

ESTUDIO REOLÓGICO DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS SURFACTANTES UTILIZADOS EN OPERACIONES DE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO

Jose Carlos Cárdenas¹, Oscar Javier López H.², Karem Tatiana Pinto R.²

RESUMEN

Con el pasar de los años, la producción de los campos de petróleo muestra una tendencia a declinar debido a factores que se presentan en la operación de un campo, por esta razón es necesaria la implementación de técnicas de estimulación que ayuden a incrementar la producción de hidrocarburos, el cual es el objetivo principal de la industria.

Entre muchas técnicas que se han probado con éxito, la más destacada es el fracturamiento hidráulico. Siendo una de las técnicas de estimulación de pozos en yacimientos de hidrocarburos, más utilizada; su finalidad es resolver problemas que se relacionan con la baja productividad, atribuida generalmente a daño inducido en la formación y/o baja permeabilidad del yacimiento. Esta técnica ha logrado estimular la producción de pozos de petróleo de una manera excepcional pues los logros alcanzados han superado en gran medida las expectativas de producción, razón por la cual continúa siendo una de las técnicas más usadas alrededor del mundo.

Actualmente se han adelantado investigaciones que brindan información para optimizar esta técnica logrando la introducción a la industria del uso de fluidos llamados viscoelásticos surfactantes que en un principio fueron creados para limpieza de pozos pero que por sus características tanto físicas como químicas, además de su comportamiento, son usados como fluidos de fractura al igual que en otras operaciones de estimulación de pozos. Es importante destacar el uso de los VES para optimizar las operaciones de fracturamiento hidráulico, pues exhiben excelentes propiedades de transporte y soporte del material proppante, siendo más compatibles con la formación, por cuanto su proceso de degradación no genera residuo alguno maximizando la permeabilidad retenida en el empaque de grava. En este artículo se presenta un estudio de las propiedades reológicas de los fluidos viscoelásticos surfactantes y cómo influyen en las operaciones de fracturamiento hidráulico.

Palabras clave: fluidos viscoelásticos, fluidos VES, reología, fracturamiento hidráulico, fluido de fractura.

ABSTRACT.

Over the years the production of oil fields have a tendency to decline due to factors that arise in the operation of a field, therefore it is necessary to implement stimulation techniques to help increase oil production, which is the main objective of the industry.

Among many techniques that have been proved successfully, the most prominent is the hydraulic fracturing. As one of the well stimulation techniques in hydrocarbon reservoirs most used its purpose is to solve problems related to low productivity, usually attributed to damage induced in the formation and / or low permeability reservoir. This technique has been successful in stimulating oil production wells in an exceptional way because the achievements have greatly exceeded the expectations created by the engineers, for this reason is still one of the most common techniques used around the world.

Currently have been developed research that will provide information to optimize this technique making the introduction into to the industry of the so-called viscoelastic fluids which, were originally created to clean wells but due to their physical and chemical characteristics as well as their behavior are used as fracture fluids in hydraulic fracturing operations and in other well stimulation operations. Importantly, the use of VES to optimize the technique mentioned above because it exhibits excellent transport properties and proppant material support, being more compatible with the formation, because its degradation process does not generate any waste and may return to the surface. This article presents a study of the rheological properties of viscoelastic surfactant fluids and how they influence the hydraulic fracturing operations.

Keywords: viscoelastic fluids, VES fluids, rheology, hydraulic fracturing, fracture fluid.

¹ M.Sc. en Ingeniería de Hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga. Colombia. E- mail: jose.cardenas23@hotmail.com

² Ingeniero de petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga. Colombia.

INTRODUCCIÓN

Aquellos fluidos no-Newtonianos que cumplen tanto la ley de Hooke como la ley de Newton de la viscosidad se conocen como fluidos viscoelásticos; una característica importante de este tipo de fluidos es que pueden recuperar parte de la deformación al ser retirado el esfuerzo aplicado cuando se presentan deformaciones durante el flujo.

