituye una gran parte del agua total retenida por las arcillas coloidales.

El agua interplanar se mantiene en su lugar por la fuerza electrostática residual de las partículas de arcilla. La fuerza electrostática aumenta con el aumento de la ionización y por ésto es de esperarse que el grado de hinchamiento y la cantidad de agua retenida varíe de acuerdo con los metales alcalinos que se hallen presentes.

El grado relativo de ionización de las arcillas salinas (que contienen sales en su estructura) disminuye en el orden de Li, Na, K, NH_4 , Mg, Ca, Sr, Ba, H.; por lo tanto el grado de hidratación y la relativa estabilidad de las arcillas disminuye en el mismo orden. Esto significa que para cantidades iguales de arcilla, una arcilla que contenga iones sodio se hidratará más en agua pura que una arcilla en la cual en vez de sodio haya calcio o magnesio en su estructura.

Las arcillas se conocen por el ion positivo predominante, por ejemplo:

Bentonita de sodio, bentonita de Calcio. Las mejores arcillas para lodos de perforación son las bentonitas de sodio más o menos puras ya que estas arcillas se dispersan fácilmente, son más estables y además pueden retener mayores cantidades de agua que las arcillas alcalino-térreas, tales como la bentonita de calcio.

Variación del pH.

El pH de una solución se define técnicamente como el logaritmo del recíproco de la concentración de iones Hidronio. En términos más simples podemos explicar ésto considerando como neutro el pH del agua pura al que damos el valor de 7.0. La adición de un álcali tal como NaOH aumenta el pH, mientras que la adición de un ácido reducirá el pH. A medida que se reduce el pH de una solución ésta va siendo más ácida; si el pH aumenta, la solución progresivamente va haciéndose más y más alcalina. El pH de una solución puede variar entre 0.0 y 14.00 siendo 7.0 el punto neutro.

Las variaciones en el pH de una suspensión de arcilla producen alteraciones en las propiedades físicas de la suspensión. El pH de una suspensión de bentonita de hidrógeno está en la escala de 2 a 3. Si añadimos lentamente hidróxido de sodio a esta suspensión el pH aumentará, y los iones hidrógeno serán reemplazados por iones sodio hasta que el pH esté entre 9.0 y 10.0. En este punto los iones hidrógeno han sido reemplazados completamente por iones sodio y la arcilla ha dejado de ser bentonita de hidrógeno por convertirse en bentonita de sodio. Un aumento en pH tiende a reducir la viscosidad y la rata de gel, pero aumenta la fuerza de gel. Para valores de pH entre 9.5 y 10.5 se presenta un mínimo en estas variaciones.

Por consiguiente, es posible controlar hasta cierto punto las relaciones entre la rata y la fuerza de gel, controlando adecuadamente el pH del lodo.

El pH tiene también un apreciable influjo en la rata de dispersión de coloides arcillosos dentro del sistema del lodo pues aumenta esta rata al aumentar el pH. Por esta razón cuando se perfora en zona arcillosa puede aumentarse el rendimiento del lodo manteniendo el pH entre 9.5 y 10.5 en lugar de 8.0 a 9.0 como generalmente se acostumbra. Por otra parte, cuando se perfora con lodo pesado y resulta problemático la rápida acumulación de materia coloidal, es conveniente rebajar el pH a valores entre 7.5 y 8.0, pero no debe olvidarse que la fuerza de gel disminuye al disminuir el pH y que esta disminución puede llegar hasta límites poco convenientes.

Viscosidad en suspensiones de arcilla

Hay por lo menos tres factores que influyen en la viscosidad de una suspensión coloidal de arcilla; son ellos:

- A) La mutua repulsión debido a las cargas de las partículas;
- B) El grado de hidratación de las partículas coloidales, y
- C) La mutua atracción entre las partículas de arcilla.