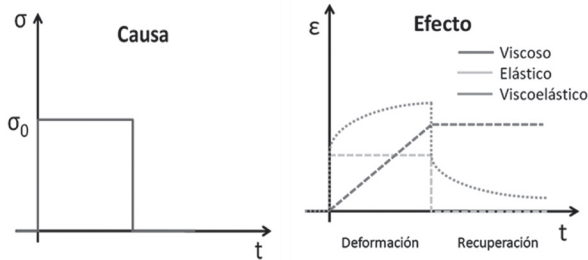


Figura 1. Diagrama de esfuerzos de fluidos viscoelásticos.¹

Estos fluidos tienen una fracción elástica que cumple la ley de Hooke (modelo del resorte) y una fracción viscosa que obedece la ley de Newton (efecto amortiguador). Cuando son sometidos estos tipos de fluidos a cargas que posteriormente son removidas, la deformación que se presenta solo se restablece en la fracción elástica del fluido; la fracción viscosa del fluido permanecerá parcialmente deformada por tanto se podría afirmar que la recuperación no es completa.

QUÍMICA DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS

El agua es la base de este fluido desarrollado para realizar operaciones de fracturamiento hidráulico. La viscosidad se obtiene a partir de la adición de tres componentes fundamentales²:

- Un surfactante (aniónico o catiónico)
- Una sal inorgánica (con carga contraria al surfactante)
- Un controlador de pH (con el mismo catión que la sal)

¹ MUCCI, Marcela. et al. Desarrollo de fluidos viscoelásticos para la estimulación de pozos. En: Jornadas SAM, Conamet, SimposioMateria. 2003

² ACHARYA, Ruma A. Viscoelasticity of crosslinked fracturing fluids and proppant transport. En: SPE Journal Paper N° 16221. (Marzo 1987).

Al ser libre de sólidos, esta mezcla puede penetrar fácilmente la formación a pesar de tener una alta viscosidad. Este fluido se rompe al contacto con hidrocarburos, ácidos, glicoles o solventes mutuales, o por dilución con el agua de formación con diferente pH. Al quebrarse la viscosidad del fluido vuelve a ser igual que la del agua y no presenta residuos poliméricos ya que no contiene polímeros.

El fluido viscoelástico puede ser preparado con diversas sales o mezclas de los mismos, incluyendo los citratos persulfatos, cloruros, fluoruros y fosfatos. Los cationes que se usan con regularidad son el potasio y el amonio pues logran estabilizar con eficiencia las arcillas.

Cuando el fluido viscoelástico es usado como fluido de fractura, las sales de amonio son más utilizadas por su volatilidad ya que el amonio tiende a escaparse de la solución reduciendo su concentración en el fluido base desestabilizando en cierta medida el gel viscoelástico; esta característica de auto ruptura es deseable para fluidos de fracturamiento en ciertos casos.

COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS

El comportamiento de los fluidos viscoelásticos se basa en la química de los surfactantes, los cuales son moléculas que poseen un extremo de su cadena un grupo hidrofílico y en el otro extremo un grupo hidrofóbico. Cuando estas sustancias se agregan en sistemas de dos líquidos insolubles como agua y aceite, migran hacia la interface de tal manera que orientan su extremo hidrofílico hacia la zona polar (agua) y el hidrofóbico hacia la zona apolar (aceite).

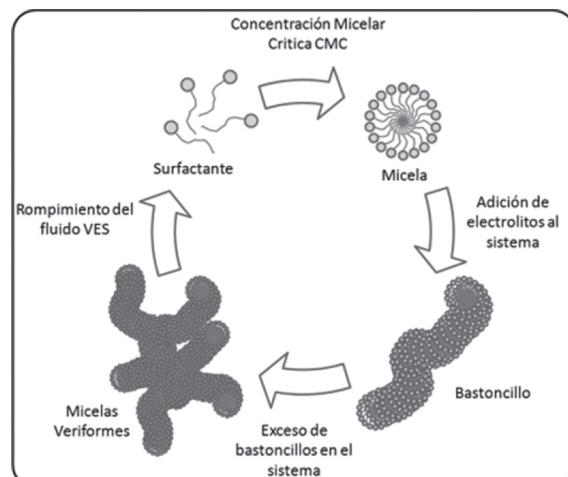


Figura 2. Ciclo de vida del surfactante (Fuente Autor)

Si se sigue aumentando la concentración de surfactantes y se introducen electrolitos en el sistema, tales como sales orgánicas o inorgánicas, las micelas adoptan nuevas estructuras en forma de gusano. Estas nuevas estructuras se forman, con el fin de disminuir aún más la energía libre, ya que al acoplarse las caras de las micelas circulares, están disminuyendo el número de caras expuestas al medio polar, disminuyendo igualmente el efecto repulsivo del medio acuoso sobre los núcleos hidrofóbicos.