A) Fuerzas de repulsión entre partículas de arcilla:

Las arcillas bentoníticas pueden considerarse como sales que tienen un ion normal positivo, como sodio o calcio, y cuyo ion negativo, constituido por el resto de la partícula, tiene una carga negativa demasiado grande comparada con la carga del ion positivo. Estas sales se ionizan dando un ion positivo (sodio, calcio, etc.) y un ion bentonítico negativo. El grado de ionización y además la carga negativa efectiva de la partícula de bentonita depende del ion positivo con el cual la partícula esté combinada.

Por consiguiente, cada partícula de bentonita de sodio tendrá una carga negativa relativamente mayor que la de bentonita de calcio, debido a su mayor grado de ionización. Esta carga negativa ocasiona una repulsión mutua entre las partículas, lo que tiende a reducir la fricción entre ellas y además impide la formación de precipitados como los que se forman cuando el lodo de perforación es floculado por la acción del cemento.

B) Hidratación de las partículas de arcilla:

El mayor grado de ionización y la mayor hidratación del ion positivo en las bentonitas de sodio hace que estas arcillas se hinchen más y absorban mayores porcentajes de agua que las correspondientes bentonitas de calcio. La absorción de agua por las partículas de arcilla aumenta su diá-

metro efectivo y al mismo tiempo impide la acción de una parte del agua en la cual la arcilla está suspendida.

Estos dos efectos tienden a aumentar la viscosidad de la suspensión y es por ésto por lo que se obtienen viscosidades más altas usando bentonita de sodio en vez de bentonita de calcio, en igualdad de proporciones.

La estabilidad de una suspensión depende del grado de hidratación y de la fuerza repulsiva entre las partículas coloidales. Cualquier impureza que tienda a reducir estos factores reducirá la estabilidad de la suspensión. Por ésto, cuando el fluido de perforación se contamina con agua salada de alta concentración, la arcilla coloidal se deshidrata y disminuye su ionización. Como consecuencia las fuerzas que estabilizan la suspensión se reducen, produciéndose inmediatamente floculación y asentamiento de las partículas coloidales.

C) Fuerzas de atracción entre las partículas de arcilla:

El tercer factor que influye en la viscosidad de las suspensiones de arcilla es la atracción mutua de las partículas debida a la acción de valencias residuales insatisfechas parcial o totalmente. Como se dijo al principio una partícula aislada de arcilla es una laminilla delgada, que teóricamente puede ser ilimitada a lo largo y a lo ancho. Sin embargo en todas las arcillas naturales estas láminas están divididas en multitud de secciones de dimensiones muy reducidas. En la superficie de fractura de estas partículas hay con frecuencia valencias residuales que en un principio servían para mantener juntas las laminillas más grandes pero que ahora químicamente están insatisfechas. Estas valencias se satisfacen en parte por la adsorción o adherencia de agua en la superficie de fractura quedando sin embargo una fuerza de atracción relativamente fuerte que actúa sobre otra partícula con tendencia a colocarla en una posición tal que pueda formarse una lámina más grande similar a la que originó las partículas coloidales. De esta manera quedan completamente satisfechas las valencias residuales de ambas partículas. La fuerza de atracción entre las dos partículas tiende a aumentar la fricción entre ellas y al aumentar ésta aumenta por consiguiente la viscosidad de la suspensión. Además cuando una suspensión de arcilla se deja en reposo por un tiempo más o menos corto, las partículas tienden a disponerse de una manera definida formándose así una estructura que ofrece resistencia a cualquier fuerza que intente destruir esta disposición. Este último fenómeno es el responsable de la gelatinización (gel), de la cual se darán detalles un poco más adelante.

Reductores químicos de viscosidad

Está plenamente comprobado que el efecto primordial de los reductores químicos de viscosidad es la neutralización de las valencias residuales, pues la adsorción de ciertos iones negativos en la superficie de fractura de

las partículas coloidales neutraliza estas valencias casi completamente. Entre los iones negativos que preferencialmente se adhieren a la superficie de fractura están los tanatos (quebracho), gallatos, y los fosfatos complejos tales como hexametáfosfato de sodio, pirofosfato ácido de sodio y tetrafosfato de sodio.

La adsorción de estos iones en la superficie de fractura altera el equilibrio de las fuerzas que actúan entre las partículas de arcilla ya que en un principio predominaban las fuerzas atractivas debido a las valencias residuales y ahora predominan las cargas negativas que no han sido neutralizadas y que se habían formado al ionizarse la suspensión bentonítica.

Este predominio hace que las partículas se repelan unas a otras y por esta razón la fricción de las partículas y la tendencia a formar estructuras gelatinosas se reduce notablemente con la consiguiente reducción en la viscosidad de la suspensión de arcilla o lodo de perforación.

Las arcillas sólidas en un lodo de primera clase se consideran que están en estado de defloculación. Este puede definirse como el estado de dispersión de un sólido en un líquido en el cual cada partícula del sólido permanece independiente y sin asociarse con las partículas adyacentes. Al inverso la floculación se define como la formación de agregados de partículas separadas por una fuerza mecánica relativamente débil. La floculación del lodo de perforación puede deberse a contaminación de sustancias tales como cloruro de sodio (sal o agua salada) y sulfato de calcio (yeso, anhidrita, cemento) que pueden encontrarse durante las operaciones de perforación. La defloculación o dispersión puede conseguirse utilizando uno o una mezcla de los aditivos comúnmente usados para este fin.

Propiedades tixotrópicas de suspensiones de arcilla

La gelatinización de una suspensión de arcilla depende de la relación que haya entre las fuerzas de repulsión y de atracción de las partículas.

Si las fuerzas de atracción (debidas a valencias residuales) son fuertes y las de repulsión (ocasionadas por ionización) son débiles, el lodo tendrá alta fuerza y rata de gel; por otra parte si las fuerzas de repulsión son fuertes mientras que las de atracción son débiles la rata y fuerza de gel serán bajas en este caso. Cualquier cambio que tienda a alterar las relaciones entre las fuerzas de atracción y repulsión tendrá un marcado efecto sobre las características de gelatinización del lodo.

La adición de pequeñas cantidades de sales solubles de calcio o cantidades mayores de sales de sodio reducen el grado de ionización y por consiguiente la carga negativa de las partículas de arcilla sin que se altere mucho la fuerza de atracción, produciéndose de esta manera un aumento no sólo en la rata de gel sino en la fuerza de gel del lodo de perforación así tratado.

Por otra parte, la adición de un fosfato complejo, por ejemplo, neutralizará las valencias residuales sin reducción apreciable en la ionización de la arcilla. Las fuerzas de atracción quedan así reducidas en proporción a las de repulsión y por esto se reducen la rata y la fuerza de gel y también la viscosidad. En algunos casos el control de la viscosidad por tratamiento químico resulta problemático ya que la reducción de la fuerza de gel puede ser muy grande, disminuyendo apreciablemente la capacidad de arrastre del lodo.

Las propiedades tixotrópicas o de gelatinización de un lodo bentonítico al permanecer estancado se deben a las cargas negativas de las partículas. Se ha asumido que estas cargas están distribuidas irregularmente sobre la superficie de las partículas de arcilla de tal manera que hay algunos puntos donde la concentración de estas cargas es mayor que en otros. Los puntos de mayor carga se repelen fuertemente unos a otros, cuando la suspensión está en reposo se disponen de modo que la separación sea la mayor posible. Esta última disposición hace que las partes no cargadas de las partículas estén muy próximas entre sí, siendo entonces posible que se formen grandes cadenas de partículas, aumentando naturalmente la fricción interna y por lo tanto aumentando aparentemente la viscosidad de la suspensión.

Como los enlaces de las cadenas son relativamente débiles pueden romperse por simple agitación destruyéndose así la serie de cadenas que se habían formado y por lo tanto el lodo recobra su viscosidad original. Por medio de tratamiento químico adecuado es posible controlar la velocidad de formación de las cadenas de partículas ya que puede modificarse no sólo la magnitud sino también el carácter de las cargas de las partículas.

Lodos de uso común en operaciones de perforación

Entre los diferentes tipos de lodos más comúnmente usados en operaciones de perforación pueden citarse:

Lodos de fosfato.

Lodos rojos.

Lodos tratados con cal.