En el caso de los surfactantes VES, cuando ciertas sales están presentes en el fluido acuoso dentro de un específico rango de concentración, las micelas adoptan una estructura tipo barra (bastoncillos), similar a las fibras de polímeros. Estas micelas tipo barra se entrecruzan, se desarrolla el comportamiento viscoelástico y se obstaculiza el movimiento del fluido. Se produce un significativo aumento de la viscosidad y se desarrolla el comportamiento elástico de los pseudosólidos.

Cuando las micelas son desasociadas por la energía de corte, el comportamiento reológico de los fluidos VES es similar al del agua, o casi Newtoniano; sin embargo, la viscosidad y el comportamiento elástico se recuperan cuando se elimina la energía disruptiva. Las propiedades quimiomecánicas únicas que crean la viscosidad de los fluidos VES se prestan fácilmente a la fluidificación por esfuerzo de corte, la suspensión estática, los bajos requerimientos de energía de transición de condiciones estáticas a condiciones dinámicas y la alta eficiencia del transporte de partículas.

LEY DE LA POTENCIA

El modelo de la Ley de Potencia³ describe un fluido en el cual el esfuerzo de corte graficado en función de la tasa de corte es una línea recta, cuando se utiliza papel de coordenadas logarítmicas.

Los fluidos viscoelásticos obedecen la ley de la potencia que establece una relación matemática de tipo exponencial. Dicha ecuación establece que:

$$\tau = k \cdot \gamma^n \quad (1)$$

Donde:

τ : El esfuerzo cortante [mPa]

γ : la velocidad de deformación [s⁻¹]

³ BIRD, RB.STEWART, WE.LIGHTFOOT, EN. Fenómenos de transporte. Ed. Reverté, 1982. Cap 1.

Las constantes k y n dependen indirectamente de la temperatura del fluido, pues al aumentar la temperatura en el fluido viscoelástico disminuye su viscosidad afectando los valores de las constantes.

Gráficamente es posible establecer el valor de “n” como la pendiente de la línea recta que se encuentra al graficar la tasa o velocidad de corte vs el esfuerzo de corte en coordenadas log-log; “k” es el punto de corte de dicha línea recta con el eje “y”.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS FLUIDOS VES ESTUDIADOS

Los resultados presentados fueron obtenidos a partir del estudio realizado a diferentes tipos de fluidos de fractura viscoelásticos y no viscoelásticos (poliméricos) con el fin de generar un punto de comparación entre ellos.

La composición de los fluidos viscoelásticos se encuentra relacionada a continuación; las propiedades reológicas fueron medidas con ayuda de funcionarios de los laboratorios del Instituto Colombiano del Petróleo - ICP apoyados de un viscosímetro FANN35A y las condiciones de operación fueron medidas con un reómetro CHANDLER 5550 HT/HP.

Tabla 1. Relación de fluidos de fractura viscoelásticos⁴.

Nombre	FV1	FV2	FV3
Tipo de fluido	Visco-elástico	Visco-elástico	Visco-elástico
Fluido Base	955 [gpt]	950 [gpt]	955 [gpt]
Controlador de arcillas	167 [ppt]	167 [ppt]	167 [ppt]
Estabilizador de reología	5 [gpt]	5 [gpt]	5 [gpt]
Solvente mutual	10 [gpt]	10 [gpt]	10 [gpt]
Agente gelificante	30 [gpt]	35 [gpt]	40 [gpt]

La composición de los fluidos de fractura no viscoelásticos (poliméricos) fueron proporcionados por una compañía de servicios y su composición se encuentra relacionada en la siguiente tabla

⁴ CARVAJALINO ARDILA, Yurany; PRADA SÁNCHEZ, Tulio Andrés. Evaluación y selección de un surfactante viscoelástico como fluido de fractura para el Campo Llanito. Piedecuesta 2009. Informe técnico ICP-CIT

Tabla 2. Relación fluido de fractura polimérico

Nombre Fluido	Tipo	Composición
FP1	Polimérico	25 Lb WG-31 2 gal BC-2 2 gal CLAYFIX II/ Mgal Agua fresca

VISCOSIDAD VS TEMPERATURA

La mayoría de los materiales disminuyen su viscosidad con respecto de la temperatura, dicha dependencia es exponencial y pueden existir variaciones de hasta un 10% por cada °C modificado; la dependencia de la temperatura para cualquier fluido es función de la estructura y del tipo de fluido estudiado.

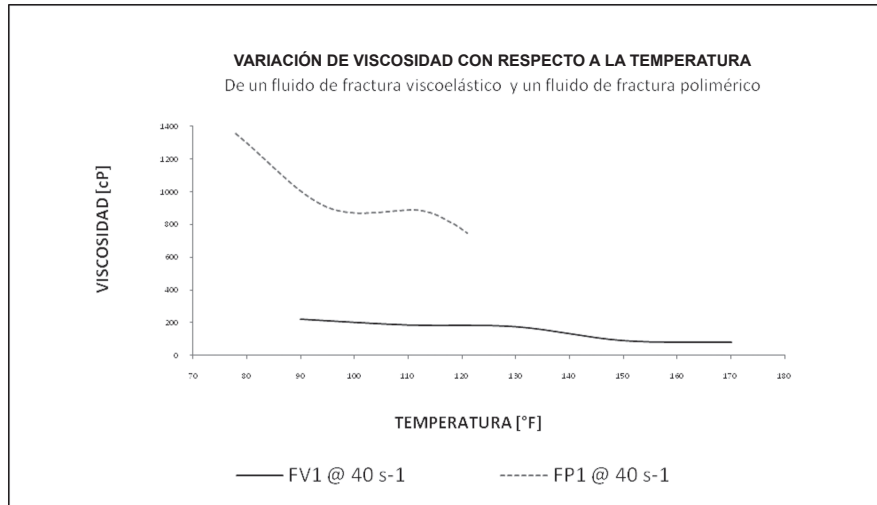


Figura 3. Variación de la viscosidad con respecto de la temperatura para dos tipos de fluidos de fractura.

La tendencia de ambos fluidos es disminuir la viscosidad a medida que la temperatura aumenta, lo cual es una propiedad clave de un fluido de fractura ya que dicha disminución favorece su retorno a superficie; a pesar que la variación de la viscosidad con el tiempo es mayor para un fluido polimérico. Es posible explicar la variación que se observa teniendo en cuenta el

comportamiento microscópico del fluido. La viscosidad o resistencia a la deformación de un fluido se debe a que sus moléculas se atraen entre sí mediante fuerzas de cohesión que dificultan un desplazamiento relativo. La agitación, debido al aumento de temperatura produce una transferencia de cantidad de movimiento entre capas afectando de esta manera la viscosidad.

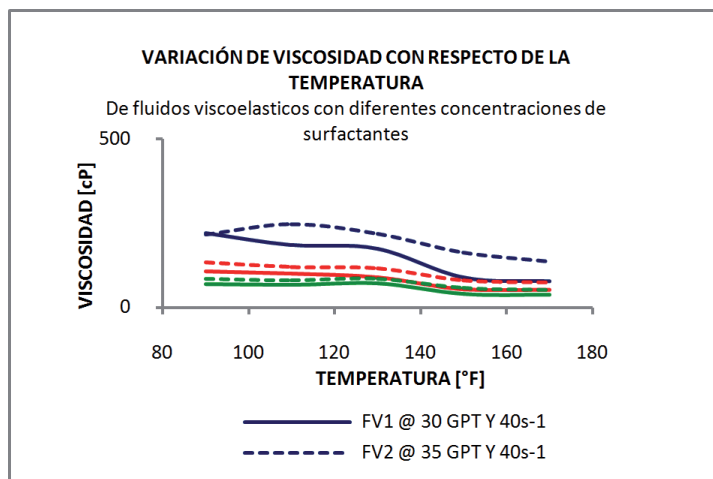


Figura 4. Variación de la viscosidad con respecto de la temperatura para un fluido viscoelástico a diferentes concentraciones de surfactantes