Lodos de emulsión.

LODOS DE FOSFATO. Son aquellos en los cuales el principal agente químico de tratamiento es uno de los fosfatos complejos, que puede usarse sólo o en combinación con soda cáustica y quebracho. Los fosfatos más comúnmente usados en este tratamiento son pirofosfato ácido de sodio (SAPP), tetrafosfato de sodio, y pirofosfato tetrasódico. Estos lodos se utilizan cuando va a perforarse en zonas arcillosas productoras de lodos; tienen la ventaja de adaptarse fácilmente a los tratamientos corrientes y de ser su costo relativamente bajo. La cantidad de fosfato requerido para controlar

la viscosidad es pequeña y el uso de lodos de esta clase depende de la formación que va a perforarse y del peso específico que desee mantenerse ya que éste no debe sobrepasar de 80 lbs/pie³.

LODOS ROJOS. En la generalidad de los casos, todas las operaciones de perforación se comienzan con lodos fabricados a base de bentonita y agua, cuyo tratamiento químico inicial consiste en la adición de quebracho y soda cáustica en las cantidades requeridas para el buen control de éste. El quebracho reduce la viscosidad del lodo y controla la pérdida de agua, la soda cáustica sirve para controlar el pH y las fuerzas de gelatinización del fluido utilizado en las operaciones de perforación. El filtrado de estos lodos varía de un color pajizo a un color rojo profundo. Los lodos rojos comúnmente se clasifican como lodos de bajo y alto pH.

Los lodos rojos de bajo pH tienen como características esenciales la poca variación de sus propiedades, la resistencia a la contaminación, y el ser más efectivos a altas temperaturas que los lodos de fosfatos. El pH de esta clase de lodos varía entre 8.5 y 9.5.

Cuando se perfora en formaciones que producen poco lodo es conveniente añadir, de vez en cuando, un poco de bentonita para ayudar a controlar la pérdida de agua, también puede agregarse uno de los fosfatos para reducir la viscosidad y las características de gelatinización.

La resistencia a la contaminación es mayor en lodos rojos de alto pH que en los que se acaba de describir. El pH de estos lodos varía entre 10.5 y 11.5 pero cuando se agrega almidón para controlar las propiedades de filtración, debe elevarse el pH hasta 12 para evitar la descomposición bacterial de este aditivo.

LODOS TRATADOS CON CAL.—En años recientes se ha descubierto que lodos rojos de alto pH son más estables y más resistentes a la contaminación por la simple adición de cal: $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

A primera vista esto parece contradecir todo lo que sobre contaminación se ha establecido en párrafos anteriores. El punto de aparente conflicto entre las teorías anteriores y el comportamiento de lodos tratados con cal está en el efecto que producen las fuerzas repulsivas sobre la estabilidad de la suspensión.

Como antes se había dicho el reemplazamiento de sodio por calcio reduce el grado de ionización de la arcilla y por consiguiente reduce las cargas negativas de las partículas. Debido a la rapidez de esta sustitución la viscosidad del lodo aparentemente aumenta mucho y el aspecto general de éste es el de ser muy espeso. Sin embargo al añadir cal suficiente se logra una viscosidad por debajo de su valor inicial, efecto que puede explicarse en parte por la deshidratación parcial que sufren las partículas de arcilla del lodo-base al ser convertido a lodo de cal.

La estabilidad de estos lodos depende muy poco de las fuerzas de repulsión que ejercen las cargas negativas de las partículas; por esta razón resisten mucho más la acción de sustancias que puedan contaminarlo.

Como los lodos tratados con cal admiten un gran porcentaje de sólidos en suspensión es posible mantener su peso entre 80 y 150 lbs./pie³, según lo requerido en las operaciones de perforación.

Los fosfatos no pueden usarse como dispersantes pues la cal los precipita; en su lugar se utilizan compuestos orgánicos tales como quebracho, ligno sulfonato de calcio (lignox) y en algunos casos shales ligníticos. Si el dispersante utilizado es quebracho, puede decirse que un lodo tipo de esta clase es el que contiene 2 lbs/bbl de quebracho, 3 lbs/bbl de soda cáustica y 8 lbs/bbl de cal; en caso de utilizar otro dispersante la concentración de éste y de la soda es diferente. Para controlar las pérdidas por filtración se utiliza almidón gelatinizado. (Impermex).