La concentración de surfactante en los fluidos VES es un parámetro importante a tener en cuenta, pues como se muestra en la figura 4, la viscosidad tiende a aumentar en la medida en que se aumente la concentración de surfactantes; esto debido a que se formará una mayor cantidad de micelas que se mantienen en contacto entre sí.

Se puede establecer que la influencia de la concentración de surfactante de un VES no presenta variaciones drásticas en la viscosidad para velocidades de corte altas; caso contrario para bajas tasas de corte donde la variación de la viscosidad muestra un cambio más significativo.

Las líneas rojas representan el mismo fluido con diferentes concentraciones de surfactante. Observando sus respectivas viscosidades a la misma tasa de corte de 100 s^{-1} , se puede apreciar que cumplen con la característica de los fluidos VES de mantener la viscosidad en aproximadamente 100 cp bajo estas condiciones; es de resaltar que la viscosidad del fluido es una función directa de la concentración de

surfactante, esto se puede explicar por el aumento en el entrecruzamiento micelar.

Observando la figura 4 es posible apreciar que a partir de un valor alto de temperatura, la viscosidad del fluido tiende a estabilizarse; este fenómeno es de suma importancia para la industria, ya que permite mantener un control sobre la viscosidad, evitando filtraciones y posible daño a la formación. Se debe resaltar que antes que la temperatura surta su efecto en la estabilización de la viscosidad, con un mayor valor de tasa de corte se genera una estabilidad prematura.

VISCOSIDAD VS VELOCIDAD DE CORTE

Independientemente de la composición del fluido el comportamiento de la viscosidad tiene la misma tendencia de disminuir conforme se aumenta la velocidad de corte. Para fluidos newtonianos esta relación es directa mientras que para fluidos VES la relación es exponencial y se encuentra regida por la Ley de la Potencia.

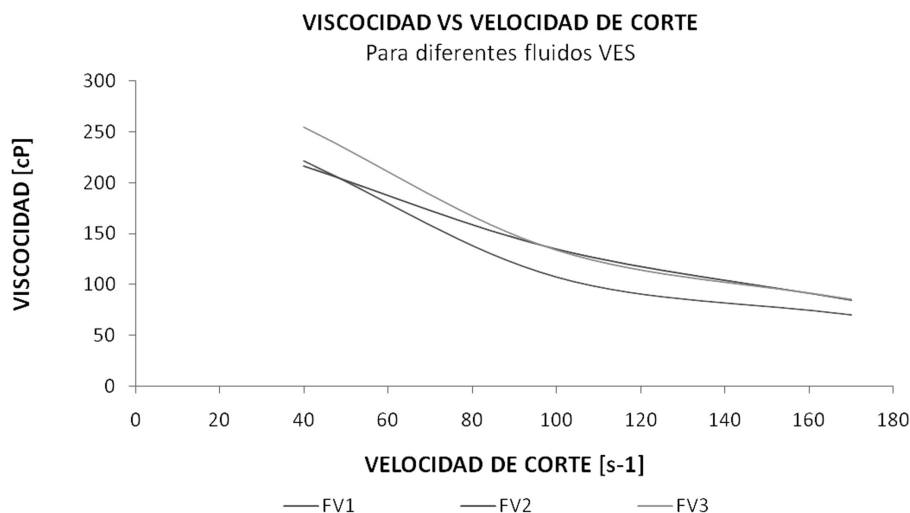


Figura 5. Variación de la viscosidad con respecto de la velocidad de corte.

Se puede apreciar que para bajas velocidades de corte la viscosidad es mayor que al presentarse bajas tasas de corte, donde la viscosidad disminuye. Esto se fundamenta en que las micelas de un fluido viscoelástico se unen formando estructuras en forma de gusano o veriformes; una velocidad de corte baja mantiene dichas estructuras desordenadas dentro del fluido haciéndolo más viscoso, al aumentar la velocidad de corte las estructuras tienden a organizarse de tal manera que su

dirección corresponde a la dirección de la velocidad de corte ocasionando una reducción en la viscosidad.