En todo caso, siempre que sea necesario el tratamiento de un lodo con cal, es aconsejable efectuar cierto número de pruebas piloto para determinar con alguna exactitud no sólo la concentración sino también el orden de adición de los reactivos que se van a emplear.

Debido a su costo inicial relativamente alto esta clase de lodos sólo es conveniente utilizarla en la perforación de pozos de gran profundidad.

LODOS DE EMULSION. Una emulsión es una mezcla íntima de dos líquidos no miscibles, uno de los cuales está dispersado en el otro en forma de gotas pequeñísimas. El término "Lodo de Emulsión" se usa para determinar cualquier fluido de perforación que contenga aceite y un agente emulsificante.

Como agentes emulsificantes pueden citarse la agitación violenta (su efecto cesa al dejar en reposo la emulsión), jabón; compuestos ligníticos y lignosulfonatos; coloides orgánicos como almidón y carboximetil-celulosa (carbonox), y por último sólidos finamente pulverizados tales como shales y bentonita.

Las propiedades de un lodo de emulsión son las mismas que tiene el lodo base del cual se ha hecho, pero han de incluirse las ventajas producidas por la emulsificación del aceite. Por esta razón el tratamiento correctivo de posibles contaminaciones debe ser el mismo que correspondería al lodo base de que fue hecha la emulsión y de ninguna manera ha de pretenderse corregir una contaminación por emulsificación del lodo que se ha estado utilizando. La adición de aceite, no hará un buen lodo a partir de un lodo malo, hará un lodo mejor siempre y cuando se utilice como base un lodo bueno.

Entre las ventajas que se consiguen con un lodo de emulsión pueden citarse las siguientes: aumento en la duración de la vida de la broca; au-

mento de la rata de perforación; disminución del par torsional, en algunos casos hasta en un 50%; mejor lubricación y mayor limpieza no sólo en los collares de perforación sino también en las uniones de la tubería. Por último y a causa de la mayor fluidez de los lodos de emulsión, las bombas pueden trabajar a una presión relativamente baja.

Reporte diario de las propiedades del lodo

Las siguientes pruebas deben hacerse diariamente ya que son esenciales para la estimación adecuada de las propiedades del fluido de perforación.

Los más importantes son:

DENSIDAD o peso del lodo.— Puede determinarse utilizando el hidrómetro o la balanza Baroid. Se reporta en lbs/gal., lbs/pie cúb., o lbs. por pulgada cuadrada por 100 pies de profundidad, según como se acostumbre. Los instrumentos deben calibrarse diariamente cuando el peso del lodo es crítico.

VISCOSIDAD. El embudo March se usa rutinariamente para hacer la determinación de la viscosidad; ésta se reporta en segundos. En el laboratorio se acostumbra utilizar el viscosímetro Stormer que da la viscosidad en grs.- fra., a 600 rpm. Con una tabla adecuada puede convertirse esta viscosidad a Centipoises.

PERDIDA DE FLUIDO (Filtrado). Se reporta en cc. de filtrado los 30 minutos y a 100 lbs/pulg² de presión. Debe medirse y reportarse el espesor de la costra (cake).

pH.— Se mide con papel p-Hydrion o con aparatos medidores de pH.

CONTENIDO DE ARENA. El contenido de arena se reporta en porcentaje por volumen.

CONTENIDO DE SAL. Se reporta en ppm de cloruro.

Otras pruebas y factores menos importantes pero que pueden servir de ayuda en muchos casos son los siguientes:

Fuerza de gel inicial y a los 10 minutos.

Temperatura.

Contenido de cal.

Rata de circulación.

Cantidad de agua añadida.

Tiempo de perforación y de interrupción en ésta.

Tratamiento químico anterior, tal como adición de bentonita, soda, quebracho, materiales de peso, etc.