A raíz de estos estudios y de la experiencia de campo, surgió un patrón clave sobre la viscosidad del fluido ya que se ha establecido que para un VES la viscosidad mínima del fluido para asegurar el transporte adecuado del apuntalante es de aproximadamente 100 cp a una tasa de corte de 100 s^{-1} .

VELOCIDAD DE CORTE VS ESFUERZO DE CORTE

Para la mayoría de los fluidos la viscosidad varía con el esfuerzo de corte, en este caso estos fluidos son denominados dependientes del corte. Para evaluar esta dependencia, se mide la viscosidad ó el esfuerzo cortante a diferentes velocidades de corte en el mismo viscosímetro. De estos resultados se pueden obtener las constantes reológicas según la Ley de la Potencia.

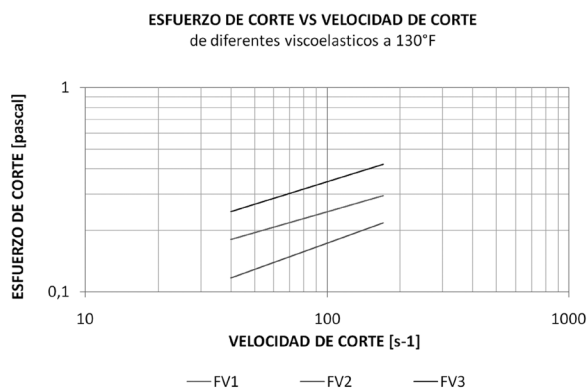


Figura 6. Reograma de fluidos viscoelásticos a la misma temperatura

La figura 6 permite establecer la relación directa que existe entre estos parámetros para un VES cumpliendo con la linealización de la ley de la potencia la cual se encuentra luego de aplicar el logaritmo a cada lado de la ecuación 1 obteniendo así:

$$\log \tau = \log k + n \log \gamma \quad (2)$$

Se observa que esta última es una ecuación lineal que modela el comportamiento de la figura 6, donde n es la pendiente de dicha línea y k es el punto de corte con el eje de las ordenadas. Por lo tanto, se puede establecer que estas líneas representan claramente el comportamiento de los fluidos viscoelásticos.

Este comportamiento se explica físicamente al suponer el movimiento del fluido por capas; donde la velocidad de corte es la velocidad de una capa con respecto de otra y el esfuerzo de corte es la fuerza necesaria para hacer mover dichas capas; entonces se puede establecer que para aumentar la velocidad de corte es necesario aplicar una esfuerzo de corte mayor lo cual se aprecia gráficamente en la figura 6.

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE UN FLUIDO DE FRACTURA VISCOELÁSTICO⁵

Para obtener resultados positivos luego de realizar una operación de fracturamiento hidráulico, es de suma importancia la elección de un fluido de fractura adecuado que optimice la producción de los pozos candidatos, de lo contrario es posible obtener resultados malos y en algunos casos irremediables.

La metodología que a continuación se plantea fue realizada con base en un estudio de laboratorio que brinda un proceso a seguir sencillo y cuyos resultados son altamente útiles al momento de elegir un fluido de fractura apropiado.

Como primera medida se debe evaluar la formulación del fluido de tal manera que sus aditivos sean solubles y el fluido sea homogéneo.

Para asegurar una alta compatibilidad con el crudo de formación es importante que cumpla con las siguientes características:

- La separación de fases sea mayor al 80%.
- Viscosidad mayor a 20 cp. en condiciones ambientales.
- Tiempo de asentamiento mayor a dos horas.

En cuanto al comportamiento reológico, el fluido de fractura, debe mantener su viscosidad en 100cp a una velocidad de corte de 100 s⁻¹, de lo contrario el fluido pierde la categoría de fluido viscoelástico siendo descartado inmediatamente.

Una propiedad de los fluidos viscoelásticos que los hace atractivos para utilizarse en operaciones de fracturamiento hidráulico es la alta permeabilidad retenida en el empaque de grava, y en segunda instancia que pierden su viscosidad o se rompen al contacto con el petróleo, lo cual no sucede al contacto con algunas aguas de formación. Bajo ciertas condiciones actúa como un controlador de agua.

Durante la evaluación, si el rompimiento es apropiado, se continúa con la prueba mojabilidad inducida sobre las arenas del yacimiento, si el rompimiento no es apropiado, se debe rediseñar.

⁵ CÁRDENAS MONTES, José Carlos; et al. Metodología experimental para la evaluación, selección y optimización de fluidos de fractura para el incremento de la producción en campos petroleros. 2009, producto tecnológico ICP.

Con respecto a la tensión interfacial: se requiere reducir su valor por debajo de 5 dinas/cm.

La tensión superficial del fluido debe mantenerse siempre por debajo de la tensión superficial del crudo, con esto se favorece la movilidad y se facilita el proceso de retorno a superficie.

Finalmente, el fluido viscoelástico debe transportar el material propante que se encarga de mantener abierta la fractura, la velocidad de asentamiento depende de varios factores pero principalmente de: Tamaño del propante, peso específico del propante, peso específico del fluido, caudal de bombeo y reología del fluido. A nivel de campo o en un laboratorio donde no se cuenta con celdas de flujo especializadas, se aplica el siguiente criterio general: la velocidad de asentamiento, teniendo el fluido en una condición estática, debe ser menor a 0,315 in/min.

los hacen más atractivos para este tipo de operaciones además mantienen un nivel aceptable en el cuidado medioambiental; aunque no son útiles en operaciones costa afuera.

Una de las principales ventajas de los fluidos viscoelásticos es que no usan polímero y proveen una mayor permeabilidad retenida en el empaque de grava. La viscosidad de este tipo de fluidos está determinada la atracción iónica de los surfactantes que se le incorporan, esta característica le provee al fluido una alta elasticidad favoreciendo sus propiedades de transporte.

Bajo condiciones normales, el fluido viscoelástico tiene una buena eficiencia en rocas de alta permeabilidad efectiva al agua, al compararlo con el fluido polimérico convencional, razón por la cual se dice que el VES tiene un bajo coeficiente de pérdida de fluido.

LOS SURFACTANTES COMO ADITIVOS DE LOS FLUIDOS DE FRACTURA VES

Los Surfactantes (también llamados anfífilos) son sustancias con doble afinidad; una parte de estas sustancias son hidrofílicas (es decir que poseen cierta afinidad con el agua) y la otra parte es hidrofóbica (que repele el agua).

Existen tres tipos de surfactantes que son clasificados a partir de su uso cotidiano en la industria; en orden de uso se encuentran: Surfactantes aniónicos, no iónicos y catiónicos; siendo estos últimos los más usados en la industria de los hidrocarburos.

Los surfactantes catiónicos tienen una alta capacidad de adsorberse⁶ en superficies cargadas negativamente, como fibras textiles, metales o en el caso de la industria petrolera, los minerales de formación con concentraciones muy por debajo de la concentración micelar crítica; este tipo de surfactantes también es usado por su alto poder bactericida. Los surfactantes catiónicos bajan la tensión superficial y se disocian al contacto con agua de formación, formando un ion surfactante cargado positivamente.

En fracturamiento hidráulico son usados los Fluidos VES catiónicos ya que sus dos grandes características

⁶ Fenómeno de acumulación bidimensional de una sustancia en una superficie o interfase. Se diferencia de ABSORCIÓN, la cual corresponde a la transferencia de masa hacia el seno de una fase (tridimensional).

Tabla 3. Comparativo entre los fluidos viscoelásticos y los fluidos poliméricos

Parámetro	Fluido polimérico	Fluido VES
Emulsiones	El fluido debe tener un agente rompedor de emulsiones que permita la separación de las fases en el fluido de perforación.	El fluido VES tiene como característica el romper las emulsiones presentes en fluidos de formación; son las moléculas de surfactante quienes se encargan de hacer esta labor.
Rompimiento del fluido	Es necesario adicionarle al fluido de perforación un agente rompedor incidiendo negativamente con este hecho en la viscosidad del fluido.	El fluido VES tiende a romperse al contacto con el agua de formación logrando un rápido retorno a superficie; así mismo se optimiza el recobro de hidrocarburos luego de efectuada esta operación.
Filtraciones	Es importante mantener este parámetro siempre bajo control, ya que este fluido tiende a permitir un alto porcentaje de filtración y pérdida de fluido, lo que puede ocasionar el daño en la formación	El fluido VES tiene un bajo porcentaje de filtraciones, lo cual incide positivamente en la recuperación de un alto porcentaje en superficie, protege los alrededores de la fractura manteniendo una baja permeabilidad retenida

Velocidad de asentamiento

La velocidad de asentamiento alta que presenta este tipo de fluidos hace que el apuntalante se concentre en la parte inferior de la fractura antes que esta cierre.

Este tipo de fluidos presentan una velocidad de asentamiento baja lo cual permite una correcta distribución de material apuntalante en la fractura y disminuye la probabilidad de arenamiento prematuro.

Ancho de fractura

Este tipo de fluidos presentan una alta viscosidad provocando un crecimiento vertical excesivo de la fractura, de tal manera que si se extiende más allá de la zona productora se deteriora la eficiencia general de la operación.

Las bajas viscosidades de estos fluidos mantienen una fractura angosta además de aportar en el crecimiento de la misma hacia adentro de la formación (crecimiento horizontal).

Residuos

Los fluidos poliméricos luego de su rompimiento tienden a dejar residuos en el pozo que al ser mal tratados podrían aumentar el daño en formación.

Al ser libres de polímeros, los fluidos viscoelásticos no dejan residuos de polímero deshidratado, por que no lo usan para el desarrollo de viscosidad; así mismo su recuperación en superficie es prácticamente completa.

velocidad de corte es un factor altamente influyente en la viscosidad de los fluidos de fractura VES

- Fueron analizadas las tendencias de las curvas reológicas de un fluido viscoelástico al ser usado como fluido de fractura con respecto a las condiciones de operación en trabajos de fracturamiento hidráulico.

REFERENCIAS

- ACHARYA, Ruma A. Viscoelasticity of crosslinked fracturing fluids and proppant transport. En: SPE Journal Paper N° 16221. (Marzo 1987).
- BIRD, RB. STEWART, WE. LIGHTFOOT, EN. Fenómenos de transporte. Ed. Reverté, 1982. Cap 1.
- MUCCI, Marcela. et al. Desarrollo de fluidos viscoelásticos para la estimulación de pozos. En: Jornadas SAM, Conamet, Simposio Materia. 2003
- CARDENAS MONTES, José Carlos. Evaluación estadística de los parámetros obtenidos en los trabajos de fracturamiento hidráulico realizado en los campos petroleros de Colombia. Bucaramanga 2007. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos
- CARVAJALINO ARDILA, Yurany; PRADA SÁNCHEZ; Tulio Andrés. Evaluación y selección de un surfactante viscoelástico como fluido de fractura para el Campo Llanito. Bucaramanga 2009. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.
- ECOPETROL. Fluidos de fractura, algo más que una simple mezcla. En: Revista Innova. Disponible en internet <<http://www.ecopetrol.com.co/especiales/RevistaInnova3ed/nuevastec.htm>>
- REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Diccionario de la lengua española [online]. 22ª Edición. Disponible en internet <<http://www.rae.es/rae.html>>

CONCLUSIONES

- Se comprobó que los fluidos VES tienen la capacidad de romper al contacto con el petróleo en formación permitiendo con esto minimizar el daño y recuperando gran parte del fluido en la etapa del Back flow. Sin embargo es necesario evaluar el rompimiento para cada pozo en particular, dado que no siempre es suficiente el contacto con el crudo.
- Recopilada y analizada la información respecto a los fluidos viscoelásticos tipo VES se establecieron las ventajas y desventajas de este tipo de fluidos de fractura.
- Se determinó el impacto de las propiedades reológicas en los fluidos VES concluyendo que la

Recepción: 19 de febrero de 2011

Aceptación: 15 de junio de 2011